

ИНЖЕНЕРИЯ
Гибкие
механизмы

ОКЕАНОГРАФИЯ
Коралловое
горе

НЕЙРОНАУКИ
Достучаться
до сознания

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sci-ru.org

№7-8 2014

12+

КРИЗИС

ЕСЛИ СУПЕРСИММЕТРИЯ НЕ СРАБОТАЕТ,

В

УЧЕНЫМ ПОНАДОБИТСЯ НОВЫЙ СПОСОБ

ФИЗИКЕ

ОБЪЯСНЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

?



Журнал выходит при поддержке
МГУ имени М.В. Ломоносова

СОДЕРЖАНИЕ

Июль / Август 2014

16

Главные темы номера

Премия

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЛАУРЕАТОВ

Академики **Анатолий Григорьев** и **Виктор Маслов** удостоены Государственной премии РФ в области науки и технологий за 2013 г.

4



Океанология

ОКЕАН В НАУКЕ: БУРИ И ШТИЛИ

Владимир Губарев

Интервью с директором Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН академиком **Робертом Нигматулиным**

6



БОЛЬШАЯ КОРАЛЛОВАЯ БЕДА

Иэн Маккалман

Джон Верон, открывший более 20% мировых видов кораллов, высказывает опасения, что рифы находятся в крайне серьезной опасности

16

Физика элементарных частиц

СУПЕРСИММЕТРИЯ И КРИЗИС В ФИЗИКЕ

Джозеф Ликкен и Мария Спинопулу

Либо правота теории суперсимметрии будет доказана уже в следующем году, либо предстоит эпохальная смена парадигмы в физике

22

Науки о поведении

ПРИВЫЧКИ, ПЛОХИЕ И ХОРОШИЕ

Энн Грейбиэл и Кайл Смит

Ученые определили, какие участки мозга помогают нам приобрести хорошие привычки и избавиться от плохих

30

Образование

ПРОСТРАНСТВО, НАСЫЩЕННОЕ СМЫСЛАМИ

Михаил Петров

Интервью с ректором Томского государственного университета, профессором, академиком РАО **Эдуардом Галажинским**

38



MACMILLAN В РОССИИ: ОПЕРЕЖАЯ ВРЕМЯ

44

Виктор Фридман

История, достижения, инновации и планы на будущее знаменитого издательства Macmillan



Наука и общество

ВМЕСТЕ ТВОРИТЬ НАУКУ

52

Александр Цыганов

В президиуме РАН состоялось подписание договора о сотрудничестве в сфере науки и образования между РАН, МГУ и Кабардино-Балкарской республикой



Медицина

ЩИТ НА ПУТИ РАКА

62

Джед Волчок

Убирая барьеры, которые используют раковые клетки, чтобы ускользнуть от иммунного ответа, исследователи пытаются найти новые, более мощные способы сдерживания опухолевого роста

Палеонтология

СПУТНИК ПАЛЕОНТОЛОГА

68

Роберт Анемон и Чарлз Эмерсон

Решающую роль в истории самых шумевших палеонтологических открытий всегда играло везение; теперь места новых находок позволяют предсказать компьютерные модели

Химия

ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА: ВЕК НЕДОЛОГ?

76

Эрик Скерри

С открытием атома под номером 117 в периодической системе химических элементов больше не осталось вакантных мест

Инженерия

КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕМЕННОЙ ФОРМЫ

82

Сридхар Кота

С появлением машин, представляющих собой одну гибкую конструкцию, привычные механизмы, собранные из множества жестких деталей, станут антиквариатом



30

Материаловедение

РЕВОЛЮЦИЯ БЕЗ ДЕФЕКТОВ

Михаил Петров

Интервью с ведущим научным сотрудником ФИАН им. П.Н. Лебедева доктором химических наук **Валерием Кобрянским**

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НОВОЙ ЭПОХИ

Виктор Фридман

С 9 по 11 июня в Москве прошел VI Международный промышленный форум «АТОМЭКСПО-2014», в рамках которого были представлены новейшие российские разработки и технологии

МАТЕРИАЛЫ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

Виктор Фридман

Интервью с заместителем генерального директора ЗАО «Наука и инновации», научным руководителем по физико-энергетическому блоку профессором **Владимиром Рисованым**

Нейронауки

ЕСТЬ ТУТ КТО ЖИВОЙ?

Адриан Оуэн

Появляется возможность общаться с пациентами, которые, казалось бы, находятся в бессознательном состоянии

Когнитивные исследования

МИР БЕЗ СВОБОДНОЙ ВОЛИ

Кэтлин Вос и Азим Шариф

Что происходит с обществом, считающим, что люди не могут сознательно контролировать свои действия?

Медицина

ОНИ БЫЛИ СЛЕПЫ, А ТЕПЕРЬ ВИДЯТ!

Паван Синха

Хирургические операции помогают слепым индийским детям прозреть, а ученым понять, как устроено зрительное восприятие

Здравоохранение

ЗЛОЙ ГЕНИЙ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Салли Лерман

Туберкулез, древний бич людей, перехитрил их и стал эволюционировать неожиданным образом



150

Планетология

В ПОИСКАХ ЖИЗНИ НА МАРСЕ

140

Кристофер Маккей и Виктор Парро Гарсия

Новые экспедиции помогут ответить на один из самых сложных и интересных вопросов: есть ли жизнь еще где-нибудь во Вселенной?



98

Математика

ОРАКУЛ

148

Ариэль Блейчер

Благодаря неопубликованным записям индийского гения Сринивасы Рамануджана японскому математику Кену Оно удалось найти ключ к ряду классических нерешенных задач



106

Экономика

ЭКОНОМИКА ПО СХЕМЕ ПОНЦИ

156

Каушик Басу

Обычная практика ведения бизнеса нередко напоминает печально известный вид мошенничества



Инновации

114

СКОЛКОВО: ДЕРЕВНЯ ИННОВАЦИЙ

164

Михаил Петров

В подмосковном Сколково прошел фестиваль Startup Village — своеобразный смотр лучших новых инновационных предприятий страны, на который собрались ведущие предприниматели, ученые и инвесторы



122

СЕКРЕТНЫЙ КОД МЕДИЦИНЫ БУДУЩЕГО

170

Екатерина Головина

Из Университета Южной Калифорнии в Сколково приехал прочитать лекции и выступить экспертом проектов **Владимир Зельман** — нейроанестезиолог, знаменитый не только как практик-клиницист, но и как специалист в области нейрогенетики



126

Разделы

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

75

События, факты, комментарии

37, 163

Технофайлы

91, 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:



о ч е в и д н о е



н е в е р о я т н о е



Российская Академия Наук

P E T E R



S E R V I C E



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортов

Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

Заместитель главного редактора:

А.Ю. Мостинская

Зав. отделом естественных наук:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских исследований:

Ю.Г. Юшквичюте

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

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

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

д.б.н, проф. К.Б. Булаева; д.психол.н., ак. РАО Э.В. Галажинский; проф., почетный член РАМН и РАН В.Л. Зельман; д.х.н. В.М. Кобрянский; д.ф.-м.н, проф., ак. РАН Р.И. Нигматулин; д.т.н., проф. В.Д. Рисованый

Над номером работали:

Г.Х. Аберяхимова, М.С. Багоцкая, А.Ю. Беданов, О.Л. Беленицкая, Б.З. Бештоев, А.Н. Божко, А.В. Борейко, М.Ф. Булатов, А.А. Гнездов, Е.В. Головина, В.Р. Дуфлот, Н.В. Зорина, О.Г. Клигерман, Г.В. Комарова, А.П. Кузнецов, Н.Л. Лескова, И.В. Ногаев, М.М. Петров, А.И. Прокопенко, Е.В. Самойлова, И.Е. Сацевич, В.И. Сидорова, В.Э. Скворцов, А.Ю. Солуянова, В.И. Степанов, В.П. Фридман, Д.С. Хованский, Г.В. Чесноков, Н.Н. Шафрановская

Верстка:

А.Р. Гукасян

Дизайнер:

Я.В. Крутий

Корректур:

Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета

НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

Ю.С. Осипов

Заместитель директора

НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Е.Р. Мещерякова

Адрес редакции:

Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;

Тел./факс: (495) 939-42-66; E-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены *Scientific American, Inc.*

Отпечатано:

В ЗАО «ПК «ЭКСТРА М», 143405, Московская область, Красногорский р-н, г. Красногорск, автодорога «Балтия», 23 км, владение 1, д. 1

Заказ №7-8 14-06-00345

© **В МИРЕ НАУКИ.** Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати. Свидетельство ПИ №ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

Тираж: 12 500 экземпляров

Цена договорная.

Авторские права НП «Международное партнерство распространения научных знаний». © Все права защищены. Некоторые из материалов данного номера были ранее опубликованы *Scientific American* или его аффилированными лицами и используются по лицензии *Scientific American*. Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Торговая марка *Scientific American*, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью *Scientific American, Inc.* и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

Кризис и динамика

4 июля 2012 года в *CERN* было объявлено, что эксперименты на Большом адронном коллайдере позволили обнаружить частицу, похожую на бозон Хиггса. Это стало кульминацией многолетних исследований, направленных на создание так называемой стандартной модели физики элементарных частиц. Ученые сразу же стали искать разгадку следующей части головоломки, которая позволила бы раскрыть тайну темной материи. Но, как пишут Джозеф Ликкен и Мария Спиropулу в статье «Суперсимметрия и кризис в физике», «результаты первых экспериментов на коллайдере исключили почти все наиболее разработанные варианты теории».

Пока мы ожидаем создания фундаментальной картины возникновения Вселенной, здесь, на Земле, мы можем наблюдать появление машин, способных принимать различные формы. В статье «Конструкции переменной формы» Сридхар Кота описывает историю создания гибких конструкций, использование которых повышает эффективность многих механизмов. Пусть они и не решат глобальных проблем, зато могут облегчить многое в нашей жизни.

Наша повседневная жизнь — это в основном рутина. Человек просыпается, чистит зубы, одевается, выпивает первую чашку кофе, отправляется на работу... и так день за днем. Как пишут Энн Грейбиэл и Кайл Смит в статье «Привычки, плохие и хорошие», такие действия мы совершаем «на автопилоте». Недавно были выявлены конкретные участки мозга и связи, необходимые для формирования привычек. Исследователи надеются, что лучшее понимание этих связей поможет понять, как корректировать их в случае необходимости.

Многие психологи и философы говорят, что убеждение человека, будто он сознательно управляет своими действиями, больше иллюзия, чем реальность. Эту мысль рассматривают в своем эссе «Мир без свободной воли»

Кэтлин Вос и Азим Шариф. Что происходит, когда рухнет вера общества в существование свободной воли?

Известно, что ядерное топливо по своей эффективности значительно превосходит другие виды топлива, однако может стать причиной страшных аварий. Есть люди, которые занимаются именно этими вопросами — созданием материалов, способных выдержать экстремальные условия активной зоны атомного реактора. Беседа с таким человеком, доктором технических наук, профессором В.Д. Рисованым — в статье «Материалы активной зоны: выстоять в условиях ада».

Недавно в иннограде «Сколково» прошел фестиваль изобретений *Startup Village* — своеобразный смотр лучших инновационных предприятий страны. На короткий срок сюда съехалось настоящее созвездие мировых знаменитостей науки и бизнеса. О том, чем готовы ученые удивить человечество, можно узнать из статей «Деревня инноваций» и «Секретный код медицины будущего».

Может быть, это новые материалы, которые сейчас в десятках лабораторий по всему миру синтезируют ученые и которые коренным образом изменят нашу повседневную жизнь? Подробности — в интервью доктора химических наук В.М. Кобрянского «Революция без дефектов: новые органические материалы для электроники будущего».

Нет человека, которого бы не волновали проблемы, связанные с изменением климата и природными катастрофами. О том, почему исчезло Аральское море, стоит ли опасаться того, что Гольфстрим «остановится», и для чего нужно изучать Мировой океан, рассказывает директор Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН Р.И. Нигматулин в материале «Океан в науке: бури и штити».

Эти и другие статьи предлагаем вашему вниманию в сдвоенном номере журнала «В мире науки». ■

Редакция журнала
«В мире науки / *Scientific American*»

Поздравляем лауреатов



Анатолий Иванович Григорьев

Вице-президент РАН, академик РАН и РАМН, доктор медицинских наук, научный руководитель Института медико-биологических проблем РАН.

- ✓ Создал новое научное направление — гравитационную физиологию, изучающую закономерности регуляции функций организма при измененной гравитации.
- ✓ После окончания в 1966 г. Медицинского института им. Н.И. Пирогова поступил в аспирантуру Института медико-биологических проблем, в котором прошел путь от научного сотрудника до директора.
- ✓ Лауреат Государственной премии СССР (1989), Государственной премии РФ в области науки и техники (2002), Государственной премии РФ (2013).
- ✓ Офицер Ордена Почетного легиона.
- ✓ Лауреат полной Демидовской премии «за выдающийся вклад в фундаментальные и прикладные исследования в области космической биологии и медицины».
- ✓ Кавалер ордена «За заслуги перед Отечеством» II, III и IV степеней.

Названы имена лауреатов Государственной премии РФ в области науки и технологий за 2013 г. Ими стали академики Анатолий Иванович Григорьев и Виктор Павлович Маслов. Вице-президенту РАН А.И. Григорьеву премия вручена за научное обоснование, разработку и реализацию системы медицинского обеспечения экипажей при длительных космических полетах. Академик В.П. Маслов удостоен премии за выдающийся вклад в развитие математики и разработку математических основ современной термодинамики

В историческом здании президиума академии наук собравшиеся коллеги и журналисты поздравили новых лауреатов, после чего нашему корреспонденту удалось задать несколько коротких вопросов Анатолию Ивановичу Григорьеву.

— **Есть мнение, что современная наука и медицина составили полное представление о том, что происходит с организмом человека в космосе. Вы согласны с этим?**

— Категорически не согласен. Мы действительно многое знаем сегодня по сравнению с тем временем, когда начинались первые полеты. Но сегодня у нас появилось множество новых технологических возможностей, принципиально новых методов на основе современных теоретических подходов. Например, методы молекулярно-клеточной медицины. Мы только начинаем отвечать на вопросы, которых становится все больше и больше.

— **Какая главная задача стоит перед космической медициной?**

— Главной задачей космической медицины была и остается помощь человеку в этих труднейших условиях; нужно не просто сохранять надлежащий уровень здоровья, а пытаться им управлять. И это должна быть индивидуальная работа с каждым космонавтом. Сейчас нам важно понять, влияет ли космос

на наследственность человека. Пока каких-либо пагубных влияний на генетику не отмечено, но исследования продолжаются.

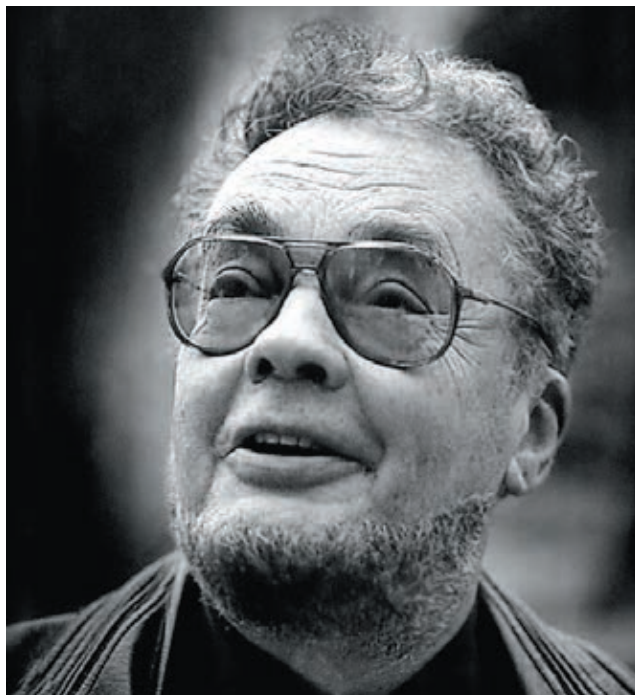
— **Как космос влияет на психологическое состояние человека?**

— Психологические исследования людей, совершающих космические путешествия, вызывают огромный интерес, особенно если речь идет о подготовке длительных полетов, таких как миссия на Марс. Космос изменяет сознание человека. Работа на грани сил и возможностей в условиях постоянного риска выводит на первый план высокие моральные принципы, мотивацию, воспитывает тонкую и точную интуицию. Космонавты, особенно те, кто подолгу оставался на МКС, совершал выходы в открытый космос, — это особенные люди, которые очень хорошо различают главное и второстепенное, руководствуются высокими гуманистическими принципами. С одной стороны, они отвыкают от земной среды с ее мелкими проблемами, с другой — более широко подходят к проблемам жизни, защиты не только себя и своих близких, но всего человечества от тех или иных угроз. Будучи оторванными от земных будней, они думают о будущем и даже чувствуют его. Они считают себя людьми Земли независимо от страны, которую представляют. Им, безусловно, дано такое право.

— **Полет на Марс — это реальность?**

— Я сторонник полета к Марсу. Вряд ли это будет совсем скоро, но, думаю, нашим детям это удастся увидеть. При полете к Марсу человек столкнется со многими опасными проблемами, такими как радиация, гипомагнитное поле. Есть много задач, которые нужно решать, ведь в процессе подготовки такой экспедиции мелочей не бывает. Важно тщательно подбирать экипаж, и эксперименты типа «Марс-500» этому очень способствуют. Многие острые ситуации мы сейчас не можем предсказать — это опасности длительного полета. Без проблем полета не будет. Мы думаем об этом, мы готовимся к этому. Ведутся очень интересные работы по защите от радиации, потоков частиц высоких энергий при солнечных вспышках. Но этого мало. Должна быть программа, воля государства, причем не одного, а нескольких. Нужна кооперация, решение на уровне ООН — не только потому что это дорого, а потому что это миссия Земли. Об этом надо помнить, и это — самое главное.

Интервью с лауреатами Государственной премии читайте в ближайших номерах журнала. В следующем номере — беседа с Анатолием Ивановичем Григорьевым. ■



Виктор Павлович Маслов

Академик РАН, профессор Московского государственного института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ).

- ✓ Один из крупнейших в мире ученых в области механики, прикладной и теоретической математики.
- ✓ Под его руководством создана одна из ведущих математических школ России.
- ✓ В 1953 г. окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.
- ✓ С 1968 по 1998 г. заведовал кафедрой прикладной математики Московского института электронного машиностроения.
- ✓ Участвовал в работах, связанных с расчетами по аварийному блоку Чернобыльской АЭС.
- ✓ Лауреат Государственной премии СССР (1978), Государственной премии РФ (1997), Государственной премии РФ (2013).
- ✓ В 1982 г. вручена Золотая медаль им. А.М. Ляпунова.
- ✓ Лауреат Демидовской премии.

Академик Григорьев — один из создателей у нас в стране особой науки — космической медицины. С его именем связаны многие достижения отечественной космонавтики: до сих пор никем не превзойден рекорд летчика-космонавта Валерия Полякова, который провел на орбите 437 суток и 18 часов — с января 1994 по март 1995 г.

А.И. Григорьев пришел работать в Институт медико-биологических проблем 48 лет назад совсем молодым ученым. Он стал не просто специалистом, занимающимся здоровьем космонавтов, а одним из испытателей устройств и систем, моделирующих условия перегрузок и невесомости. Как врач он профессионально понял и описал ответ организма

на экстремальные условия. Этот опыт, как он сам рассказывает, стал для него абсолютно неоценимым.

Будучи в течение долгого времени директором, а сейчас научным руководителем Института медико-биологических проблем РАН, Анатолий Григорьев с коллегами разработал, обосновал и внедрил современные методы медицинского контроля, прогноза и управления состоянием человека в космосе, которые сегодня повсеместно используются. Ими же создан комплекс технологий профилактики неблагоприятного воздействия невесомости на космонавтов. Эти работы составляют основу знаний о том, как работает организм человека в космосе.

ОКЕАН В НАУКЕ:



Интервью с руководителем Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН академиком Робертом Искандеровичем Нигматулиным

БУРИ И ШТИЛИ



Бухта Укромная, северный остров Новой Земли. Фото: Михаил Флинт

Когда корабль попадает в эпицентр бури и огромные страшные волны обрушиваются на него, жизнь экипажа и судьба корабля зависят от мужества и мастерства капитана. История знает немало случаев, когда опытный капитан помогал команде преодолеть любые удары стихии. Я не мог не вспомнить об этом, когда оказался на «капитанском мостике корабля», именуемом Институтом океанологии им. П.П. Ширинова РАН, рядом с академиком Робертом Искандеровичем Низматулиным. За окнами его кабинета был слышен шум Нахимовского проспекта, и почему-то он напоминал шум океанских волн. И было совсем не странно, что главный научный институт, занимающийся проблемами Мирового океана, находится почти в центре Москвы, откуда до ближайших морей около тысячи километров.

“Но ведь Москва — порт пяти морей, как говорили в недалеком прошлом», — отшучивается Роберт Искандерович, и уже в ходе беседы я понимаю, что будь институт в другом месте, не было бы ни его, ни тех великих достижений в науке, что связаны с ним. Кстати, институт работает во всех океанах планеты, и если мысленно представить, где разумнее всего расположить равноудаленный «капитанский мостик», то, оказывается, место выбрано удачно.

«Кстати, институт был создан по распоряжению И.В. Сталина сразу после войны в 1945 г.», — говорит академик.

Наша беседа с ним напоминает те же океанские волны: она то уходит в будущее, то обращается в прошлое. А как иначе можно говорить о Мировом океане?

— Хочу задать странный вопрос: чего вы боитесь в жизни?

— Как и все люди — болезней, неприятностей для наших детей и близких, а если говорить об общественных делах, то беспокоюсь за судьбу научного сообщества России.

— Почему я задал этот вопрос? Мы знакомы несколько десятков лет, и вы всегда в борьбе...

— Это точно.

— ...В Тюмени, когда там создавался научный центр, в Уфе, когда были президентом Академии наук Республики Башкортостан, и здесь, в Москве. Когда обрушилась критика на академию наук, то первый удар был нанесен по директору Института океанографии: он якобы занимается не наукой, а коммерческой деятельностью. Вы были в центре политических бурь, как вам удалось выстоять и победить?

— Я не боялся, не согнулся. Но была надежда, что удастся переубедить руководство страны, что так

Панорама мертвого Арала. Фото: Михаил Флинт



! Справка

Роберт Искандерович Нигматулин

Академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, директор Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

- ✓ Награжден премией Ленинского комсомола за цикл научных работ по механике сплошных сред, Государственной премией СССР за цикл научных работ по волновой динамике газожидкостных сред.
- ✓ С 1995 по 2004 г. возглавлял Академию наук Башкирии.
- ✓ Кавалер Ордена «За заслуги перед отечеством» IV степени.
- ✓ Автор свыше 200 научных публикаций, обладатель 21 авторского свидетельства (патента).



реформировать науку нельзя. Однако, к сожалению, это не удалось. Если говорить о моей социальной и общественной жизни, то это самое большое потрясение для меня.

— **Неужели вы проиграли? Ведь по натуре вы победитель.**

— Жизнь продолжается. Да, я не вижу сил, которые могли бы предотвратить падение России. Однако я верю, что они появятся и мы встанем.

— **И одно из таких мест — Институт океанологии?**

— Да.

Даже во время длительной и обстоятельной беседы не удастся узнать обо всем, чем хотел бы поделиться с людьми ученый. Причем есть проблемы, которые волнуют его остро и каждодневно. И тогда на помощь приходят монографии и книги. К счастью, академиком Нигматулиным написана книга «Как обустроить экономику и власть России: анализ инженера и математика». Название не предполагает «облегченного» чтения, но от этого труд ученого только выщерывает: те,

кто обеспокоен судьбой России, просто обязаны познакомиться с ним. Некоторые фрагменты книги, на мой взгляд, делают нашу нынешнюю беседу с академиком Нигматулиным более объемной и глубокой. Это как бы две стороны медали.

— **В мировой науке наш Институт океанологии занимает особое место. Он лидер! Этот тезис никто не оспаривает. Не так ли?**

— Институт был большой, крупный. Когда я сюда пришел, прежде всего начал учиться. Новому делу, новым идеям, которых у сотрудников в прошлом и сейчас было много. Здесь был создан уникальный коллектив, который добился выдающихся успехов в исследовании Мирового океана. В институте заложен огромный потенциал.

— **Вернемся в прошлое. Институту без преувеличения принадлежит первенство в открытии тайн Мирового океана.**

— Да, институт разработал идеологию комплексного многофакторного исследования Мирового океана. Это





Р.И. Нигматулин после погружения на дно озера Байкал, 2008 г.
Фото: Владимир Марин



Научно-исследовательские суда «Академик Иоффе» и «Академик Сергей Вавилов». Фото: Алексей Соков



Обитатели Антарктиды. Фото: Антон Чернецкий

биология, геология, физика и химия — все в одном месте. Такого, пожалуй, в науке об океане не было.

— **И не только об океане. Вспомним хотя бы первый рейс «Витязя».**

— «Витязь» — это слава нашего института. О нем известно во всем мире. Это монумент науке об океане.

— **Недавно я узнал, что первый его рейс был напрямую связан с атомным проектом СССР. Так что и в этой области — обороны страны — сделано немало. Ведь первые настоящие экспедиционные суда появились у вас?**

— Да, это бесспорно. Такие суда работают до сих пор. Они были очень нужны. Представьте: постановление о создании института было подписано Сталиным в 1945 г., сразу после войны. Экспедиционные работы велись очень активно — средств государство не жалело, понимая, насколько важны работы в океане. По сравнению с нынешним днем раз ученые в десять больше работали на судах и в океанах.

— **Интересно, а наш подводный атомный флот смог бы существовать без вас?**

— Нет, конечно. И сейчас без тех исследований, что проводятся в таких институтах академии наук, как наш, поднять уровень обороноспособности страны просто невозможно. Есть такое понятие — «оперативная океанология». Это исключительно академическая наука, но именно за ней стоит все обеспечение мореплавания, в том числе и подводного флота.

— **Существует один исторический факт, о котором нужно напомнить. Наши атомные подводные лодки однажды обошли весь земной шар, не всплывая на поверхность. Без рекомендаций специалистов Института океанологии сделать это было невозможно. Главным консультантом был директор вашего института академик А.С. Монин.**

— В моем представлении Андрей Сергеевич Монин был гением. Математик, ученик Андрея Николаевича Колмогорова, участник войны, работал в ЦК КПСС. Он писал стихи, был живописцем. Размышлял о религиозных проблемах. С таким потенциалом, конечно, есть немало людей, но их таланты чаще всего не проявляются. У Андрея Сергеевича все сложилось иначе. Страна после войны лежала в руинах. Люди жили в нищете, в коммунальных квартирах, но их таланты дали свои ростки. Бывают такие периоды в жизни страны. Гений Монина, на мой взгляд, вырвался именно в это время. Он был крут, часто несправедлив, незаслуженно обижал людей. Когда его сняли с должности, то многие сотрудники радовались. Однако позже они поняли, насколько масштабна была эта личность и как мудро решал он многие проблемы. Сейчас о временах Монина вспоминают с грустью и добрыми чувствами.

— **Открытие Мирового океана принадлежит таким людям, как Монин, и хорошо, что мы вспоминаем о них... Он был математиком, как и вы. Неужели океанология — это «математическая» наука?**

— В нашем институте много выпускников механико-математического факультета МГУ, потому что

современная океанография немислима без математики. Впрочем, как и вся наука. Вовсе не случайно, что во главе академии наук стояли математики — Келдыш, Лаврентьев, Марчук, Осипов. И даже если крупные математики не занимали руководящих постов в академии, влияние их всегда было ощутимо и реально. Именно математика дает возможность людям лучше разбираться в смежных науках. Специалистам с математическим образованием легче внедряться в разные сферы науки, осваивать их. Когда я работал в Институте механики МГУ, то там было представление, что мы можем разобраться в любой проблеме. Нас, молодых, именно так учили. Впрочем, мы сами вскоре убеждались в этом. Медицина? Хорошо, разберемся в лекарствах. Дыхание? Хорошо, есть гидромеханика дыхания. Реакторы? Разберемся в реакторах. Везде и во всем царствует математика. Это вовсе не значит, что это всегда правда, есть и надуманное. Это как в сказках. На них мы воспитываем детей. Там много выдумки, но они очень полезны. Мифы развивают воображение.

— Сказок в науке очень много. Но реальность будет помрачнее. Например, в Москве жара, а Европа в наводнениях. Почему наука не может предсказывать такие стихии?

— В природе всегда есть флуктуации, предвидеть и рассчитать которые невозможно. Ясно лишь одно: в атмосфере есть влажность и есть низкие температуры, и они обязательно придут туда, где жара и где наводнения. И гидродинамика позволяет это рассчитывать и объяснять. Предсказать это сложно.

— Мне кажется, еще и потому, что ваших судов нет в районе экватора.

— Да, там их сейчас нет.

— А как утверждал академик Г.И. Марчук, именно на экваторе рождается та самая погода, которая сейчас в европейской части России.

— Сейчас мы пойдем на Гольфстрим, от которого зависит климат нашей страны и Европы в целом. Каждый год мы проводим на нем две экспедиции. Гольфстрим формирует погоду даже в Москве. Сибирь находится под его влиянием. Все тепло приходит с этим течением. В той же Англии, которая лежит примерно на той же широте, что и мы, из-за него зимы практически не бывает. Гольфстрим приносит тепло с экватора, подогревает атмосферу. Работа Гольфстрима хорошо иллюстрируется Москвой и Тюменью. Они на одной широте. Но зима в Тюмени — 20–25° С, сухая и солнечная, а в Москве — слякоть, не зима, а нечто невообразимое.

— Итак, ваша предстоящая экспедиция связана с Гольфстримом, т.е. с исследованием Арктики. Наша наука наконец-то всерьез возвращается туда?

— Безусловно. Экспедиции в Арктику стали регулярными. Каждый год мы работаем в зоне Новой Земли, в районе Оби и Енисея. Хотелось бы идти дальше, но ресурсов не хватает. У нас по времени есть примерно месяц.

— Нет ледоколов?

— Академическому институту они не нужны. Нет ресурсов, а проще говоря — денег. Мы ходим туда, чтобы в первую очередь исследовать воды Арктики, их

формирование. И частично для контроля за ядерными кладбищами. Как известно, в районе Новой Земли захоронено много реакторов с подводных лодок и кораблей, и мы следим за ними.

— Слухи разносятся разные. Там чисто или уже нет?

— Пока нормально. Опасений все сбросы, что там были, пока не представляют, т.е. чисто. И в будущем мы намерены контролировать эти районы.

— Вы хотели бы пройти по всему Северному морскому пути?

— Конечно.

— Что мешает?

— Отсутствие ресурсов. Чтобы проводить экспедиции, надо учитывать, что вам нужно в сутки 1 млн руб. Это на топливо, зарплату экипажа и т.д., т.е. повседневные расходы. А если учитывать ремонт судна, то еще больше. Вот этих денег нам и не хватает.

— Простите, но Северный морской путь — мероприятие государственное. Вы — не частная компания. Освоение Арктики — дело всенародное. Почему?

— Почему денег не хватает? Объясню. К сожалению, общественность этого не понимает. Я вам задам такой вопрос: в какой стране больше всего миллиардеров на единицу валового продукта?

— На Украине и у нас.

— Правильно. Украина на первом месте, мы на втором. Паразитический класс, т.е. миллиардеры, забирают слишком много средств, их не остается ни на нормальное образование, ни на медицину, я не говорю о науке — академическая наука требует не так много средств. В частности, денег не хватает на наши суда, на оборону. Так что общество должно понимать, что обилие миллиардеров приводит к обнищанию государства.

— Либеральная интеллигенция считает иначе?

— Пока мы не наведем порядок с распределением ресурсов, мы будем стенать, что придумали новую технологию, а средств для ее внедрения нет. Инвестирование в экономику, о чем сейчас много говорят, это прежде всего наведение порядка в использовании средств.

— В вашем кабинете я вижу макет корабля. Это знаменитый «Мстислав Келдыш».

— Уникальный корабль. Он обеспечивал космические полеты, на нем осуществлялись дальние экспедиции, сделаны прекрасные открытия в Мировом океане. Кстати, с помощью подводных аппаратов «Мир» снят легендарный фильм «Титаник».

— Можно считать, что все «Оскар», присужденные этому фильму, принадлежат и вам.

— «Миры», что базируются на «Мстиславе Келдыше», фантастичны по своим возможностям, и они не раз доказывали это.

— Почему сейчас они не работают постоянно?

— Чтобы сейчас нам сделать экспедицию с «Мирами», нужно приблизительно месяц идти в тот район Мирового океана, где интересно для науки, месяц там поработать и месяц на возвращение. Такая экспедиция оценивается как минимум в 100 млн руб. А я на все экспедиции

и на все пять наших судов получаю 20 млн руб., еще столько же от президиума академии наук на фундаментальные исследования. Так что мне даже на половину экспедиции с «Мирами» средств не хватит, поэтому нельзя полноценно развивать нашу науку, оборону, образование, медицину при существующем социально-экономическом порядке. Невозможно!

— Главная претензия к вам как директору института, основная критика, звучащая со всех трибун, заключалась в том, что вы на своих судах вывозите туристов. Сейчас я хочу сказать: огромное спасибо вам за то, что вы возите туристов и тем самым спасаете наш научный флот!

— Представьте себе, что у вас есть судно. Всего десять дней в году у вас существует возможность использовать его в экспедициях. А что в остальное время делать? Экипаж надо содержать; даже если судно стоит в порту, то нужно за него платить. Оно потребляет энергию, требует ремонтов и т.д., т.е. оно начинает вас разорять. Два судна, у которых есть пассажирский класс, мы сдаем туристической фирме. Благодаря этому мы не только обеспечиваем жизнь судов, но и имеем возможность ходить в пролив Дрейка, куда идти полтора месяца. И одновременно мы имеем возможность осуществлять две экспедиции на Гольфстрим. Но это только эти два судна, а ведь у нас есть еще «Штокман», на котором было впервые открыто Штокмановское месторождение.

— Благодаря этому открытию мы просто обязаны быть очень богатыми!

— Богатыми благодаря науке становятся другие. А мы выживаем. Но если мы хотим говорить серьезно о судьбе науки, то нужно не возрастной ценз вводить и заниматься разными организационными мероприятиями, а существенно увеличить ресурсное обеспечение научных исследований.

— А есть ли такая возможность?

— Как ни странно это звучит, проблем с этим нет. Было бы желание. Средства на науку находились в достаточном количестве после войны, когда страна лежала в руинах. А разве сейчас хуже? Нет, конечно. Но необходимо, чтобы ситуацию с наукой понимали и общественность, и руководство страны.

— У меня создается впечатление, что руководство страны, общественность и вы сами несколько преуменьшаете роль института океанологии в истории страны.

— Что вы имеете в виду?

— После войны надо было победить голод. И в Мировой океан ушли китобойными флотилии. Промысел китов, как бы жестоко это сегодня ни звучало, помог нашему народу выжить. Китобой направлялись в те районы океана, куда им советовали идти ученые. Потом рождался атомный подводный флот. И вновь академические институты сыграли свою решающую роль — шло интенсивное изучение вод океана. На Северный полюс и вокруг земного шара ходили наши подлодки, а маршруты им прокладывали ученые Института океанологии. Завтра — Арктика. Не так ли?

— Вы правы. Не только исследование и изучение ее, но и использование природных ресурсов, а в этом районе планеты они огромные. Кроме того, не следует забывать о продовольственном обеспечении человечества. У нас, например, есть лаборатория, занимающаяся рыбными ресурсами. Год от года они играют все большую роль в жизни людей. Биология океана — это грандиозная проблема, и ею надо заниматься. Очень важно, чтобы руководство страны и общественность понимали, что центр будущего находится в академических институтах, таких как наш.

— Как вы оцениваете состояние нашей океанологии на фоне мировой науки?

— У нас накоплен огромный запас знаний, кадры великолепные, проведены уникальные исследования. Все это позволяет нашей науке пока оставаться на хорошем уровне, не уступая зарубежным коллегам. Однако мы могли бы идти дальше, если бы проводили широкие экспедиционные исследования. К сожалению, средств на них нет. Это во-первых. Во-вторых, мы существенно больше привлекали бы молодежь. Наука развивается интенсивно, если в нее идут молодые. Мы сейчас делаем все, чтобы они к нам приходили. Стараемся поднять таким ребятам зарплату. Выпускник университета задумывается о своей будущей жизни, ему необходимы жилье, достойная зарплата, обеспечение семьи. Пока мы живем, мы поддерживаем молодых. Я говорю не только о нашем институте, а о науке в целом. Но если политика чиновников будет продолжаться таким же образом, как сегодня, то, безусловно, наука России будет деградировать.

— Предположим, мы только что встретились и ничего не знаем друг о друге. Тогда мой первый вопрос прозвучал бы так: чем вы гордитесь как директор Института океанографии?

— Для меня лично самая большая проблема — как будет меняться климат. Я размышляю об этом. Есть люди, которые утверждают, что будет потепление из-за увеличения количества углекислого газа в атмосфере. Есть те, кто считает иначе. Большое влияние на формирование климата имеет, в частности, Гольфстрим. И пролив Дрейка, через который идут огромные потоки воды из Тихого океана в Атлантический. А тепло, как известно, разносится по планете с помощью океанской воды. Эти процессы мы и исследуем.

— Есть гипотеза, что Гольфстрим скоро исчезнет?

— Да, некоторые считают, что он «останавливается»: яковы льды в Арктике тают и теплое течение ныряет под них. В конце концов такие процессы приведут к тому, что Англия покроется льдом, а в наших широтах наступят жестокие холода. Был даже снят документальный фильм, в котором такая катастрофа показана весьма подробно. Наши экспедиции показывают, что ничего подобного не происходит, Гольфстрим не останавливается и не остановится еще тысячи лет. Он будет продолжать свою работу. Баланс вод Гольфстрима определен нашими учеными, во многом благодаря нашим экспедициям. Кстати, по этой проблеме работают молодые ученые института. Недавно Артем Сарафанов защитил докторскую

диссертацию. Он разработал математическую трехмерную модель, как Гольфстрим идет к нам, что с ним происходит, — им установлены все балансы этих вод. Структура вод пролива Дрейка нам тоже известна, а перекачка их из одного океана в другой там грандиозная.

— **Это не только выглядит красиво, но и практическая польза несомненна: я имею в виду рыбный промысел.**

— Конечно. Недавно на ученом совете мы обсуждали монографию «Рыбы Мирового океана». Книга двуязычная — на русском и английском. Это уникальнейший труд. Здесь представлено несколько тысяч видов разных рыб.

— **Извините, что перебиваю. Вашей ли рекомендацией было запустить камчатского краба в Баренцево море?**

— Нет. Но я понимаю, что вы имеете в виду. Краб там все заполнил, вытесняет треску, в общем, наносит колоссальный вред. Такая, образно говоря, «биологическая неосторожность», грубое вмешательство в природу — это недопустимо. К сожалению, подобных примеров много. Некоторые на совести и нашего института. Во время войны один из наших ведущих сотрудников предложил, как именно резко увеличить вылов осетровых на Каспии. Был нанесен огромный урон, мы до сих пор не можем добиться естественного восстановления. Только искусственно поддерживаем осетровую популяцию. Да, рекомендации были от нас. Вот и приходится учиться на своих ошибках. Однако в науке много неизвестного, поэтому не всегда удается находить верные решения. Взять ту же погоду. Мы можем прогнозировать ее на неделю, максимум — на десять дней вперед. И, пожалуй, большего не сможем. Какими бы точными параметрами вы ни располагали, система быстро «разбалтывается», меняется, и больше, чем на десять дней, вы рассчитать прогноз не способны. Но нас интересует климат в целом: будет потепление или нет. Как это скажется на регионах. Для такого прогнозирования создаются серьезные математические модели. Однако измерительных данных не хватает. Значит, нужны экспедиции, т.е. экспериментальные данные, на базе которых можно строить более точные модели. Это большая и глубокая научная проблема.

— **В 2002 г. в своем докладе на Всемирной конференции по климату вы говорили, что к прогнозам по изменению климата нужно относиться осторожно. И пример того — Монреальский протокол, который был принят, а потом оказалось, что это грандиозная ошибка, приведшая к экономическим потерям в \$500 млрд. Получается, ошибаться ученым нельзя?**

— К сожалению, от этого можно избавиться только одним путем: нужны измерения. Математические модели мы можем построить любые и всегда, но для их достоверности нужны экспериментальные данные, т.е. наши экспедиции. Они в основе любых прогнозов.

— **Знаю о вашей пристрастии к Аральскому морю.**

— Аральское море — это пример колоссальной катастрофы, которая случилась на наших глазах, всего лишь за половину нашей жизни. Объем воды сократился



Научно-исследовательское судно «Академик Мстислав Келдыш». Фото из архива Института океанологии



Залив Степового, Новая Земля. Фото: Михаил Флинт



Погружение аппаратов «Мир» на дно океана в точке Северного полюса. Фото: Юрий Володин

в десять раз, Аральского моря как такового уже нет, оно распалось на несколько озер. Если раньше здесь были рыболовецкие колхозы и совхозы, то теперь их нет. А по некоторым данным рыбы там ловили чуть ли не больше, чем на Каспии.

— **Я еще застал это рыбное изобилие. В начале 1960-х гг. часто бывал на космодроме, мы регулярно ездили на Арал. Рыбалка там была сказочная.**

— Сейчас нет ни единой рыбины. Ни одной! Каждый год туда отправляется наша экспедиция. Мы единственный институт, в котором изучаются последствия этой экологической катастрофы. Любопытно, что несколько сот лет назад Арал был в таком же состоянии, т.е. в природе существуют определенные циклы, которые вызывают такого рода катастрофы.

— **Ваши «Миры» были на Байкале. Реклама грандиозная, на весь мир. А что они дали науке?**

— Представьте, наши ученые обнаружили там целый холм газогидратов. На дне Байкала есть источники, из которых истекают нефть и газ. Явление уникальное. Некоторые люди пытаются найти на Байкале золото Колчака или другие сокровища, которые спрятаны там то ли белыми, то ли красными в Гражданскую войну, и они говорили, что «Миры» из-за этого и появились на Байкале. Но у нас цель другая: три года мы исследовали Байкал, получили много интересных данных, а параллельно шла популяризация этого уникального уголка нашей страны для всего мира — а также и наших «Миров». Руководители страны, которые побывали у нас, убедились, насколько велико мастерство наших сотрудников. К сожалению, время идет, возраст экипажа солидный, а молодых мы пока привлекать не можем. Подводные аппараты

надо осваивать в океане, на суше многому не научишься. Однако работать в океане пока нет возможности.

— **А в Арктике? Кроме флага, который вы установили в районе Северного полюса.**

— Кстати, это очень важно. Вновь был продемонстрирован высокий уровень нашей подводной техники. Мировой океан крайне неоднороден, в нем есть свои фронты, огромное биологическое разнообразие — в общем, это великий загадочный мир. Когда-то все говорили о Великих географических открытиях, люди узнавали о существовании новых земель. Теперь происходит нечто аналогичное: идет великое открытие Мирового океана. Это необходимо понимать и, конечно же, в нем участвовать.

— **Экологи бьют тревогу: океан загрязняется. Не преувеличивают?**

— Нет. Особенно опасны разливы нефти. Они неизбежны, т.к. транспортные потоки велики. Кроме того, надо учитывать, что углеводороды попадают и естественным образом, подобно газогидратам на Байкале. Образуется нефтяная пленка на поверхности. Пока мы еще не переступили критическую черту, хотя уровень загрязнений и высок, приблизительно соотношение 50:50 — океан еще терпит. Но за всеми этими процессами надо следить, контролировать их, а при необходимости и вмешиваться. Экология океана требует заботы всего человечества, и об этом следует помнить.

— **Не могу не спросить о Фукусиме.**

— Одна из тем, которыми мы гордимся, — это теория цунами. Оно возникает, если происходит вертикальное смещение плит. Участок небольшой — всего несколько сотен километров. Допустим, вертикальное смещение всего на один метр может передать воде энергию, равную взрыву десятков миллионов атомных бомб. Такие



расчеты мы проводили по землетрясению на Суматре. Волна идет к берегу, на мели происходит обострение, подъем на десятки метров, и гигантская волна обрушивается на побережье. Теория цунами была разработана нашими учеными, и ряд прогнозов, сделанных ими, оправдались. На Фукусиме землетрясение случилось на полбалла больше, чем считалось возможным. И это вызвало волну в три раза большую, чем считали специалисты. Насосные системы реакторов не выдержали, они были залиты. Кроме этого, руководство станции растерялось, менеджеры несколько дней ничего не делали, что и привело к катастрофе. Ее последствия предстоит изучать еще долго, т.к. влияние на Мировой океан аварии на Фукусиме очень большое.

— Полвека назад, когда был осуществлен прорыв в космос, считалось, что именно там самое важное и интересное. В это же время началось глубокое изучение Мирового океана, но об этом говорилось меньше. Сейчас в космос летаем постоянно, многое там уже ясно, осталось разобраться с галактиками и темной материей; а Мировой океан так же загадочен, как и в прошлом. Почему?

— Казалось бы, океан рядом и его легко изучить и понять. Минувшие десятилетия принесли, безусловно, множество открытий, каждое из которых в свою очередь порождало новые вопросы и проблемы. Оказалось, океан столь же бесконечен, как и космос, и в нем есть свои «галактики» и свои «вселенные».

— И что к этому следует добавить?

— Я хотел бы подчеркнуть одно: надо всегда помнить, что наука развивает разум, а без разума нет нации. ■

Беседовал Владимир Губарев



! Справка

Михаил Владимирович Флинт

Автор фоторабот, заместитель директора Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, доктор биологических наук, участник 14 крупных морских экспедиций.

Панорамный вид, Антарктида. Фото: Михаил Флинт



Иэн Маккалман

БОЛЬШАЯ КОРАЛЛОВАЯ БЕДА

Джон Верон (J.E.N. Veron), открывший более 20% мировых видов кораллов, высказывает опасения, что рифы находятся в более серьезной опасности, чем думают большинство людей

6 июля 2009 г., Лондон. Известный натуралист сэр Дэвид Аттенборо (David Attenborough) стоит за кафедрой Королевского общества в Карлтон-хаус-террас и собирается представить докладчика. Ропот ожидания пронесется по аудитории, с нетерпением предвкушающей лекцию под названием «Находится ли Большой Барьерный риф в смертельной опасности?». Затем сэр Дэвид представляет Джона Верона, 64-летнего бывшего главного научного сотрудника Австралийского института морских исследований. «Но я буду называть его Чарли, поскольку он разделяет страсть мистера

Дарвина к миру природы», — широко улыбаясь, сообщает сэр Дэвид. Этими словами Дэвид Аттенборо дал понять, что мы услышим доклад современного Чарльза Дарвина.

Многие из присутствующих ученых уже знали о том, насколько уместно это сравнение: есть поразительное сходство и интеллектуальные связи между сегодняшним выступающим и величайшим ученым Лондонского королевского общества. Все друзья Чарли Верона знают, что он смог стать всемирно известным ученым, сохранив независимость, любопытство и страстную любовь к природе. По словам сэра Дэвида, Чарли — один из мировых авторитетов в области знаний о кораллах и коралловых рифах. Он открыл и описал более 20% известных сегодня видов кораллов — крошечных беспозвоночных, образующих известковые структуры и часто объединяющихся в гигантские сообщества. И он составил полные каталоги всех мировых кораллов. Однако сегодня Чарли выступает с другой задачей: показать, что коралловые

Адаптированный отрывок из книги «Риф: страстная история» (The Reef: A Passionate History) Иэна Маккалмана по договоренности с Scientific American / Farrar, Straus and Giroux, LLC (США/Канада), Scribe Publications (Великобритания), Penguin Books (Австралия/Новая Зеландия). Все права защищены. © 2014, Иэн Маккалман.

СТОЙКИЙ? Несмотря на свое название, риф Харди (в переводе «Стойкий риф») борется с повышенными температурами океана и ростом уровня кислотности воды, как и остальные части Большого Барьерного рифа



ОБ АВТОРЕ

Иэн Маккалман (Iain McCalman) — профессор истории Сиднейского университета, член Королевского исторического общества и автор работ «Дарвиновская Армада» (*Darwin's Armada*, 2009) и «Семь испытаний графа Калиостро» (*Seven Ordeals of Count Cagliostro*, 2004).



рифы могут стать ключами к открытию правды об ошеломляющих изменениях, которые произошли с нашим климатом. Возможно, он сможет ответить на вопрос, волнующий всех нас: неужели плачевная ситуация с рифами свидетельствует о том, что будущее может быть хуже, чем мы себе представляем?

Когда аплодисменты стихли, Чарли подошел к кафедре: загорелое лицо, жилистое тело, красная рубашка, темный пиджак. Хриплым голосом с австралийским акцентом он благодарит сэра Дэвида и начинает рассказывать заворуженной аудитории, почему существует вероятность вымирания Большого Барьерного рифа у берегов Австралии — самого большого кораллового рифа в мире — уже в течение жизни самых молодых из присутствующих здесь слушателей.

Лекция Чарли, изложенная им в книге 2008 г. «Риф во времени: Большой Барьерный риф от начала до конца» (*A Reef in Time: the Barrier Reef from Beginning to End*), знаменует собой смену темы и тональности человека, когда-то так радостно писавшего о коралловых рифах. В течение 40 лет Чарли наслаждался их удивительными многообразием и сложностью. Теперь аудитория видит, как он сосредоточил все свои интеллект и энтузиазм на пророческом предвидении гибели рифов. Очевидно, что он хочет, чтобы его предсказание не сбылось. Для этого Чарли должен дать ответ на вопрос скептика: «Откуда вы знаете?» А затем на следующий: «Почему это должно нас волновать?»

Умножая познания, умножаем скорбь

Начало ответа Чарли вытекает из загадки местных различий между одинаковыми видами кораллов в разных местах — головоломки, над которой Верон бился десятилетиями. Поиски привели его к сотне рифов в огромных Индийском и Тихом океанах в обоих полушариях. Он нырял и собирал кораллы в Японии, Филиппинах, Индонезии, на Кокосовых островах, а затем в Занзибаре и на отдаленном острове Клиппертон в восточной части Тихого океана. Он всегда перемещался на лодке, работал

с местным населением, проводил много часов под водой, наблюдая и запоминая. Он обнаружил, что в течение геологического времени кораллы скрещиваются, давая новые разновидности, перестраивая связи между предыдущими вариациями старых разновидностей и даже образуя нечеткие гибриды.

По мере исследования разнообразия и эволюции кораллов, распространенных во всем мире, Чарли осознал серьезность проблемы. Его понимание угрозы имело личные и профессиональные причины. В середине продолжительных исследований случилась трагедия, заставившая его серьезно задуматься о смерти. Как и Чарлз Дарвин, который в период трудной работы по завершению теории эволюции был потрясен потерей в семье, Чарли Верон прошел через подобное испытание. В апреле 1980 г. Чарли работал в Гонконге, когда ему позвонила его жена Кристи с сообщением о том, что одна из их дочерей, десятилетняя Нони, утонула, играя с другом в заливе. Отягощенная горем, жизнь Чарли и его жены разладилась, и, хотя они по-прежнему поддерживали друг друга, было принято решение о разводе.

Личный опыт осознания силы непредвиденных обстоятельств и хрупкости жизни находит отклик в его исследованиях, достигая кульминации в книге 1995 г. «Кораллы в пространстве и времени» (*Corals in Space and Time*). Написание этой работы заставило его исследовать судьбу кораллов в прошлом и настоящем.

Чарли провел анализ прошлых случаев вымирания рифов и собрал много доказательств последствий изменения уровня моря, тепловых ударов, истребления рифов морскими звездами акантастерами (терновыми венцами) и антропогенного воздействия на содержание питательных веществ. Все это обострило его давние опасения за здоровье Большого Барьерного и других рифов мира.

По иронии судьбы, книга дала Чарли личный шанс — возможность второго брака с Мэри Стаффорд-Смит (Mary Stafford-Smith), ученой, редактировавшей книгу и ставшей его новым партнером. Чарли и Мэри начали

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Всесторонне изучая кораллы по всему миру, Джон «Чарли» Верон выяснил, как они развивались в течение миллионов лет в океанах планеты. Благодаря его открытиям стало очевидным, что подъем температуры океанов и повышение уровня кислотности океанской воды, вызванное изменением климата, приводят к обесцвечиванию и смерти кораллов.
- Верон призывает общественность придать гласности историю о гибели кораллов как последнюю надежду на предотвращение вымирания рифов по всему миру.

обсуждать идею издать богато иллюстрированное издание большого формата о кораллах для широкой аудитории, чтобы «раскрыть глаза миру на острую необходимость сохранения кораллов». Это была кристаллизация новой миссии по «завоеванию сердец и умов». Более 70 подводных фотографий бесплатно предоставили для книги свои работы, а художник-иллюстратор Джефф Келли (Geoff Kelly) сделал изысканные рисунки. Чарли предоставил большую часть всесторонних кратких аналитических отчетов. В октябре 2000 г. трехтомник «Кораллы мира» (*Corals of the World*) был предьявлен на суд Международного симпозиума по коралловым рифам на острове Бали. Посыл данной книги о хрупкости и деградации рифов завоевал еще больше сторонников в мировом сообществе.

Прирожденный борец за охрану природы, Чарли еще в 1970-х гг. был обеспокоен масштабом ущерба, причиняемого многолучевыми морскими звездами акантостерами, поедающими кораллы. Он убедился, что их количество стремительно росло из-за чрезмерного отлова рыбы, питающейся этими морскими звездами. Выживаемость миллионов личинок, ежегодно выбрасываемых в океанские течения, стала выше как следствие растущего уровня химического загрязнения (личинки морских звезд развиваются в загрязненной воде). Особенно разозлило его то, что групповые интересы корпораций, занимающихся развитием туризма, и политиков в сочетании с малодушным поведением чиновников препятствовали желанию ученых исследовать данную проблему. Это было самое начало процесса, повсеместно происходящего сегодня, а ученые стали менее свободными в выборе вопросов или поиске собственных ответов.

Массовое обесцвечивание

Оглядываясь в прошлое, Чарли говорит, что осознал, как и большинство представителей его поколения, что принимал как должное «безграничность океанов и устойчивость морских обитателей», в том числе огромного, относительно ухоженного региона Национального морского парка Большой Барьерный риф. Факт, что центральная часть Индийского и Тихого океанов играла роль «распылителя» биологического разнообразия кораллов, всегда вызывал определенное беспокойство из-за недостаточной правовой защиты данного региона. Друзья-дайверы долго убеждали его посетить живописные рифы восточной Индонезии, но к тому времени, как он добрался туда в начале 1990-х гг., было уже слишком поздно. Рифы, ранее простиравшиеся на тысячи километров, стали кучами каменных обломков. Чарли заметил первый признак обесцвечивания кораллов в начале 1980-х гг. на островах Палм, входящих в состав парка Большой Барьерный риф, — крошечный кустик белого рифового скелета, который он сфотографировал как редкое явление. «А затем я увидел угрожающее явление массового обесцвечивания, когда все становится белым и умирает. Иногда это просто быстро растущие ветвистые кораллы, однако на некоторые другие ужасно смотреть: кораллы возрастом четыре, пять, шесть сотен лет умирают».

Первое зафиксированное глобальное массовое обесцвечивание произошло между 1981 и 1982 гг. Следующая вспышка массового обесцвечивания кораллов произошла между 1997 и 1998 гг., она поразила рифы в более чем 50 странах, даже кораллы, живущие в теплой воде Аравийского моря. В Большом Барьерном рифе обесцвечивание совпало с самой высокой зафиксированной температурой воды. В еще более серьезном случае массового обесцвечивания в 2001–2002 гг. нанесение ущерба в мировых масштабах также подтвердило тесную связь с погодными изменениями, связанными с Эль-Ниньо. Наступило катастрофическое глобальное потепление. Кораллы, особенно чувствительные к повышению температуры и усилению света, послужили ученым сигналом об опасности климатических изменений.

Исследование Чарли показало, что во время погодных циклов, связанных с Эль-Ниньо (Эль-Ниньо — теплое океанское течение), поверхностные воды в лагуне Большого Барьерного рифа, уже нагретые до необычно

Чарли просит прощения у аудитории за такую депрессивную речь. Он призывает: «Используйте ваше влияние. Во имя будущего планеты помогите сделать эту историю достоянием гласности. Это не вымысел — это реальность»

высоких значений потеплением, вызванным парниковыми газами, подпитываясь массой теплых океанических вод из западной части Тихого океана, выплескивались на нежные живые кораллы рифа. Для кораллов воздействие температур на два-три градуса выше их максимума (31° C для видов Большого Барьерного рифа) в сочетании с повышенным уровнем солнечной радиации смертельно. Водоросли, живущие в тканях кораллов и обеспечивающие их цвет и питание путем фотосинтеза, в таких условиях производят кислород в количествах, токсичных для их хозяев-полипов. Кораллы должны изгнать своих симбиотических партнеров или умереть. Результатом становятся ряды окостеневших белых каркасов.

Эти поврежденные кораллы способны к регенерации при возвращении температуры воды к нормальным значениям при условии хорошего качества воды, однако частота и интенсивность явлений обесцвечивания сейчас такова, что процент потери рифа в результате смерти кораллов будет резко повышаться. Чарли прогнозирует, что расширение и углубление области теплых

вод в западной части Тихого океана в процессе изменения климата будет означать, что «каждый год станет годом влияния Эль-Ниньо для кораллов».

Прошлое предсказывает будущее

Чарли надеется, что какие-то, пока неизвестные, разновидности симбиотических водорослей, лучше приспособленные к тепловым ударам, смогут в итоге образовать партнерские отношения с кораллами. Или что адаптивная деятельность быстрорастущих кораллов, таких как акропора (*Acropora*), сможет помочь опередить обесцвечивание. Или что очаги обитания кораллов, расположенные на затененных прохладных глубоких склонах рифов или в глубоководье, смогут выжить, чтобы дать начало будущему обновлению.

В неявном виде в океанах уже начался процесс закисления, предвещающий неизбежность разрушения задолго до того, как оно станет видимым. Со временем мы достигнем точки, когда коралловые рифы станут растворимыми в морской воде. Карбонатные породы, в том числе и те, из которых сложены рифы, по словам Чарли, начнут растворяться как гигантские антацидные таблетки

Однако жара — не единственная проблема, с которой сталкиваются кораллы. Другие разрушительные механизмы взаимодействия невозможно остановить. По словам Чарли, рифы представляют собой природные архивы, своеобразные комплексные банки данных, хранящие свидетельства экологических изменений за миллионы лет до настоящего времени. В геологические пласты вписаны истории о массовых исчезновениях видов в далеком прошлом, в том числе и их вероятные причины. Эти архивы рассказывают нам, что четыре из пяти предыдущих массовых разрушений коралловых рифов на нашей планете были связаны с круговоротом углерода. Они были вызваны изменениями химического состава океана, обусловленными абсорбцией двух основных парниковых газов, диоксида углерода и метана, в процессе окисления океанской воды.

Нынешние причины проблемы — те же газы, хотя их повышенное содержание не стало результатом столкновений с метеоритами или деятельности вулканов, вызвавших предыдущие катаклизмы. Люди выполняют эту работу сами, намеренно выбрасывая в атмосферу огромные количества этих газов. Океаны, обычные природные абсорбенты таких веществ, уже на треть своих возможностей поглотили и химически нейтрализовали их. В неявном виде в океанах уже начался процесс, предвещающий неизбежность окисления и разрушения задолго до того, как они станут видимыми. Со временем, возможно в 2050 г., мы достигнем точки, когда коралловые рифы станут растворимыми в морской воде. Карбонатные породы, в том числе и те, из которых сложены рифы, по словам Чарли, начнут растворяться как гигантские антацидные таблетки.

Фитопланктон — пища крошечных морских рачков, ключевой элемент в пищевой цепи в южных океанических водах — также подвергнется воздействию закисления. И кто знает, какая цепь экологических последствий может наступить. В этом случае на Земле произойдет шестое массовое вымирание кораллов.

Поэтому Чарли Верон, человек, большую часть жизни проживший и проработавший на Большом барьерном рифе, находится в положении предсказателя такого вымирания. И нет ничего удивительного в том, что он скорбит. «Это стало повседневностью, и я работаю над этим изо дня в день. Это как смотреть на негасимый пожар в замедленной съемке — и так из года в год».

Нет более проникновенного зрелища, чем заключительный момент выступления Чарли в июле 2009 г. в притихшей аудитории. Отбросив свои заметки, он просит прощения за такую депрессивную речь. Он призывает слушателей подумать о том, что они только что услышали. «Используйте ваше влияние. Во имя будущего планеты помогите сделать эту историю достоянием гласности. Это не вымысел — это реальность».

Перевод: Е.В. Самойлова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

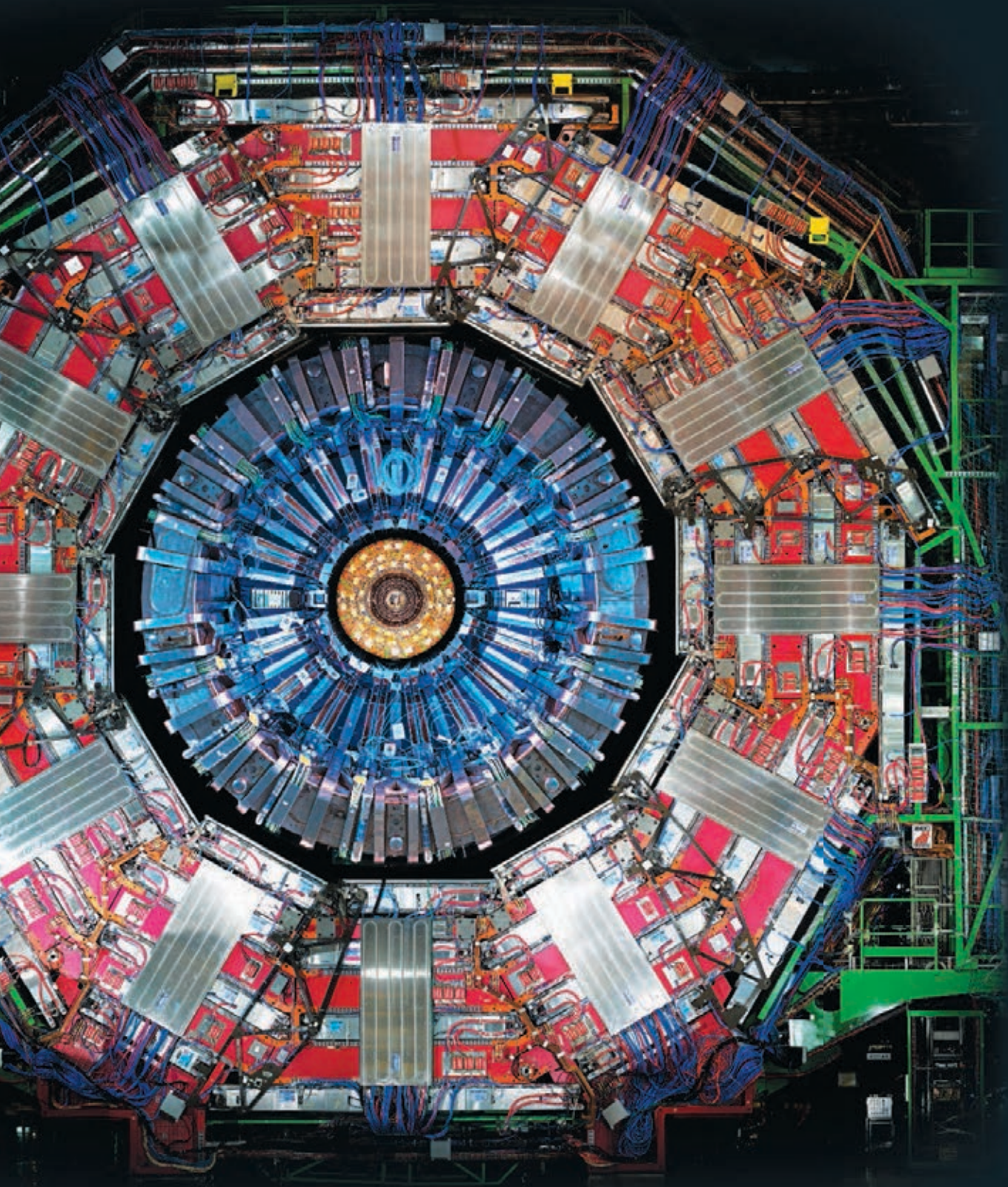
- Дони С. Кислый океан? // ВМН, № 6, 2006.
- Corals of the World. J.E.N. Veron. Australian Institute of Marine Sciences, 2000.
- Администрация Национального морского парка Большой Барьерный риф: www.gbrmpa.gov.au

Джозеф Ликкен и Мария Спиропулу

Суперсимметрия и кризис в физике

Несколько десятилетий физики работали над развитием красивой теории, которая обещала привести к более глубокому пониманию квантового мира. Сегодня они стоят на перепутье: либо ее правота будет доказана уже в следующем году, либо предстоит эпохальная смена парадигмы



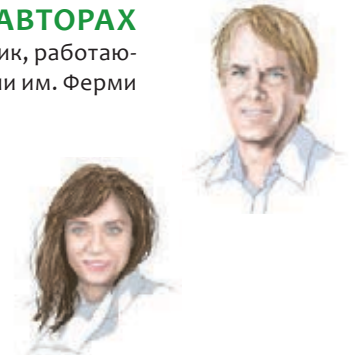


Заключительная стадия поисков свидетельств суперсимметрии на детекторе CMS Большого адронного коллайдера начнется, когда БАК снова вступит в строй в начале 2015 г.

ОБ АВТОРАХ

Джозеф Ликкен (Joseph Lykken) — физик-теоретик, работающий в Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми (Фермилаб) в Батавии, штат Иллинойс.

Мария Спиропулу (Maria Spiropulu) — физик, занимающийся экспериментальной физикой элементарных частиц в Калифорнийском технологическом институте. Проработав много лет на Теватроне Фермилаба, сейчас она занята поиском суперсимметрии в эксперименте CMS на Большом адронном коллайдере CERN.



Э то было одной из ночей 2012 г., уже переходящей в утро. Мы допивали по третьей чашечке кофе, когда видеосвязь соединила наш кабинет в Калифорнийском технологическом институте с расположенной вблизи Женевы лабораторией CERN. На экране монитора мы увидели коллег из группы «Бритва» — одной из множества групп физиков, занятых анализом данных с детектора CMS на Большом адронном коллайдере. «Бритва» была организована для поиска экзотических соударений, которые должны были предоставить первые подтверждения суперсимметрии — описывающей материю теории, возраст которой сегодня насчитывает уже 45 лет. Эта теория должна была прийти на смену стандартному толкованию физики элементарных частиц, позволив решить глубинные проблемы в физике и объяснить природу загадочной темной материи Вселенной. Несколько десятилетий поисков не дали суперсимметрии ни единого экспериментального подтверждения.

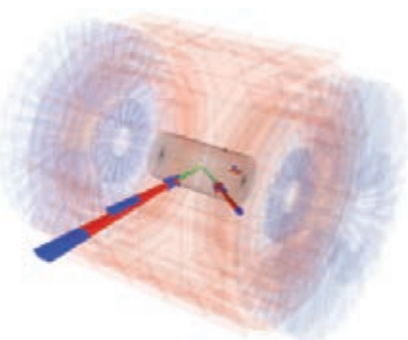
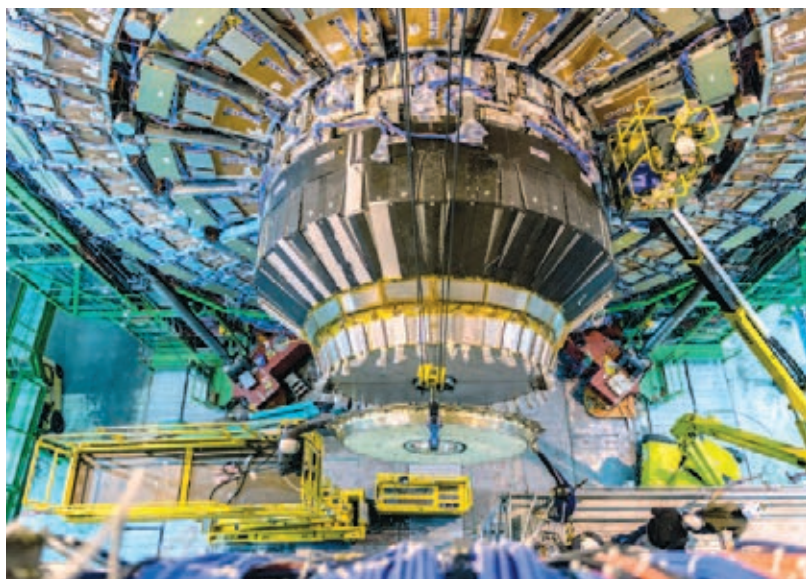
В CERN руководитель группы «Бритва» Маурицио Пьерини (Maurizio Pierini) бросил короткий взгляд на график с новыми данными, и с расстояния в девять временных поясов мы увидели, как удивленно поднялись его брови: вот она, явная аномалия. «Только взгляните на это событие», — сказал Пьерини, словно констатируя рядовой факт. Под словом «событие» он имел в виду одно из триллионов столкновений пары протонов, происходящих внутри детекторов БАК. Не прошло и нескольких минут, как мы получили детальные данные регистрации этого столкновения на свой лэптоп.

Суперсимметрия — это изумительно красивое решение фундаментальных проблем, которые мучили физиков на протяжении более чем четырех десятилетий. Она давала ответы на целый ряд важных вопросов. Почему частицы имеют массы, которые они имеют? Почему силы имеют силы, которые они имеют? Короче говоря: почему Вселенная выглядит так, как она выглядит? Кроме того, суперсимметрия предсказывает, что Вселенная заполнена скрывающимися до настоящего времени частицами-«суперпартнерами», которые позволяют решить загадку темной материи. Не будет преувеличением сказать, что большинство физиков на нашей планете, занимающихся физикой элементарных частиц, полагают, что суперсимметрия, должно быть, верна, — эта теория очень убедительна. Физики долго надеялись, что БАК наконец-то позволит обнаружить этих суперпартнеров, дав тем самым веские доказательства, что суперсимметрия — это действительно адекватное описание Вселенной.

Когда мы получили данные этого интересного соударения, мы сразу же увидели, что, похоже, держим в руках неопровержимое свидетельство суперсимметрии. Мы увидели, как два сгустка частиц очень высокой энергии движутся в одном направлении и отскакивают от чего-то невидимого — возможно, от суперпартнера? Однако уже скоро мы заметили большой красный пик в данных. Может быть, это ложный сигнал из-за сбоя в детекторе? Так оно и оказалось — еще одно разочарование в нескончаемых, похоже, поисках суперсимметрии.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Суперсимметрия постулирует, что каждая известная частица имеет скрытого суперпартнера. Физики любят симметрию, поскольку она позволяет решить несколько проблем, которые неожиданно появляются, когда они пытаются расширить наше понимание квантовой механики. Кроме того, теоретически она позволит разгадать загадку недостающей темной материи во Вселенной.
- Физики надеялись обнаружить свидетельство суперсимметрии в экспериментах на Большом адронном коллайдере (БАК). До настоящего времени они ничего не обнаружили. Если в следующей серии экспериментов на БАК не появится никаких доказательств, у суперсимметрии возникнут серьезные проблемы.
- Неудача в попытках найти суперпартнеров станет свидетельством назревшего кризиса в физике и заставит ученых поставить под вопрос постулаты, на основе которых они работали несколько десятилетий.



Усовершенствование эксперимента CMS (слева) поможет в поисках суперсимметрии. Положительный сигнал о суперсимметрии, по всей видимости, будет похож на это событие 2012 г. (вверху): две высокоэнергетические струи частиц в нижней половине детектора дают основание предположить, что недостающая материя — возможно, «темный» суперпартнер — ушла через верхнюю его половину.

Фактически результаты первого цикла экспериментов на БАК исключили почти все самые изученные версии суперсимметрии. Отрицательные результаты породили если не полномасштабный кризис в физике элементарных частиц, то по крайней мере обширную панику. Следующая серия экспериментов на БАК начнется в начале 2015 г. с максимальными энергиями, которые возможны на этом ускорителе, что позволит ученым, работающим на детекторах *ATLAS* и *CMS*, обнаружить (или же исключить) даже более массивных суперпартнеров. Если в конце этой серии ничего нового не обнаружится, фундаментальная физика столкнется с дилеммой: или выбросить в мусорную корзину работу целого поколения физиков из-за отсутствия свидетельств того, что природа играет по нашим правилам, или же активно продолжить работу в надежде, что когда-нибудь где-нибудь еще более мощный ускоритель позволит получить доказательства, что все это время мы были правы.

Конечно же история науки насчитывает множество примеров долгих поисков, закончившихся триумфом. Свидетельство тому — открытие на Большом адронном коллайдере долгое время остававшегося неуловимым бозона Хиггса. Но на сегодня большинство физиков-теоретиков, занимающихся физикой элементарных частиц, нервно грызут ногти в ожидании, когда новые данные с БАК вот-вот проверят на прочность фундамент величественного здания теоретической физики, возведенного в течение минувших 50 лет.

Необходимость суперсимметрии

Суперсимметрия — это часть более широкой атаки с целью понять глубинные загадки квантовой странности. В нашем распоряжении есть фантастически успешная теория субатомной физики, позволяющая делать предсказания новых эффектов, получившая прозаическое название «стандартная модель», которая для описания частиц и сил объединяет квантовую механику с эйнштейновской теорией относительности. Материя

состоит из одного сорта частиц, называемых фермионами (в честь Энрико Ферми) и удерживаемых друг с другом силами, обязанными другому типу частиц, называемых бозонами (в честь Шатъендраната Бозе).

Стандартная модель позволяет прекрасно описать то, что происходит в субатомном мире. Но неприятности начинают происходить, когда мы задаемся вопросом, почему стандартная модель именно такова, как она есть. Например, она утверждает, что есть три различных типа лептонов (одного из видов фермионов): электрон, мюон и тау-лептон. Почему именно три? Почему не два, не четыре или, например, не 15? Стандартная модель ничего по этому поводу не говорит. Чтобы найти ответ, нам потребуется исследовать более глубокий уровень природы. Аналогично мы могли бы спросить: почему электрон имеет массу, которую он имеет? Почему он легче, например, бозона Хиггса? Стандартная модель снова молчит по этому поводу.

Физики-теоретики потратили уйму времени, размышляя над этими вопросами. Они построили модели, которые объясняют, почему стандартная модель выглядит так и никак иначе. Теория струн, например, — это одна из попыток проникнуть на глубокий уровень реальности. Есть большое количество и других примеров.

Тем не менее каждая из этих дополняющих теорий не лишена проблем. Любая теория (вроде теории струн), которая ведет к новой физике, обязательно подразумевает существование новых гипотетических частиц. Эти частицы, по всей видимости, имеют чрезвычайно большую массу, которая объясняет, почему мы еще не обнаружили их в ускорителях, таких как БАК, поскольку частицы с большой массой очень трудно получить. Но даже частицы большой массы аналогично бозону Хиггса, по-видимому, тоже влияют на обычные частицы. Почему? Ответ лежит в самой природе квантовой теории.

В квантовой механике частицы взаимодействуют друг с другом посредством обмена так называемыми виртуальными частицами, которые рождаются и почти сразу

же умирают. Например, электрическая сила отталкивания между двумя электронами описывается в первом приближении как обмен ими виртуальным фотоном. Ричард Фейнман вывел элегантные правила для описания квантовых эффектов в терминах стабильных частиц, взаимодействующих с помощью дополнительных виртуальных частиц.

Однако в квантовой теории все, что строго не запрещено, происходит и на самом деле, по крайней мере время от времени. Посредством обмена виртуальными частицами электроны будут взаимодействовать не только друг с другом, они должны взаимодействовать и со всеми другими частицами — включая наши новые гипотетические частицы, добавленные для расширения стандартной модели. И эти взаимодействия будут создавать новые проблемы, если только в теорию не включено еще что-нибудь вроде суперсимметрии.

Естественная суперсимметрия расчищает для физиков путь к развитию новых идей для осмысления стандартной модели

Возьмем бозон Хиггса, который в стандартной модели придает элементарным частицам массу. Если бы у вас был бозон Хиггса и вдобавок к нему некие сверхтяжелые частицы, они начали бы общаться друг с другом посредством виртуальных квантовых взаимодействий. Сам бозон Хиггса стал бы сверхтяжелым. И в то же мгновение все во Вселенной превратилось бы в сверхтяжелые частицы. И вы, и я сжались бы до состояния черных дыр. Самое адекватное объяснение, почему этого не происходит на самом деле, — суперсимметрия.

Перспективы суперсимметрии

Основная идея суперсимметрии, которая среди физиков получила прозвище *SUSY* (произносится как имя «Сьюзи»), была разработана физиками, интересовавшимися связью между симметрией и физикой элементарных частиц, в 1970-х гг. Суперсимметрия — это не одна какая-то теория, а скорее основа для построения различных теорий. Любую отдельную модель Вселенной можно отнести к категории «суперсимметрия», если она обладает определенными свойствами.

Множество типичных суперсимметрий встроены в физические законы, управляющие частицами и силами. Эти законы не зависят от того, где вы находитесь, проводя измерения, в каком направлении вы смотрите и движетесь ли вы или же неподвижны относительно объектов, которые наблюдаете. Из этих пространственно-временных видов симметрий математически следуют законы сохранения энергии, импульса и момента импульса. Исходя из одних лишь симметрий мы можем вывести связь между энергией, импульсом и массой,

иллюстрируемую хорошо известным всем соотношением $E = mc^2$. Все это стало понятным еще в 1905 г., когда Альберт Эйнштейн создал специальную теорию относительности.

Квантовая физика, безусловно, уважает все эти симметрии. Ученые даже использовали симметрии для предсказания новых явлений. Например, Поль Дирак показал в 1930 г., что когда вы объединяете квантовую механику с теорией относительности, из пространственно-временных симметрий следует, что каждая частица должна иметь соответствующую античастицу — частицу с противоположным зарядом. Эта идея казалась в то время сумасшедшей, поскольку никто никогда не видел античастиц. Но Дирак, как оказалось, был прав. Его теоретические построения, основанные на соображениях симметрии, привели к смелым, но правильным предсказаниям, что элементарных частиц примерно в два раза больше, чем все ожидали.

Суперсимметрия основана на предположении, сходном с дираковским. Оно постулирует, что существует квантовое продолжение пространства-времени, называемое суперпространством, и что частицы симметричны в этом суперпространстве.

В суперпространстве нет привычных пространственных координат и таких понятий, как «лево — право» и «верх — низ», а есть лишь дополнительные фермионные координаты. Движение в фермионном пространстве весьма ограничено. В обычном пространстве вы можете двигаться по координатной оси сколь угодно далеко в любом направлении, и нет никаких ограничений по длине и количеству ваших шагов. В противоположность этому в фермионных координатах ваши шаги квантуются, и когда вы сделали один шаг, фермионное пространство оказывается «заполненным». Если вы желаете сделать еще один шаг, вы должны либо перейти в другое фермионное пространство, либо вернуться на один шаг назад.

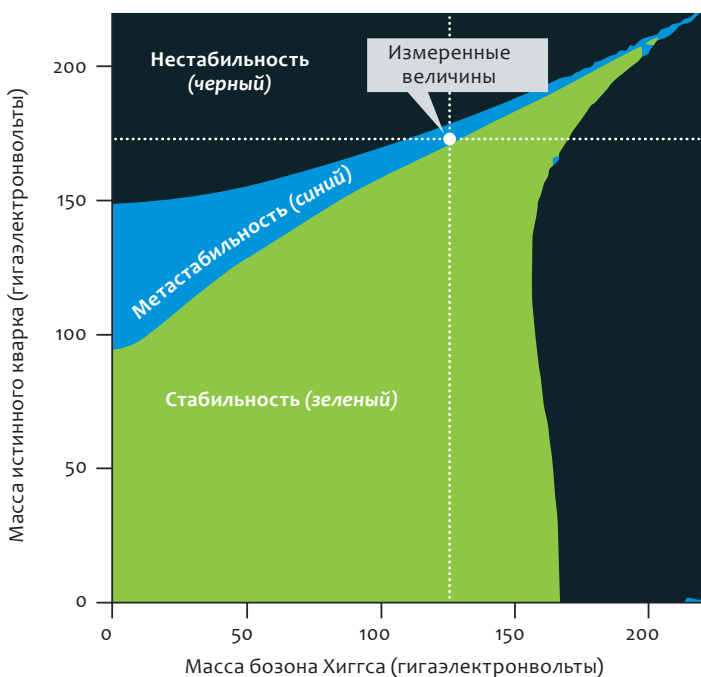
Если вы бозон, то один шаг в фермионном пространстве превратит вас в фермион; если вы фермион, то тот же шаг в фермионном пространстве превратит вас в бозон. Более того, если вы сделаете шаг в фермионном пространстве, а затем шаг назад, вы обнаружите, что вы также переместились и в обычных пространстве или времени на некоторое минимальное расстояние. Таким образом, движение в фермионном пространстве некоторым сложным образом тесно привязано к обычному движению.

Почему все это существенно? Потому, что в мире суперсимметрии симметрии в фермионных измерениях вносят ограничения характера взаимодействия частиц. В частности, так называемые естественные суперсимметрии очень сильно подавляют эффекты, связанные с виртуальными частицами. Естественные симметрии запрещают бозону Хиггса такие взаимодействия с высокоэнергетическими частицами, при которых мы превратимся в черные дыры. (Теории, которые, будучи суперсимметричными, при этом не естественные, требуют от нас введения дополнительных механизмов

Космические последствия

НА КРАЮ ГИБЕЛИ

Бозон Хиггса рассказывает много интересного о поле Хиггса — энергетическом поле, которое придает элементарным частицам массу. Насколько нам известно, это поле постоянно, поскольку любое внезапное его изменение уничтожит Вселенную. Однако результаты недавних измерений массы бозона Хиггса, будучи сопоставленными с массой *t*-кварка (истинного кварка), показывают, что поле Хиггса не совсем стабильно. Оказывается, оно пребывает в так называемом метастабильном состоянии. Квантовые эффекты теоретически могут перебросить его в состояние с меньшей энергией, уничтожив в этом процессе всю Вселенную. (Не волнуйтесь: это, скорее всего, не случится на протяжении еще многих миллиардов лет.) Суперсимметрия могла бы стабилизировать поле Хиггса.



подавления виртуальных частиц.) Естественная суперсимметрия расчищает для физиков путь к развитию новых идей для осмысления стандартной модели.

В поисках суперсимметрии

Во всех теориях суперсимметрии предполагается, что каждая частица-бозон имеет в качестве партнера частицу-фермион, так называемого суперпартнера, и наоборот. Поскольку никакие из известных частиц-бозонов и фермионов, по всей видимости, не служат суперпартнерами друг для друга, теория суперсимметрии может быть верна лишь в том случае, если во Вселенной присутствует большое число частиц-суперпартнеров, которые пока не были обнаружены.

В этом-то вся проблема. В простейших, самых мощных, версиях теории суперсимметрии — естественной суперсимметрии — суперпартнеры не должны быть намного тяжелее бозона Хиггса. Это означает, что мы обязаны были найти их в экспериментах на БАК. И впрямь, если бы вы спросили физиков десять лет назад, большинство из них сказали бы, что к нынешнему

дню мы уже наверняка обнаружим доказательства существования суперпартнеров.

Однако пока что мы их не нашли. Мария Спиropулу, одна из авторов этой статьи, вспоминает тот день в 2009 г., когда ровно в полночь я заступил на дежурство в качестве руководителя смены на детекторе *CMS*. В зале управления находилось много физиков, каждый из которых отслеживал одну из подсистем огромного комплекса детектора общим весом в 14 тыс. т. В два часа ночи мне позволили из Центра управления *CERN*, расположенного на противоположной стороне 27-километрового кольца БАК: сегодняшняя ночь будет решающей. Они собирались провести соударения протонов с самой высокой энергией из когда-либо сталкивавшихся учеными.

Я дал указания тщательно подготовить все компоненты детектора *CMS*, чтобы сохранить самые недолговечные его части для последнего эксперимента. В 4:11 утра детектор ожил. Стена, увешенная мониторами, словно взбесилась: сверхскоростная электроника мерцала картинками соударений, происходящих 20 млн раз в секунду на глубине 100 м под нами. После десяти лет погони за суперсимметрией на Теватроне Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми в Батавии, штат Иллинойс, мое сердце скакало в груди в предчувствии, когда я отмечал определенные картины. Успокойся, говорил я себе, это всего лишь начало: анализировать соударения, рассматривая визуальную картинку, довольно соблазнительно, но таким путем открытия не сделать.

Конечно же, построив ускоритель стоимостью \$10 млрд и включив его, вряд ли стоит ожидать открытий в первую же ночь — или даже в течение первого года. Однако наши ожидания были высоки уже с самого начала. Мы на детекторе *CMS* (равно как и те, кто работал на *ATLAS*) тщательно разработали план: открыть суперсимметрию уже на основе первых данных с БАК. Мы надеялись обнаружить частицы темной материи в сигналах суперсимметрии не «в лоб», а фиксируя «недостающую энергию»: громко кричащий о себе дисбаланс, который проявляется, когда видимые частицы отражаются от чего-то невидимого. Мы зашли в этом так далеко, что даже подготовили черновик статьи об открытии с заголовком и датой.

Статья эта так и осталась недописанной. На сегодня эксперименты оставили лишь несколько неисследованных закоулков, в которых, возможно, и прячутся суперпартнеры. Вряд ли они слишком легкие, иначе бы мы их уже обнаружили, но они не могут быть и слишком тяжелыми, поскольку тогда не будут удовлетворять требованиям естественной суперсимметрии — типу суперсимметрии, которая эффективна в подавлении виртуальных

SOURCE: "HIGGS MASS AND VACUUM STABILITY IN THE STANDARD MODEL AT NNLO," BY GIUSEPPE DEGRASSI ET AL., IN JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, VOL. 2012, NO. 8, ARTICLE NO. 98, AUGUST 2012

частиц. Если они не обнаружатся в течение следующего цикла экспериментов на БАК — и это не будет сделано достаточно быстро, — то кризис в физике поднимется в полный рост.

Жизнь после суперсимметрии

Однако теоретики пока не готовы отказаться от более общей идеи о суперсимметрии — даже если она не сможет выполнить все те задачи, которые, как мы надеялись, позволяет решить естественная суперсимметрия. Вспомним, что суперсимметрия — всего лишь один из каркасов для построения моделей мира, а не сама модель как таковая. Поэтому данные будущих экспериментов, возможно, реабилитируют идею суперсимметрии, даже если все нынешние модели будут забракованы.

Во время своего доклада в Институте теоретической физики им. Кавли Калифорнийского университета в Санта-Барбаре Нима Аркани-Хамед (Nima Arkani-

Открытие бозона Хиггса
показывает, что его
энергетическое поле
присутствует в каждой точке
Вселенной и придает массу
элементарным частицам.
Это означает, что вакуум
«пустого» пространства —
очень бойкое место, где
и энергия бозона Хиггса,
и виртуальные частицы
формируют сложную динамику

Named), физик из Института перспективных исследований в Принстоне, штат Нью-Джерси, рассказывал взад и вперед у доски, рассказывая битком заполненной аудитории о будущем суперсимметрии. Что будет, если суперсимметрию на БАК обнаружить так и не удастся, задался он вопросом, на который сам же и дал ответ: тогда мы разработаем новые модели суперсимметрии, которые поднимут суперпартнеров чуть выше уровня достижимой сегодня энергии. Но не будет ли это означать, что мы изменим нашу историю? В этом нет ничего страшного, теоретики не обязаны быть последовательными — последовательными должны быть их теории.

Эта несокрушимая верность суперсимметрии распространена довольно широко. Однако теоретики, работающие в области физики элементарных частиц, все же признают, что идея естественной суперсимметрии уже сильно скомпрометирована и быстро окажется

в мусорной корзине истории, если суперпартнеров не удастся обнаружить в скором времени. Это тупиковая ситуация напоминает те, что в прошлом приводили к смене парадигмы в науке. Например, более 100 лет назад неудача попыток обнаружить «светоносный эфир» привела к открытию специальной теории относительности.

Если суперсимметрия не служит верным описанием мира, что в таком случае могло бы занять ее место? Сегодня на этот вопрос существует три различных гипотетических ответа. Все они предполагают глубокий пересмотр взглядов на основы физики и космологии.

Мультивселенная. Величины фундаментальных сил и относительная величина масс частиц описываются числами, происхождение которых остается загадкой. Нам не хочется думать, что набор этих чисел случаен, поскольку если бы они лишь чуть-чуть отличались от реальных, Вселенная выглядела бы абсолютно иначе. Например, возникли бы значительные трудности с образованием атомов, и жизнь не смогла бы зародиться. На языке теоретической физики Вселенная, судя по всему, — это «тонко настроенный инструмент». Суперсимметрия пытается дать ответ на вопрос, почему эти параметры принимают такие значения, какие они принимают. Она приоткрывает дверь на более глубокий уровень физики. Но что делать, если этой двери не существует?

В таком случае нам остается рассматривать возможность, что эта «точная настройка» — всего лишь счастливая случайность, идея, которая становится более привлекательной, если постулировать существование мультивселенной. В сценарии мультивселенной в результате Большого взрыва образовалась не только Вселенная, которую мы наблюдаем, но и очень большое количество вариаций на тему нашей Вселенной, которые мы не видим. В этом случае такой вопрос, как: «Почему электрон имеет массу, которую он имеет?», получает ответ в форме: «Это просто слепая игра случая, в других частях мультивселенной существуют другие электроны с другими массами». Эти якобы точно настроенные сущности, которые кажутся нам загадочными, — просто случайное стечение обстоятельств в космической истории. Только во вселенных с параметрами, точно настроенными так, чтобы в них могла развиваться жизнь, появятся физики, озадаченные вопросом, почему они не нашли естественной суперсимметрии с помощью БАК.

Однако для многих физиков мультивселенная таит в себе неудобную аналогию — допущение, что аномалии в физике элементарных частиц вызваны армией невидимых ангелов. Нобелевский лауреат Дэвид Гросс (David Gross) сказал как-то, что обратиться к непознаваемым начальным условиям — это все равно что вообще отказаться от науки.

Дополнительные размерности. Физики Лиза Рэндалл (Lisa Randall) из Гарвардского университета и Раман Сундрум (Raman Sundrum) из Мэрилендского университета показали, что дополнительные пространственные измерения с так называемой «деформированной

геометрией» позволяют объяснить небольшую величину сил гравитации по сравнению с другими известными силами. Если эти дополнительные размерности действительно настолько малы, мы могли их просто не увидеть, но их размер и форма, вероятно, оказали бы очень сильное воздействие на физику элементарных частиц высоких энергий. Вместо того чтобы гоняться за суперпартнерами на БАК, с помощью таких моделей мы, быть может, обнаружим мир на основе модели Калуцы — Клейна, экзотические тяжелые частицы, чья масса — это энергия их движения в дополнительных пространственных измерениях.

Размерная трансмутация. Вместо того чтобы призывать на помощь суперсимметрию для подавления эффектов, связанных с виртуальными частицами, предложена новая идея — воспользоваться этими эффектами для объяснения, откуда берется масса. Рассмотрим протон. Протон — это неэлементарная частица. Он представляет собой композицию из трех кварков, которые имеют очень маленькую массу, и глюонов, вообще не имеющих массы. Протон гораздо тяжелее, чем суммарная масса кварков и глюонов внутри него. Откуда же тогда взялась дополнительная масса? А взялась она из энергетических полей, образованных силами «сильного» взаимодействия, которые удерживают протон как единое целое. Наше понимание этих полей позволяет нам в точности предсказать массу протона, основываясь на одних лишь обычных числах, таких как π (пи).

Странная ситуация складывается в физике элементарных частиц. Обычно мы можем вычислить массы частиц, лишь основываясь на массах других. Например, стандартная модель не дает нам способа предсказать массу бозона Хиггса — мы должны ее измерить опытным путем. Все это выглядит как явная ошибка, если учитывать, каким хитроумным способом мы можем предсказать массу протона. Основываясь на оригинальной работе Уильяма Бардина (William A. Bardeen), физика из Фермилаба, несколько теоретиков-радикалов недавно предположили, что шкала масс Хиггса формируется посредством аналогичного процесса, получившего название размерной трансмутации.

Если принять этот подход — оставить полезные эффекты виртуальных частиц, избегая при этом катастрофических (роль, которую в противном случае играет суперсимметрия), — мы должны будем отказаться от популярных рассуждений о том, каким образом законы физики можно объединить при сверхвысоких энергиях. К тому же долгожданную связь между квантовой механикой и общей теорией относительности он делает еще более непостижимой. Однако этот подход имеет свои преимущества. Такие модели позволяют генерировать массу у частиц темной материи. Они также предсказывают, что темная материя взаимодействует с обычной посредством силы, передаточным звеном которой служит бозон Хиггса. Это захватывающее предсказание будет проверяться в течение нескольких следующих лет в экспериментах как на БАК, так и в подземных детекторах темной материи.

Возможно, бозон Хиггса таит в себе и другие ключи. Открытие бозона Хиггса показывает, что его энергетическое поле присутствует в каждой точке Вселенной и придает массу элементарным частицам. Это означает, что вакуум «пустого» пространства — очень бойкое место, где и энергия бозона Хиггса, и виртуальные частицы формируют сложную динамику. Но тогда кто-то, возможно, спросит, действительно ли вакуум стабилен, или какое-то несчастливое квантовое событие, возможно, запустит однажды катастрофический переход от нашей Вселенной к чистому состоянию. Суперсимметрия действует как стабилизатор вакуума и предотвращает такие неприятности. Но без суперсимметрии стабильность вакуума очень сильно зависит от массы бозона Хиггса: более тяжелый бозон Хиггса предполагает стабильную Вселенную, тогда как более легкий в конечном итоге предполагает ее гибель. Примечательно, что измеренная масса бозона Хиггса приходится ровно на грань, что предполагает долгоживущий, но в итоге все же нестабильный вакуум. Природа пытается нам что-то сказать, но мы не можем ее понять.

Будущее

Если суперпартнеры будут открыты в следующем цикле работы БАК, нынешнее беспокойство о судьбе физики элементарных частиц сменится огромным энтузиазмом по поводу окончательного прорыва за порог, туда, где лежит новый таинственный мир. Начнется потрясающее интеллектуальное приключение.

Однако если обнаружить суперпартнеров не удастся, мы столкнемся с крушением парадигмы, составляющей базис нашего понимания квантовой физики. Такая перспектива уже сейчас вдохновляет на переосмысливание базисных явлений, лежащих в основе структуры Вселенной. Лучшее понимание свойств бозона Хиггса станет фундаментом для построения новой парадигмы. Экспериментальные свидетельства темной материи, этого обособленного, но неизменного порождения физики элементарных частиц, возможно, в конце концов, станут путеводной звездой, указующей путь вперед. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Supersymmetry: Unveiling the Ultimate Laws of Nature. Gordon Kane. Basic Books, 2001.
- Суперсимметрия в CERN: <http://home.web.cern.ch/about/physics/supersymmetry>



Энн Грейбиэл и Кайл Смит

ПРИВЫЧКИ, ПЛОХИЕ ХОРОШИЕ

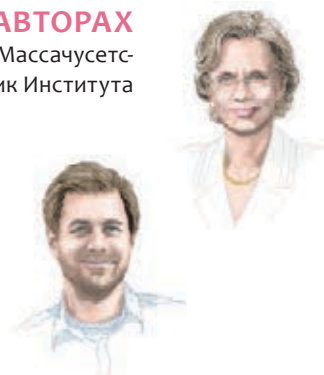


*Ученые определили, какие участки мозга
помогают нам приобрести хорошие привычки
и избавиться от плохих*

ОБ АВТОРАХ

Энн Грейбиэл (Ann M. Graybiel) — профессор Массачусетского технологического института и сотрудник Института исследований мозга Макговерна при МТИ.

Кайл Смит (Kyle S. Smith) — доцент психологии и наук о мозге в Дартмутском колледже.



Ежедневно все мы проявляем огромное количество привычных форм поведения. Многие из них, начиная с чистки зубов и заканчивая вождением автомобиля, позволяют нам делать некоторые вещи просто на автопилоте, не перегружая мозг концентрацией на каждом движении зубной щеткой или малейшем повороте руля. Некоторые наши привычки, такие как регулярная пробежка, способствуют поддержанию здоровья. Другие, например систематическое таскание конфет, — не содействуют. Привычки, связанные с усилением влечения и привыканием, такие как переедание или курение, могут быть опасными для жизни.

Несмотря на то что привычки занимают много места в нашей жизни, трудно разобраться, как мозг превращает новое поведение в обыденное. Не зная механизма, сложно найти способ избавиться от вредных привычек с помощью фармакологии или как-то еще.

Благодаря новым методам ученым наконец удалось расшифровать нервные механизмы привычек и выявить участки мозга и нервные связи, отвечающие за формирование и закрепление таких форм поведения. Полученная информация помогает нейробиологам выяснить, каким образом в мозге формируются полезные привычки и почему все мы, по-видимому, вынуждены бороться с разрушительными, которые нам не нравятся и от которых советуют избавиться врачи и любящие нас люди. Как показывают исследования, умея произвольно формировать ассоциации, мы могли бы получить контроль над хорошими и плохими привычками. Даже если кажется, что мы действуем автоматически, часть мозга все же контролирует наше поведение, и это обнадеживает.

Что такое привычка?

Все привычки выглядят как отдельные четкие действия, но с точки зрения нейробиологии они не одинаковы.

Некоторые из них ближе к чисто автоматическому поведению, позволяющему нам освобождать ресурсы мозга для других целей, а другие более осознаны, для их реализации требуются время и силы. Наши привычки формируются естественным образом по мере того, как мы исследуем физические и социальные аспекты окружающего мира и собственные внутренние ощущения. Мы пробуем те или иные формы поведения в определенной ситуации, выясняем, какие из них кажутся наиболее полезными и наименее затратными, и затем сохраняем их в виде привычек. Все это начинается еще в раннем возрасте.

Тем не менее у привычки есть и обратная сторона, которая может навредить нам. Чем более обычным становится поведение, тем меньше мы его осознаем. Мы перестаем концентрировать на нем внимание.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- При повторении какого-либо поведения оно закрепляется у нас в мозге, и в этом процессе участвует стриатум. Привычка становится отдельной, цельной единицей автоматического поведения.
- Привычки контролирует и другая область мозга — новая кора. Воздействуя на кору лабораторных крыс с помощью световых сигналов, можно прервать привычное поведение или даже помешать ему сформироваться.
- Больше узнав о работе этих областей мозга, ученые смогут разработать новые лекарства, поведенческие методы и иные простые приемы, помогающие контролировать хорошие и плохие привычки.

Действительно ли я выключил плиту перед уходом из дома? Запер ли дверь? Такая потеря контроля не только может помешать в повседневном быту, но и позволяет подкрасться вредным привычкам. Многие люди, потихоньку набирающие вес, неожиданно обнаруживают, что стали заходить в закусную или кондитерскую все чаще и чаще, совершенно об этом не задумываясь.

Такая коварная неспособность контролировать собственные действия означает, что привычка может превратиться в зависимость. Компьютерные и сетевые игры, непрерывный обмен сообщениями и, конечно, употребление алкоголя или наркотических средств — на смену свободному выбору приходит повторяющееся, вызывающее зависимость поведение. Нейробиологи все еще спорят, можно ли рассматривать зависимость как обычную привычку, просто более сильную и даже превратившуюся в автоматическое поведение. То же самое можно сказать про некоторые психоневрологические состояния, такие, например, как обсессивно-компульсивное расстройство, при котором мысли или действия становятся навязчивыми, и некоторые формы депрессии, при которых непрерывно крутятся негативные мысли. Экстремальные формы привычек могут иметь место при аутизме и шизофрении, когда наблюдаются повторяющиеся формы поведения и чрезмерная фиксация на чем-либо.

Преднамеренное поведение превращается в шаблонное

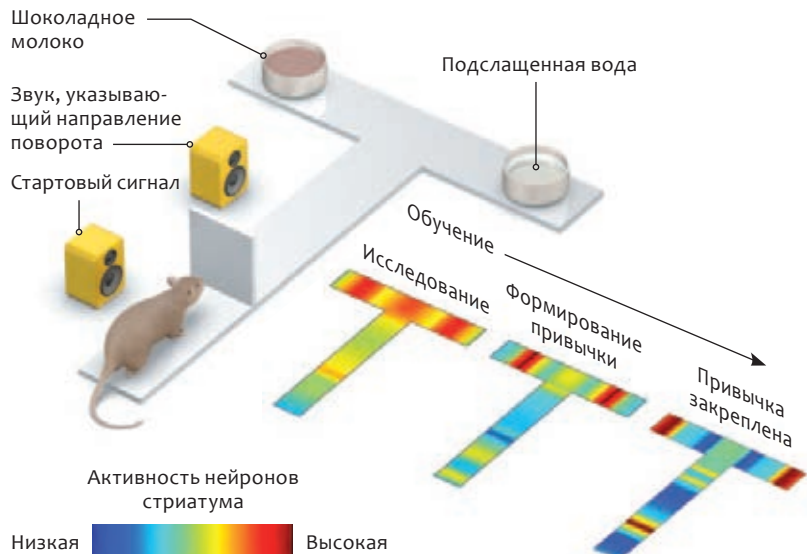
Несмотря на то что привычки могут быть очень разными, у них есть общие черты. Например, после того как привычки сформировались, они обретают устойчивость. Можно сказать себе: «Перестань так делать», но, как правило, это не помогает. Одной из причин может быть то, что критическое восприятие обычно возникает слишком поздно, когда поведение уже осуществилось и мы ощущаем его последствия.

В некоторой степени именно такая устойчивость помогла выявить нервные механизмы, отвечающие за формирование и закрепление привычки. Привычное поведение так укореняется, что мы осуществляем его даже против нашей воли, отчасти из-за механизмов, связанных с подкреплением реакций. Например, когда вы делаете А, вы получаете какое-то вознаграждение. Но если вы делаете Б, то этого не происходит. Такие последствия наших действий вызывают

Эксперимент

ДЕЙСТВОВАТЬ, НЕ ДУМАЯ

По результатам тестов на крысах выяснилось, что мозг воспринимает привычку как единый поведенческий акт. Крыс учили бежать по Т-образному лабиринту и в зависимости от звукового сигнала поворачивать за приманкой направо или налево. Во время первых пробежек (первое цветное Т) в стриатуме наблюдался высокий уровень активности (желтый и красный). По мере формирования привычки (второе Т) активность снижалась (зеленый и синий) везде кроме мест поворота и получения подкрепления. Когда привычка была сформирована (третье Т), высокая активность отмечалась только на старте и финише, обозначая границы выделенного поведенческого блока.



формирование ассоциаций и меняют наше дальнейшее поведение (реакция А проявляется чаще, чем Б).

Вольфрам Шульц (Wolfram Schultz) и Ранульфо Ромо (Ranulfo Romo) из Университета Фрибура выявили активность мозга, соответствующую схеме обучения с помощью подкрепления; на сегодня она уже смоделирована вычислительными методами. Особенно большое значение имеют «сигналы об ошибке предсказания получения подкрепления», возникающие, когда мозг оценивает, насколько предсказание о будущем подкреплении подтвердилось. Мозг производит анализ и формирует наши ожидания, повышая или понижая ценность определенной деятельности. Контролируя действия изнутри и давая им позитивную или негативную оценку, мозг закрепляет определенные типы поведения, переводя их из сознательных и обдуманных в автоматические привычки, даже если мы знаем, что не следует играть или передать.

И мы, и другие ученые задавались вопросом, что происходит в мозге при таком переходе и можно ли нарушить эти процессы. В лаборатории Энн Грейбиэл в Массачусетском технологическом институте (МТИ) наша группа начала эксперименты, чтобы выявить, какие нервные пути в этом участвуют и как их активность может меняться при формировании привычек.

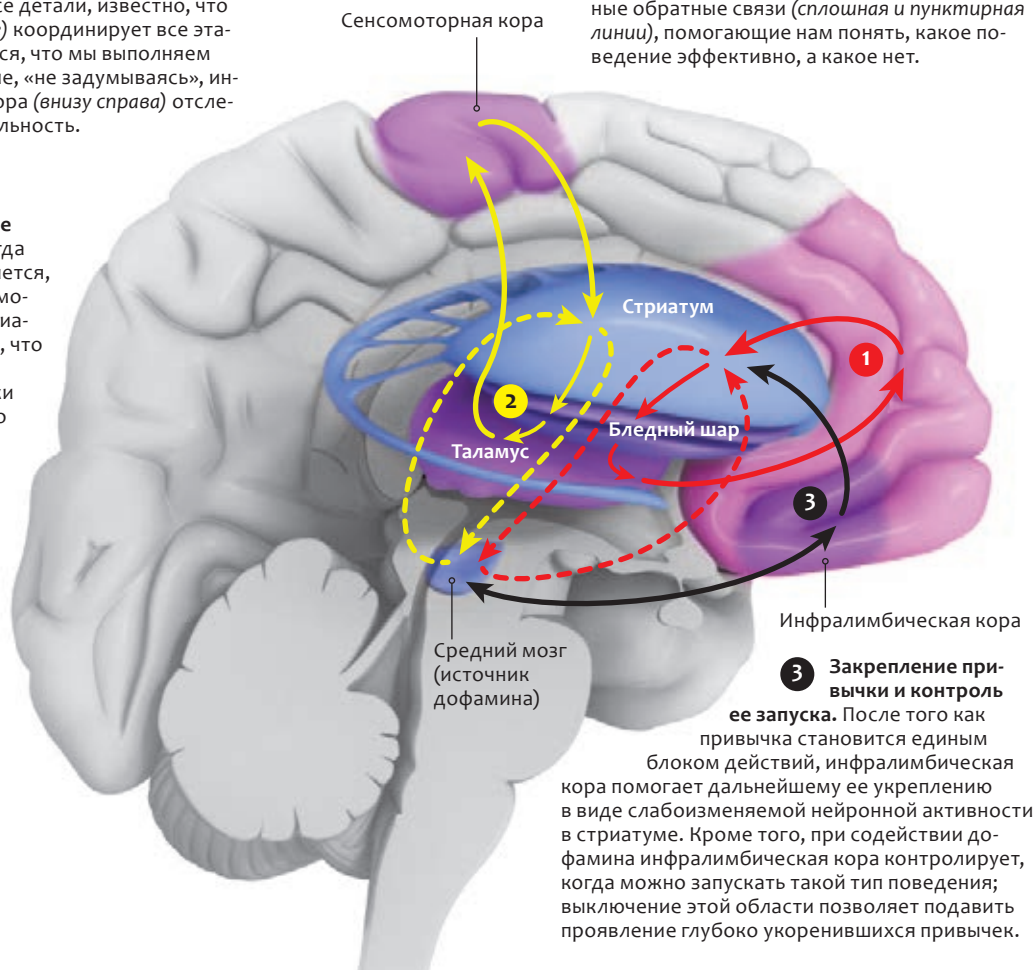
Для начала нам нужен был тест, показывающий, стало ли поведение привычкой. В 1980-х гг. британский

КАК ФОРМИРУЮТСЯ ПРИВЫЧКИ

Выделяют три этапа формирования и закрепления привычек: освоение нового поведения, формирование привычки, закрепление привычки (номера на рис.). Хотя ученые пока еще не выяснили все детали, известно, что стриатум (в центре) координирует все этапы. Хотя нам кажется, что мы выполняем привычное действие, «не задумываясь», инфралимбическая кора (внизу справа) отслеживает нашу деятельность.

2 Формирование привычки. Когда поведение повторяется, связь между сенсомоторной корой и стриатумом усиливается, что способствует превращению привычки в единое целое. Это обеспечивается за счет стриатума и выделения дофамина в среднем мозге.

1 Освоение нового поведения. Префронтальная кора взаимодействует со стриатумом, а стриатум со средним мозгом, где с помощью дофамина определяется ценность целей и облегчается обучение. Эти нейронные цепочки формируют положительные обратные связи (сплошная и пунктирная линии), помогающие нам понять, какое поведение эффективно, а какое нет.



3 Закрепление привычки и контроль ее запуска. После того как привычка становится единым блоком действий, инфралимбическая кора помогает дальнейшему ее укреплению в виде слабоизменяемой нейронной активности в стриатуме. Кроме того, при содействии дофамина инфралимбическая кора контролирует, когда можно запускать такой тип поведения; выключение этой области позволяет подавить проявление глубоко укоренившихся привычек.

психолог Энтони Дикинсон (Anthony Dickinson) придумал один такой тест, широко используемый до сих пор. Вместе со своими коллегами он научил лабораторных крыс нажимать на рычаг в экспериментальной камере для получения пищевого подкрепления. После того как животные хорошо обучились задаче, их вернули обратно в домашние клетки и экспериментаторы «обесценили» подкрепление, либо давая крысам наесться, либо используя лекарство, вызывающее легкую тошноту после поедания подкрепления. Потом они возвращали крыс в экспериментальную камеру, предоставляя им возможность выбора: нажимать на рычаг или нет. Если грызуны нажимали несмотря на то, что теперь подкрепление вызывало тошноту, Дикинсон считал, что привычка сформирована. Но если крыса «сохраняла внимательность» и не нажимала на рычаг, как если бы понимала, что подкрепление стало неприятным, считалось, что привычка не заложена. Данный тест позволил ученым контролировать переход целенаправленного поведения в привычку.

Запечатление привычки в мозге

Используя модифицированный вариант этого теста, Бернард Боллайн (Bernard Balleine) из Сиднейского университета и Саймон Киллкросс (Simon Killcross) из Университета Нового Южного Уэльса в Австралии нашли свидетельства того, что, когда поведение из сознательного превращается в привычное, оно начинает контролироваться другими нейронными цепочками. Согласно новым представлениям, основанным на экспериментах на крысах, людях и обезьянах, существуют несколько путей, связывающих новую кору (область мозга, которой мы, млекопитающие, по праву можем гордиться) со стриатумом — более примитивной подкорковой структурой. В зависимости от того, действуем ли мы осознанно или по привычке, эти пути задействованы в меньшей или большей степени.

Мы учили крыс и мышей выполнять простую задачу. В одном случае они обучались бежать по Т-образному лабиринту, как только услышат щелчок. В зависимости

от звуковой подсказки, раздававшейся, когда они начинали движение, в верхней части буквы Т они должны были повернуть направо или налево и пробежать до конца, чтобы получить определенный сорт подкрепления. Мы хотели понять, как мозг оценивает все за и против определенного поведения и в какой момент оно становится привычкой. У наших крыс действительно сформировались привычки! Даже когда подкрепление становилось невкусным, крысы прибегали к нему, услышав звуковой сигнал.

Для того чтобы выяснить, каким образом мозг запечатлевает поведение при формировании привычки, в лаборатории МТИ начали запись электрической активности небольшого количества нейронов стриатума. То, что мы обнаружили, нас сильно удивило. Когда крысы впервые исследовали лабиринт, нейроны области, ответственной за контроль движений, были активны все время, пока животные бегали. Но когда поведение становилось более привычным, активность подскакивала в начале и в конце пробежки и снижалась в середине. Это выглядело так, как если бы поведение стало единым целым, а клетки стриатума фиксировали только его начало и конец. Мы наблюдали необычную картину. Казалось, что клетки стриатума приспособлялись и способствовали объединению движений в одно целое, оставляя относительно небольшое количество «экспертных клеток» для обработки деталей поведения.

Это напомнило нам о том, как в мозге укладываются воспоминания. Все мы знаем, насколько полезно запоминать цепочки цифр в виде крупных блоков, а не в виде последовательности единичных цифр. Например, запоминать номер телефона «555-1212», а не «5-5-5-1-2-1-2». Покойный американский психолог Джордж Миллер (George A. Miller) предложил термин «организация блоков» (*chunking*) для описания такого способа упаковки памяти. Нейронная активность, которую мы наблюдали в начале и в конце пробежки, выглядит похоже: как будто бы стриатум устанавливал маркеры на границах отдельных блоков поведения — привычек, которые требовалось сохранить. Если это так, значит стриатум существенно помогает нам объединить последовательность действий в единое целое. Вы видите вазочку с конфетами и автоматически, «не задумываясь», подходите, берете и съедаете сладость.

Кроме того, исследователи выявили «область обдуманых действий», расположенную в другой части стриатума и активизирующуюся, когда выбор осуществляется не автоматически, а требует принятия некоего решения.

Для того чтобы понять взаимосвязь между системами, обеспечивающими обдуманые и автоматические действия, наша сотрудница Кэтрин Торн (Catherine Thorn) регистрировала сигналы от обоих участков одновременно. По мере того как животные выучивали задачу, активность части стриатума, связанной с осознанными действиями, усиливалась в середине пробежки, особенно когда крысам в зависимости от высоты звука надо было решить, в какую сторону поворачивать. Такая картина представляет собой почти полную противоположность

тому, что мы наблюдали в области, связанной с привычными действиями, при организации блоков поведения. И все же когда привычка была полностью сформирована, активность снизилась. Это означает, что, когда мы приобретаем привычку (если у нас это происходит так же, как у крыс), усиливается активность участков, связанных с автоматическим поведением, но происходят изменения и в других относящихся к ним областях.

Поскольку стриатум работает совместно с отвечающим за привычки участком новой коры (инфраламбической корой), мы зарегистрировали активность и в этой области. Результаты нас поразили. На начальных этапах обучения мы видели высокую активность в части стриатума, связанной с автоматическим поведением, в начале и в конце действия, но при этом не наблюдали почти никаких изменений в инфраламбической коре. Чтобы активность в данной области изменилась, надо было долго обучать животное и закрепить привычное поведение. Удивительно, что, как только это происходило, в инфраламбической коре тоже наблюдалась «организация блоков». Как будто структура благоразумно дождалась, пока система оценки в стриатуме решит, какое поведение следует сохранить и автоматизировать, и сообщит данные остальному мозгу.

Прекратить!

С помощью современных оптогенетических методов мы попытались выяснить, контролирует ли инфраламбическая кора привычки. Можно поместить светочувствительные молекулы в маленький участок мозга, а потом с помощью света включать или выключать там нейроны. В наших экспериментах мы выключали инфраламбическую кору у крыс, уже полностью обученных в лабиринте и сформировавших блоки поведения. Применение такого воздействия всего на несколько секунд во время пробежки полностью блокировало привычку.

Привычка пропадала быстро, иногда мгновенно, и оставалась заблокированной даже после выключения света. Однако крысы не переставали бегать по лабиринту. Пропадало только выученное движение к обещенному подкреплению. Животные по-прежнему хорошо бежали к ценному подкреплению в другой стороне лабиринта. Фактически по мере повторения теста крысы обретали новую привычку: бежать к стороне с хорошим подкреплением независимо от того, какой был сигнал.

Когда мы затем снова выключили кусочек инфраламбической коры, новая привычка заблокировалась и немедленно восстановилась старая. Возвращение старой формы поведения происходило в считанные секунды и сохранялось на протяжении всего дальнейшего тестирования, повторного выключения инфраламбической коры для этого не требовалось.

Многим людям знакомо чувство, когда была проделана большая работа, чтобы избавиться от привычки, а потом, стоит пережить стресс или однократно сорваться, как проблема возвращается во всей своей красе. Когда много лет назад русский ученый Иван Петрович

Павлов изучал данное явление на собаках, он пришел к выводу, что животные никогда не забывают хорошо закрепленные формы поведения. Максимум, что можно сделать, — подавить такое поведение. Мы обнаружили сходную устойчивость привычек у крыс. Но, что важно, мы можем включать и выключать привычки, воздействуя на небольшой участок коры в процессе реализации поведения. Нам еще не известно, насколько далеко может зайти подобный контроль. Например, если мы выработали у крыс три разные формы поведения, а потом заблокировали третью, будет ли проявляться вторая? И если мы затем заблокируем вторую, будет ли прорываться первая?

Но главный вопрос заключается в том, можно ли предотвратить возникновение привычки. Мы обучали крыс достаточно долго, чтобы они начали выбирать правильный рукав лабиринта, но не настолько, чтобы поведение стало автоматизированным. Затем обучение было продолжено, но во время каждого пуска мы с помощью оптогенетики подавляли инфраламбическую кору. Животные продолжали правильно бегать в лабиринте, но так и не обрели привычки, несмотря на то что обучение проводили значительно дольше, чем обычно. У крыс из контрольной группы, которых обучали точно так же, но без оптогенетического воздействия, привычки сформировались нормально.

Избавление от плохих привычек

Из наших экспериментов следуют некоторые любопытные заключения. В первую очередь, не удивительно, что от привычек так сложно избавиться, — они закладываются в мозге в виде организованных блоков, требующих активности многих нейронных цепочек. Хотя кажется, что это почти автоматические действия, на самом деле они контролируются как минимум одной областью коры, которая должна работать во время осуществления привычного действия. Получается, что привычки тут как тут, готовы запуститься, если кора решит, что обстоятельства подходящие. Даже если наше сознание не контролирует автоматические привычки, несмотря на то что многие из них очень важны для нас, в мозге есть структуры, отслеживающие реализацию такого поведения в реальном времени. Мы можем «не задумываясь» подойти к вазочке с конфетами, но система контроля в мозге работает как система контроля полета в авиалайнере.

Итак, насколько мы приблизились к возможности помочь людям? Вероятно, пройдет много времени, прежде чем каждый сможет, «щелкнув выключателем», избавиться от мешающих привычек. Экспериментальные методики, которыми пользуемся мы и наши коллеги, пока нельзя приспособить для людей. Нейробиология развивается с огромной скоростью, и мы уже приблизились к кое-чему действительно важному: правилам, по которым работают привычки. Если мы до конца разберемся, как они возникают и как нарушаются, мы сможем лучше понять наше собственное поведение и то, как можно им управлять.

Кроме того, вероятно, расширение наших знаний поможет людям с тяжелыми формами навязчивого поведения, открывая пути лечения обсессивно-компульсивных расстройств, синдрома Туретта, фобического или посттравматического стрессового расстройства.

Возможно, будут найдены фармакологические и какие-то другие способы лечения, позволяющие избавиться от вредных привычек. Поразительно, что результаты, которые мы получили при исследованиях мозга, хорошо согласуются с теми стратегиями поведенческой терапии, которые обычно предлагаются для закрепления здоровых привычек и отсева вредных. Если вы хотите приучить себя бегать по утрам, то, возможно, вам следует накануне вечером положить кроссовки там, где вы их точно заметите на следующий день. Такая визуальная подсказка аналогична звуковому сигналу, который мы использовали при обучении крыс, и будет хорошо, если после пробежки вы себя поощрите. Сделайте так достаточное количество раз, и ваш мозг сформирует нужный вам блок. С другой стороны, если вы хотите отказаться от конфет — уберите их из гостиной или офиса, избавьтесь от нежелательной подсказки.

Поменять привычные формы поведения не просто. Как говорил Марк Твен: «Привычка есть привычка, ее не выбросишь за окошко, а можно только вежливенько, со ступеньки на ступеньку, свести с лестницы». Однако наши эксперименты вселяют оптимизм: больше узнавая о том, как наш мозг формирует и закрепляет шаблонное поведение, мы надеемся выяснить, как люди смогут уйти от вредных привычек и обрести желательные.

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Диссеро К. Управление мозгом с помощью света // *ВМН*, № 1, 2011.
- Берридж К., Крингельбах М. Счастливый мозг // *ВМН*, № 10, 2012.
- Habits, Rituals, and the Evaluative Brain. Ann M. Graybiel in *Annual Review of Neuroscience*, Vol. 31, pages 359–387; July 2008.
- Human and Rodent Homologies in Action Control: Corticostriatal Determinants of Goal-Directed and Habitual Action. Bernard W. Balleine and John P. O'Doherty in *Neuropsychopharmacology*, Vol. 35, pages 48–69; 2010.
- Optogenetic Stimulation of Lateral Orbitofronto-Striatal Pathway Suppresses Compulsive Behaviors. Eric Burguière et al. in *Science*, Vol. 340, pages 1243–1246; June 7, 2013.
- A Dual Operator View of Habitual Behavior Reflecting Cortical and Striatal Dynamics. Kyle S. Smith and Ann M. Graybiel in *Neuron*, Vol. 79, No. 2, pages 361–374; July 24, 2013.
- Чтобы понять, что навязчивое состояние — это тоже привычка, см.: ScientificAmerican.com/jun2014/graybiel



Наша раздувшаяся Вселенная

Следы первоначальных
гравитационных волн
могут рассказать нам, как
и когда ранняя Вселенная
начала свое стремительное
расширение

Самораздувание: быстро расширяющаяся Вселенная порождает гравитационные волны, которые растягивают и сжимают пространство-время

Один — ноль в пользу инфляции! Представление о том, что после Большого взрыва Вселенная быстро расширялась, получило новые основания в марте, когда физики подтвердили первичное предсказание теории инфляции. Проводимый на Южном Полюсе эксперимент *BICEP2* выявил свидетельства существования первичных гравитационных волн — ряби в ткани пространства-времени, — которые возникли, когда только что возникшая Вселенная раздувалась. Это открытие не только стало важным подтверждением теории инфляции, но и открыло пути сужения круга многочисленных вариантов того, как могла протекать инфляция. «Это на деле намного сужает область мыслимых моделей инфляции», — говорит Марк Каменковский (Marc Kamionkowski) из Университета Джона Хопкинса, который не участвовал в открытии, но еще в 1977 г. предсказал с группой соавторов, как можно найти следы этих гравитационных волн. «Теперь мы сможем искать иголку не в стоге сена, а в ведре песка», — сказал он.

BICEP2 обнаружил структуру, называемую первичной поляризацией *B*-моды, в излучении, сохранившемся с первых моментов после Большого взрыва и известном под названием реликтового микроволнового излучения. Эта структура — кручение вектора поляризации, или ориентации электрического поля излучения, — могла создаваться только вызванными инфляцией гравитационными волнами. «Мы нашли бесспорное доказательство инфляции, а кроме того впервые получили изображение гравитационных волн на небе», — сказал

Ко Чао-линь (Chao-Lin Kuo) из Стэнфордского университета, который разработал детектор для телескопа *BICEP2* и был одним из руководителей сотрудничества.

Для полного признания такое проливное открытие требует подтверждения другими экспериментами, говорят физики. Тем не менее полученный результат провозглашается как большая победа космологии. «Вероятность того, что результат окажется ошибочным, есть, но я считаю гораздо более вероятным, что он подтвердится», — сказал Алан Гут (Alan Guth) из Массачусетского технологического института, предсказавший инфляцию еще в 1980 г.

Сегодня физики анализируют сделанное открытие в поисках подсказок в отношении хронологии и деталей инфляции. Полученные данные дают основание считать, что инфляция началась через одну триллионную от одной триллионной одной триллионной доли секунды (10^{-36} с) после Большого взрыва, когда концентрация энергии Вселенной была столь высокой, что все фундаментальные силы природы, кроме гравитации, т.е. силы электромагнитного, сильного и слабого взаимодействий, составляли некую единую силу. Новые данные могут также изменить мнение некоторых ученых, которые еще сомневаются в теории инфляции. «Если это открытие подтвердится, у теории инфляции не останется реальной альтернативы», — сказал Андрей Линде из Стэнфордского университета, один из авторов теории инфляции. ■

Клара Москович





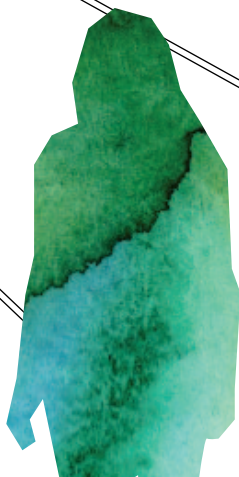
Современный университет под взглядом
ректора-психолога

ПРОСТРАНСТВО, НАСЫЩЕННОЕ СМЫСЛАМИ



Современные университеты похожи на крупные транснациональные компании. Им тоже нужно определяться со стратегией развития, набирать команду опытных управленцев, чутко реагировать на изменения в окружающем мире. Но еще университет похож на каждого человека в отдельности: так же мучается в поисках самоидентификации, отчаянно ищет внутренние, истинные цели своего существования. Как университету жить и развиваться с этими противоречиями?

*Об этом читайте в интервью с недавно избранным ректором Томского государственного университета (ТГУ), доктором психологических наук, действительным членом Российской академии образования **Эдуардом Владимировичем Галажинским**.*



Психология университета

— Эдуард Владимирович, ТГУ в прошлом году попал в ТОП-15 ведущих университетов страны. Теперь он может получить солидную господдержку на выполнение сложнейшей задачи — покорение первой сотни мировых рейтингов вузов. Не пугают такие масштабные задачи?

— Нет, не пугают. Идея ТОП-15 предполагает, что в кратчайшие сроки университет должен кратно нарастить свою конкурентоспособность в международном научно-образовательном контексте, осуществить трансформацию базовых процессов в логике развития современных университетов мирового класса. Задача очень сложная и ответственная. Тем не менее это уникальный шанс придать новый импульс развития Томскому государственному университету, который недавно отметил свой 136-й день рождения.

— Как совместить внутреннюю многолетнюю логику развития университета и такие внешние глобальные цели, как вхождение в сотню лидирующих университетов?

— Сейчас в системе российского образования конкурируют две модели. Первая ориентирована на традиционный менеджмент с определением ключевых показателей эффективности деятельности, когда можно все четко расписать: есть входящий поток потребителей, есть объемы оказанных услуг и произведенных научно-образовательных продуктов. Издержки минимизируются, поставленные цели выполняются. Но наука — это такой предмет, который нельзя выдать по плану. Разве можно планировать великое открытие и получение Нобелевской премии? Там, где продукт имеет творческий характер, очень важны факторы, связанные с личностью исследователя. Какое у него настроение? Болеет ли он темой или давно переключился на формальное зарабатывание грантов?

Так что это путь двойных стандартов: деньги в обмен на показатели. А в результате люди отучились системно работать и верить в результаты.

В психологии есть понятие внешней и внутренней мотивации. Внешняя ориентирована на вознаграждение и такие стимулы, как богатство, слава, успех. Первая модель рассчитана на них. А внутренняя мотивация — это когда занимаешься делом потому, что деятельность увлекает и ты видишь в ней смысл. Вторая модель опирается на мотивацию людей к развитию и их ценности.

Могу сказать о себе. У меня хорошая академическая карьера, много лет занимаюсь наукой и преподаю. Но есть задача, ради которой стоит жить: переопределить миссию и роль классического университета на новом историческом этапе — трансформировать императорский классический университет в современный университет мирового класса. Если не замахиваться на такую задачу, то нет и смысла тратить силы и время на нашу работу. Но если задача нас вдохновляет, мы свернем горы!

— Получается, у вас такой романтический подход? В чем романтика?

— Возможно, отчасти романтический. Но мы и о прагматизме не забываем. Выстраиваем свою систему показателей, но «с человеческим лицом». Не спускаем их людям в личный кабинет и не говорим: «Ваша задача выполнена, иначе будете уволены». Мы собираем сотрудников, обсуждаем вместе с ними эти показатели. Объясняем задачи, которые стоят перед университетом, создаем систему обучения по новым международным стандартам научной деятельности. Делаем все, чтобы сотрудники приняли новые задачи развития как свои собственные.

Кстати, мы провели исследование: у нас примерно 30% научно-педагогических

! Справка

Эдуард Владимирович Галажинский

Ректор Томского государственного университета, доктор психологических наук, профессор, действительный член Российской академии образования.

✓ Родился в Томске. Окончил исторический факультет ТГУ. В 2005–2012 гг. — декан факультета психологии ТГУ.

✓ В 2005 г. избран членом-корреспондентом, в 2011 г. действительным членом (академиком) Российской академии образования. Лауреат Премии Правительства РФ в области образования.

✓ С 2013 г. — первый проректор ТГУ и исполнительный директор программы развития Томского государственного университета на 2010–2019 гг. Руководитель рабочей группы по подготовке программы повышения конкурентоспособности ТГУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

✓ С 21 ноября 2013 г. — ректор ТГУ.

✓ Сфера научных интересов — психология личности.

✓ Автор более 60 научных трудов, входит в сотню самых цитируемых психологов России.



работников выдают 100-процентный результат. Что нам предлагается в рамках первой, эффективной системы? Уволить всех лишних людей и стать не третьим или пятым университетом в России, а сразу первым? Но мы говорим: «Важно вовлечь сотрудников, научить и сформировать мотивацию». В этом наша стратегия: создать условия для каждого человека и найти вместе с ним внутреннюю цель. Люди должны видеть, что мы верим в то, что делаем, и действительно хотим изменить реальность.

У американского бизнес-консультанта Джима Коллинза есть работа, которая называется «Построенные навечно». Он в ней проводит анализ компаний, которые живут более 600 лет. Менялись эпохи, менялся строй, а компании оставались. Знаете, что оказалось общего у таких компаний? Ориентация на общечеловеческие, универсальные ценности. То есть не на прибыль, а на добро, красоту, справедливость, истину. Университет похож на такой проект, построенный на века. Он тоже всегда опирается на базовые ценности: служить знанию, науке, не идти на поводу у социальной конъюнктуры, отвечать на существенные вопросы.

Перенасытить среду смыслами

— Но как тогда университету развиваться? С одной стороны, вечные, незыблемые ценности, а с другой — бешеный ритм современности?

— Всегда есть соблазн сказать: «До меня все было неправильно, и сейчас мы построим новый мир». Уверен, что именно из-за такой установки компании рвутся организации. Этого надо больше всего опасаться и в управлении университетом. Джим Коллинз, которого я уже упоминал, заметил, что великие компании, которые живут по 800 лет, очень последовательны в своем движении.

Сегодня в мире наступает время антропологического поворота. Время, когда человек становится главным ресурсом развития экономики и общества. С этой мыслью я пришел на должность ректора. Потенциал человека — его креативность, интеллектуальные возможности — чрезвычайно велик. Отсюда ключевой рефрен: конкуренция за таланты. Удерживать и привлекать лучших и выстраивать систему для раскрытия их потенциала — вот моя главная задача как руководителя.

— А что такое университет для его студентов?

— Университет — это место профессионального самоопределения, становления, развития. Он должен быть избыточной средой, перенасыщенной смыслами и возможностями для студентов. Тогда здесь появятся индивидуальные траектории. Именно такая среда провоцирует человека на выбор, заставляет рефлексировать: «Зачем я живу? В какой сфере я могу максимально реализоваться и обрести себя?» Чтобы не было потом как в анекдоте, когда человек спрашивает: «Правильно ли я живу, Господи?» — и получает ответ: «Правильно, но зря».

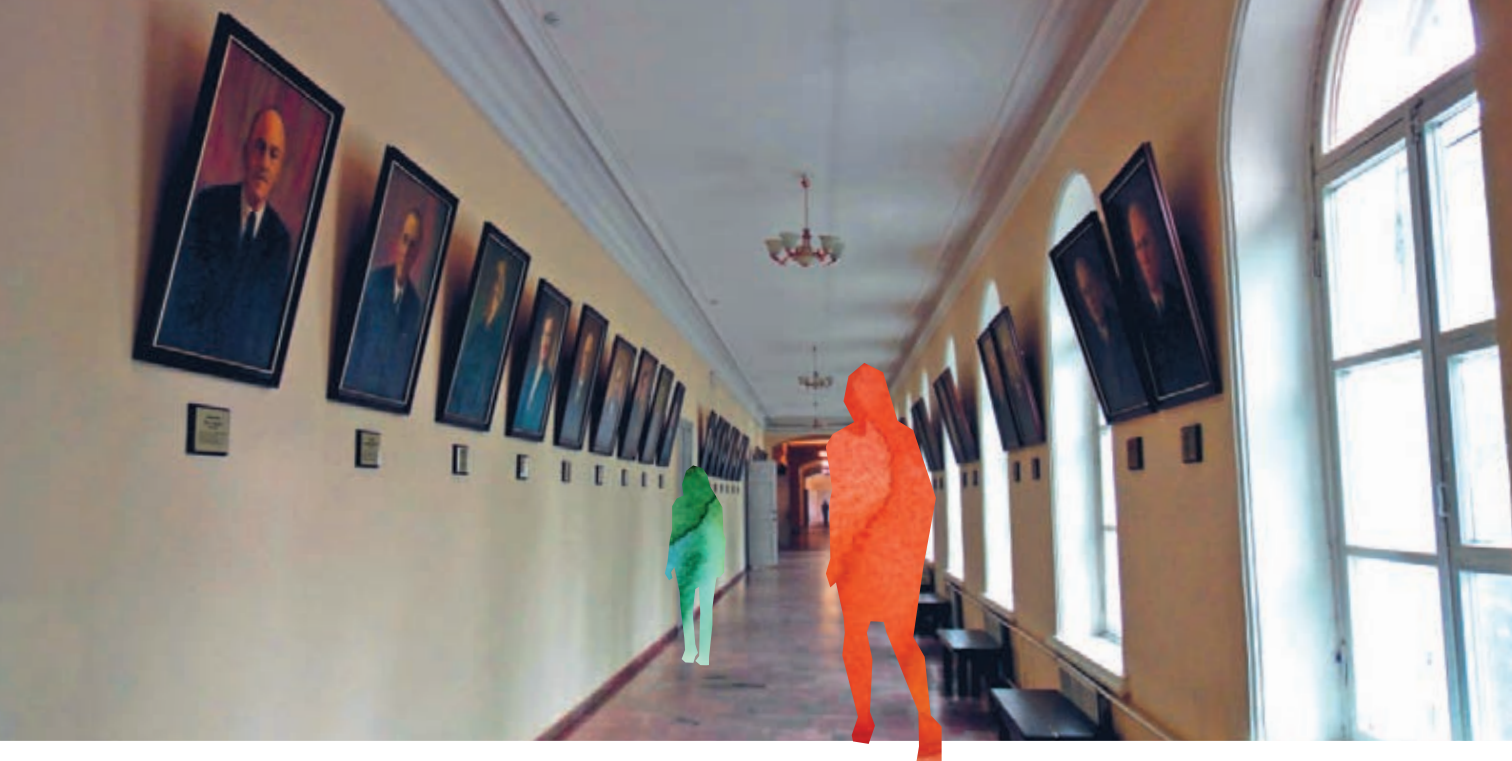
— Вы имеете в виду внешнюю и внутреннюю мотивацию? Забыть про диплом, зарплату, карьеру и искать смысл внутри себя?

Томский государственный университет. Томский политехнический университет. Томский государственный педагогический университет. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Любой местный житель с легкостью вам покажет, где найти эти и другие университеты города. Всего — 140 адресов. Томск — это город университетов и студентов. Каждый пятый его житель — студент. А каждый первый — бывший студент, будущий студент или в крайнем случае его родственник

— Поиск смыслов не отменяет профессиональную успешность. Мы проводили исследование и сравнивали педагогов — выпускников педагогических колледжей и выпускников университетов. Оказалось, что поначалу эффективнее работает выпускник колледжа. Он имеет конкретные инструменты, алгоритмы, методику. Особенно думать не нужно. А у выпускника университета такой профессиональной настройки нет, но есть способность ставить проблемы и все время получать новые знания. Поэтому большинство лучших педагогов-новаторов именно из университетов. Правда, есть и обратная сторона. Если спросить выпускника классических университетов ТГУ или МГУ, удовлетворен ли он тем, чему его научили, 70% ответят: «Не в полной мере, хотелось бы большей конкретики». Поэтому мы сейчас стараемся нарастить прикладные компетенции, чтобы человек выходил из университета в профессиональную жизнь с инструментарием. И, конечно, с умением выделять проблемы в профессиональной деятельности и искать пути их решения. Ведь сейчас профессии постоянно меняются, и человек должен за ними успевать. Даже появилось такое понятие — «трансфессионал», человек, действующий поверх границ профессии, способный меняться вместе с профессией и менять профессию вместе с собой.

— А что такое управлять университетом? Быть научным менеджером? Ведь это настоящая задача для трансфункционала?

— Я всегда понимал, что управление — это особый вид профессиональной деятельности, не менее важный



и сложный, чем занятие наукой. Поэтому я в течение 20 лет параллельно учился быть управленцем. Специально читал психологию управления, изучал лидерство. Здесь есть свои законы, тонкости. Например, я считаю, что в управлении университетом не должно быть монархии. Должны быть идеологический лидер — ректор и команда его единомышленников, экспертов в своих областях, которые решают общие задачи и делят ответственность поровну. Если так работать, то можно добиться успеха. А если строить иерархию в академической корпорации, это закончится печально.

Классический университет в неклассическое время

— Каким должен быть современный университет?

— Для меня сегодня самый сложный вопрос таков: каким должен быть классический университет в наше неклассическое время? В императорской России его миссия была понятна: форпост на евразийском пространстве, социокультурное втягивание Сибири, Северной Евразии. И эта задача была решена. А что сейчас? Геополитической задачи нет. Наоборот, она скорее космополитична. Вся серьезная наука работает в международных сетях. Современный университет мирового класса — это сочетание высокой концентрации талантов, ресурсов и эффективной системы управления. Над этими основаниями надстраиваются системы научно-образовательной деятельности, работы с интеллектуальной собственностью, выпускниками и т.д. Все это образует особую университетскую экосистему. Как правило, такие модели предполагают высокую концентрацию вокруг приоритетов развития. Все лишнее отсеять, создать центры превосходства, пригласить на работу нобелевских лауреатов. Суперэффективно.

— То есть этот путь не для вас?

— Это эффективная технология создания современного университета мирового класса, и, безусловно, мы собираемся ее использовать. Но мы — классический университет, имеющий широкий спектр направлений

и специальностей, причем не всегда прагматически ориентированных. Поэтому очень важно сначала спроектировать современный классический университет. Нужно не просто сказать, что мы другие, но и выразить какие. Аргументировано показать, в чем наши преимущества и какова наша модель, что значат классичность и фундаментальность образования в современных условиях. Мы видим, что наших выпускников охотно берут крупные компании. Они другие, они могут системно мыслить, глубоко разбираться в проблеме. Как нам это не потерять? Как на этом обрести уникальность и конкурентное преимущество? У меня было ощущение, что, может быть, мы зря ставим такие вопросы. Но, по моему глубокому убеждению, без ответа на них мы не сможем двигаться дальше. Будут просто бесконечные шатания.

— Как вы ищете ответы на эти вопросы? Составляете стратегию развития университета?

— Да, конечно. Мы уже провели несколько стратегических сессий с экспертами. Кроме того, активно используем технологии краудсорсинга: вовлекаем сотрудников в проектирование университета. На первом собрании у нас было 120 человек, на втором более 500. Мы уже почти год бьемся над этой задачей, но, думаю, скоро определимся. Например, уже ясно, что основной акцент будет сделан на формировании особого типа мышления у выпускников и концентрации исследований вокруг проблематики качества жизни. Повторюсь, человек становится главным ресурсом — а значит, и качество его жизни. Поиски новых материалов, разработка биомедицинских препаратов и химических технологий, когнитивные исследования и изучение биоты и климата — все это тематика наших центров превосходства.

От Васюганских болот до всероссийского реестра близнецов

— Совсем недавно вы выиграли очередной мегагрант.

— Уже пятый! Его победителем стал Марк Солиоз, профессор из Швейцарии. Кстати, он приехал к нам

работать и без мегагранта. Мы его уже приняли, он начал исследования, и только потом пришла эта победа. Но даже если бы он не выиграл, все равно работал бы в этом направлении. Они вместе с Ольгой Карначук, заведующей кафедрой физиологии растений и биотехнологии, работают над созданием нанопомп для тяжелых металлов — это такие специальные белки в клеточной мембране, поддерживающие необходимый ионный состав. Мы ищем свой путь, но от международного сотрудничества не отказываемся.

— **А насколько важно, на ваш взгляд, это международное сотрудничество?**

— Очень важно. Это сетевая наука современности. Мы должны быть открытыми, должны интегрироваться в мир, активнее учиться, принимать вызовы. По своему опыту участия в самых серьезных международных проектах могу точно сказать: наши специалисты мыслят глубже, методичнее и креативнее. Мы можем выдавать великолепный результат. Важно освоить новые для многих международные стандарты исследований и представления результатов научной деятельности. И международные связи здесь могут только помочь.

— **Современные эффективные университеты выделяют приоритетные направления. Есть ли у ТГУ такие направления, учитывая акцент на проблематике качества жизни человека?**

— Есть. Наши пять приоритетных междисциплинарных платформ на ближайшее время: исследования в области биоклимата и ландшафта; когнитивные исследования; новые материалы — полупроводники, нанотехнологии и т.д.; высокие технологии в области медицины и теоретическая физика. Мы делаем акцент на такие направления, которые сегодня не требуют суперзатрат, но высококонкурентоспособны, как, например, теоретическая физика. Или возьмем биоландшафт: у нас совсем недалеко есть уникальные Васюганские болота, которые называют легкими планеты. В Канаде такие исследования стоят миллионы долларов, а у нас гораздо дешевле, и можно взять специалистов со всего мира, которые заинтересованы в таких сложных климатических системах. Используем свое конкурентное преимущество.

— **Расскажите, пожалуйста, о самом любимом, самом интересном проекте в университете.**

— Это проект, который я сам начинал и в котором до сих пор участвую. Мы его проводим совместно с английскими коллегами. Речь идет об исследовании влияния генетических и средовых факторов на способность к обучению. Мы наблюдаем близнецов и пытаемся найти факторы, которые связаны прежде всего с математическими и лингвистическими способностями. Близнецы обладают идентичным генетическим материалом, но могут иметь разные средовые факторы: воспитываться в разных семьях и т.д. Поэтому можно оценить влияние генотипа и влияние среды на человеческую уникальность. Сейчас нами уже создан российский близнецовый регистр, исследования идут полным ходом.



✓ Национальный исследовательский Томский государственный университет основан в 1878 г. Александром II как Императорский Сибирский университет. Он обеспечивал подготовку интеллектуальной элиты не только для Сибири, но и для всей азиатской части России.

✓ Важнейший приоритет университета — стремление к воспитанию свободно и широко мыслящей творческой личности, способной к самостоятельным научным и мировоззренческим решениям.

✓ В 1998 г. ТГУ указом президента РФ включен в Государственный свод особо ценных объектов культурного наследия народов Российской Федерации.

✓ В университете обучаются 23 тыс. студентов по 120 направлениям и специальностям, 700 аспирантов по 86 специальностям, 100 докторантов по 37 специальностям. В структуре университета 23 факультета, пять филиалов и 47 центров довузовской подготовки в городах Сибири и Казахстана.

✓ Занимает третье место среди российских вузов в мировом рейтинге *Webometrics* после МГУ и СПбГУ и шестое место в мировом рейтинге *THE* среди российских участников ТОП-500.

Университет как команда

— **Как вам кажется, похожа ваша история с поисками нового университета на футбольный клуб, который меняет тренера почти на пике своих успехов?**

— Тренер меняется, а клуб остается и развивается. Ему уже 136 лет. К тому же предыдущий «тренер», Георгий Владимирович Майер, 18 лет проработавший ректором, избран ученым советом ТГУ президентом университета. Его опыт и знания, несомненно, будут и дальше способствовать развитию нашего вуза. И у меня еще одна аналогия, опять из конкурентной среды, но теперь из спортивной. Нам говорят сегодня: «Покупайте звезд. Вот вам деньги, берите лучших». Но со звездами нужна особая управленческая стратегия. Про эти тонкости уже написаны сотни исследований, но я приведу только один пример. Берлускони в свое время скупил для своего футбольного клуба «Милан» всех звезд. Бекхэм и прочие играли одновременно на поле. И тем не менее проигрывали многим. Потому что звезды звездами, но должны быть и те, кто делает каждодневную черновую работу. Об этом говорил еще Жорес Иванович Алферов на вручении Нобелевской премии. Должна быть команда, не важно какая — спортивная, научная или управленческая. Коллектив единомышленников. И должны быть цели, ради которых стоит жить. ■

Подготовил Михаил Петров

Macmillan

В РОССИИ:

опережая время

*Macmillan — одно из крупнейших и наиболее широко известных в мире издательств, имеющее сегодня представительства более чем в 130 странах. В 2001 г. издательство пришло в Россию и за 13 лет провело колоссальную работу. Свою миссию издательство видит в том, чтобы раздвигать границы познания, делая доступными для преподавателей, студентов и научных деятелей передовые педагогические знания и современные методики обучения английскому языку. Об истории, достижениях, инновациях и планах на будущее мы беседуем с главой представительства издательства Macmillan в России **Ольгой Генриховной Клигерман**, руководителем информационно-методического отдела **Аллой Юрьевной Солюяновой** и руководителем отдела развития **Галиной Владимировной Комаровой***



Ольга Генриховна Клигерман — глава представительства издательства Macmillan в России

В Россию с любовью

— Как Macmillan попал в Россию, когда это случилось и почему?

О.К.: Представительство издательства было открыто в Москве 1 апреля 2001 г. Наверное, эта дата определила наше дальнейшее развитие и судьбу. Когда мы начинали, нас было два человека — руководитель отдела маркетинга и методист. И еще один человек работал в Санкт-Петербурге. Сейчас мы разрослись, нас теперь много по всей России. Компания Macmillan представлена более чем 20 сотрудниками, мы работаем по всей России: наши представители есть в Новосибирске, Екатеринбурге, Самаре, Санкт-Петербурге, Москве. Кроме того, мы очень много ездим по России. Наверное, проще назвать те города, где мы не бывали с нашими семинарами и конференциями. И если представить разброс поездок, то он охватит практически всю территорию нашей страны — от Краснодара до Мурманска, от Владивостока до Калининграда. Одним словом, мы — везде, где есть преподаватели английского языка и где ведется его преподавание.

— Какую цель преследовал Macmillan, открывая представительство в России?

О.К.: Начнем с того, что Macmillan присутствует более чем в 130 странах мира, — в них открыты представительства издательства. Я думаю, Россия всегда интересовала наших партнеров из Великобритании и из других стран прежде всего уровнем интеллекта, уровнем и качеством преподавания иностранных языков. Поэтому вопрос о том, нужно ли открывать представительство в России, пожалуй, особо и не стоял.

— Наверное, правильной задать вопрос, почему это не было сделано раньше.

О.К.: Раньше это не было сделано отчасти потому, что сначала долгое время подбирали сотрудников, потом был экономический кризис, и, видимо, это было связано отчасти и с экономической ситуацией в России. Но после ее стабилизации совет директоров компании Macmillan достаточно быстро принял решение об открытии представительства на территории Российской Федерации.

— Каковы основные направления деятельности Macmillan в России?

О.К.: Наша основная задача заключается в том, чтобы знакомить преподавателей общеобразовательных учреждений, колледжей, техникумов, высших учебных заведений с теми материалами, которые мы издаем для преподавания и изучения английского языка. Как мы это делаем? Различными путями. В частности, проводим семинары, участвуем в конференциях, сами организуем различные конференции, проводим конкурсы, викторины, различные маркетинговые мероприятия, включая организацию онлайн-тестирования для учащихся школ, вузов и колледжей.

— Чем отличается издательство Macmillan от других издательств, работающих на российском рынке?

О.К.: Я думаю, если спросить у наших клиентов, у тех людей, которые посещают наши мероприятия, что они думают об издательстве Macmillan и как его видят, то первые слова, которые прозвучат о нас, будут такими: «инновационное, современное, активное издательство». И мы именно так себя и позиционируем, стараемся соответствовать всем этим требованиям. В частности, мы активно проводим мероприятия как онлайн, так и офлайн. В наших семинарах и вебинарах участвуют школьные учителя и преподаватели высших учебных заведений со всех уголков нашей страны — и из небольших населенных пунктов, и из городов-миллионников. Для многих учителей это практически единственная возможность принять участие в мероприятиях международного издательства, послушать не только российских специалистов, но и зарубежных, а также

Если спросить у наших клиентов, у тех людей, которые посещают наши мероприятия, что они думают об издательстве Macmillan и как его видят, то первые слова, которые прозвучат о нас, будут такими: «инновационное, современное, активное издательство». И мы именно так себя и позиционируем, стараемся соответствовать всем этим требованиям

носителей английского языка. В 2007 г. мы начали регулярно проводить онлайн-тестирование в формате Единого государственного экзамена по английскому языку, в котором на данный момент приняли участие десятки тысяч школьников-выпускников. Таким образом они знакомятся с форматом экзамена, с аутентичным английским языком — это как бы тренировочный экзамен для них. Мы стремимся



к постоянному развитию, наш сайт macmillan.ru — один из самых посещаемых ресурсов для преподавателей английского. Там можно почерпнуть массу полезной, интересной информации. Мы активно представлены в социальных сетях — Facebook, Twitter, YouTube, Google+, «ВКонтакте».

— Проще сказать, где вас нет.

Г.К.: Да, подумайте о чем-нибудь, назовите, и мы там есть. Поэтому мы приглашаем всех, кто любит английский язык, преподает его или изучает, подключиться к нашим интернет-площадкам, приходить на наши многочисленные мероприятия, принимать участие в конкурсах для студентов, преподавателей. Присоединяйтесь к нам,

подписывайтесь на новости, и вы будете всегда в курсе самых последних тенденций в преподавании английского языка.

Врожденная инновационность

— Вы говорили про то, что вы инновационное издательство. В чем именно заключаются инновации? Что вы изобрели такого, чего не было раньше или чего нет у других?

Г.К.: В этой области нам есть чем гордиться. Можно достаточно долго рассказывать, но первое, что приходит на ум, это наши цифровые ресурсы. Мы начали представлять на международном рынке наши цифровые образовательные ресурсы для

Инновационность начинается с нашей истории. Издательство было основано еще в 1843 г., и мы были первыми, кто напечатал «Алису в Стране чудес» Льюиса Кэрролла, а также Томаса Харди — тогда еще абсолютно неизвестных писателей. Издательство Macmillan, работая на образовательных рынках многих стран, стало первым адаптировать свои учебные издания с учетом системы образования и методик преподавания иностранных языков, принятых в той или иной стране

преподавания и изучения английского языка в 2003 г. Если сейчас такими ресурсами может похвастаться практически любое издательство, то десять лет назад это была настоящая инновация — то, чем мы гордились и гордимся до сих пор, о чем рассказываем преподавателям. И я, наверное, не ошибусь, если скажу, что многие учителя и преподаватели английского языка узнали о существовании цифровых образовательных ресурсов от методистов издательства *Macmillan*. Мы были первым издательством как на российском, так и на международном рынке, которое представило цифровые образовательные ресурсы.

О.К.: Я бы сказала, что инновационность начинается с нашей истории. Издательство было основано еще в 1843 г., и мы были первыми, кто напечатал «Алису в Стране чудес» Льюиса Кэрролла, а также Томаса Харди — тогда еще абсолютно неизвестных писателей. Для этого нужно было иметь чутье и смелость, и в этом есть своя инновационность. Издательство *Macmillan*, работая на образовательных рынках многих стран, стало первым адаптировать свои учебные издания с учетом системы образования и методик преподавания иностранных языков, принятых в той или иной стране. В частности, если говорить об инновационной деятельности нашего представительства в России, мы первыми из западных издательств создали и опубликовали в 2006 г. (всего через пять лет после основания нашего представительства) серию учебных пособий по подготовке к ЕГЭ по английскому языку *Macmillan Exam Skills for Russia*, тираж которой на сегодня превышает 200 тыс. экземпляров. Мы очень гордимся тем, что были первыми из западных издательств, кто решился

Macmillan English Language Testing System

MELTS — это система онлайн-тестирования, которая позволяет осуществлять мониторинг уровня обученности английскому языку учащихся 5–6-х, 7–8-х, 9-х, 10–11-х классов и студентов вузов. Учащиеся выполняют задание в режиме онлайн. Преподаватель получает детальный отчет о результатах тестирования в электронном виде.

MELTS проводится три раза в год для школ (в сентябре, декабре и апреле) и два раза в год для вузов (в декабре и мае).



на такой опыт в России. И продолжая нашу традицию открытия новых имен, мы представили нового автора: это Елена Клековкина, преподаватель из Самары и соавтор этой серии. И я думаю, что мы в какой-то мере открыли имя Марии Валерьевны Вербицкой, которая известна как профессор Московского государственного университета и председатель экзаменационной комиссии и, может быть, в меньшей степени как автор учебников: мы предложили ей стать соавтором и консультантом новых изданий серии *Macmillan Exam Skills for Russia*.

— Вы главным образом говорите о преподавателях вузов. Но у вас достаточно много литературы для детей — книг, пособий. Что вы можете рассказать об этом направлении?

А.С.: Структура издательства *Macmillan* представляет собой достаточно сложную систему, состоящую из нескольких подразделений. Одно из них носит название *Macmillan Education*, именно это подразделение мы и представляем с 2001 г. Но по мере развития нашей деятельности в России мы все активнее представляем интересы и работу других подразделений. *Macmillan Education* — подразделение, которое занимается изданием учебных материалов, а также адаптированной художественной литературы на английском языке для детей разного возраста и взрослых. Отличительная характеристика учебных материалов для детей — ориентация на тот возраст, для которого они написаны, с учетом психологических, физиологических потребностей и интересов конкретной возрастной группы. Мы понимаем, что у родителей детей дошкольного возраста, конечно же, в первую очередь сформирован интерес к тому, чтобы их дети приобщались к языку международного общения — английскому, поэтому предлагаем широкий выбор не только обучающей, но и развивающей литературы для детей дошкольного возраста, в том числе и для детей от трех до пяти лет.

— А есть что-то вроде азбуки, букваря?

А.С.: Конечно, но это не только азбука или букварь в привычном для нас понимании. Для детей трех-пяти лет мы представляем книги, которые позволят ребенку не только познакомиться с азами языка, но и одновременно с этим развиваться: через английский познавать окружающий мир, знакомиться с нормами существования в социуме, выстраивать отношения со своими друзьями того же возраста или со взрослыми людьми, подготовиться к школе. Эта особенность — одна из отличительных характеристик наших книг для детей. Мы говорим не только об изучении предмета, но и о всестороннем развитии ребенка.

— Если говорить о школе, то это адаптировано к российским условиям? Или это некий усредненный универсальный вариант?

А.С.: Нужно сказать, что спектр книг довольно широк. Есть книги, написанные специально для российской аудитории, с учетом нашей специфики. Есть международные издания, которые могут быть использованы не только на территории России, но и, например, в Чехии, Словакии, Бразилии, Франции — там, где есть наши представительства. Еще одна из задач нашего

представительства заключается в том, чтобы из всего многообразия книг, издаваемых для международного сообщества, методисты отобрали те книги, которые лучше всего отвечают нашим потребностям и сочетаются с традициями преподавания английского языка и вообще иностранных языков.

О.К.: Если возвращаться к инновациям, они присутствуют и в области материалов для самых маленьких: у нас только что появился такой электронный компонент, как *Bebop App* — приложение для родителей. Это первый шаг в сторону привлечения родителей к изучению английского языка. Нельзя не сказать и о том, что мы были одними из первых, кто начал издавать учебники для инклюзивного образования, например *Bebop, Hot Spot*. Это учебники, которые специально написаны для смешанных групп, для детей, испытывающих различные проблемы при изучении английского языка. И, я думаю, в этом существенное отличие нашего издательства от других.

Одна из задач, стоящих перед современным российским обществом, — это вхождение в европейское образовательное пространство. И мы видим свою миссию в частности в том, чтобы содействовать этому процессу

— Какой английский превалирует в ваших пособиях — британский или американский? Ведь различия порой существенные.

А.С.: Родина *Macmillan* — Великобритания. Но у нас представлены оба варианта английского языка — британский и американский. И, конечно, на современном этапе, наверное, существует еще и третий вариант — это английский как международный язык общения, в котором размыты границы между чисто британским вариантом и чисто американским.

О.К.: Следует добавить, что у нас просто две редакции: одна готовит учебники с британским английским, а другая — с американским. Причем есть издательское подразделение в Майами, которое занимается созданием учебников специально для учащихся, использующих американский вариант английского языка. И здесь, наверное, нужно отметить общую тенденцию, которой мы следуем, принимая во внимание именно глобальное смешение различных вариантов языка и в итоге появление того, что мы сейчас называем *International English* (международный английский).

Миссия выполнима

— Если коротко обозначить миссию *Macmillan* в России, какие основные черты вы бы выделили на сегодня?

О.К.: Основная черта, наверное, просветительская: прежде всего знакомство с новейшими достижениями



Алла Юрьевна Солюянова — руководитель информационно-методического отдела



Галина Владимировна Комарова — руководитель отдела развития

в области методики преподавания английского языка, в том числе делового английского, развитие различных не только языковых, но и социальных компетенций, без которых невозможно существование в современном мире и знакомство с культурой страны, которую мы представляем.

А.С.: Одна из задач, стоящих перед современным российским обществом, — это вхождение в европейское образовательное пространство. И мы видим свою миссию в частности в том, чтобы содействовать этому процессу, знакомя с международными стандартами образования, помогая сформировать те умения и навыки, которые востребованы международным сообществом. С этой миссией связан один из наших новых проектов для высшей школы, осуществляемый в сотрудничестве с одним из подразделений издательства — *Palgrave Macmillan*, которое выпускает академическую литературу и учебные издания по разным дисциплинам для вузов. И здесь мы отходим от такой привычной для издательства *Macmillan* темы изучения английского языка и говорим о возможности изучать предметные области посредством английского языка. Сейчас в вузах наблюдается тенденция внедрения обучения на английском языке, например в магистратуре и на этапе аспирантуры обучение уже ведется на английском. Это один из шагов к нашей интеграции в международное образовательное пространство, потому что мы хотим, чтобы в наши вузы приезжали зарубежные студенты, чтобы им было комфортно учиться

у нас. И, естественно, образование идет на международном английском. Перед нашими предметниками — и не только преподавателями английского языка — стоит вопрос, как весь процесс должен быть организован. Наше подразделение *Palgrave Macmillan* осуществляет в этом направлении громадную работу, предоставляя не только материалы, но и возможности знакомства с международными стандартами публикации научных статей, создания лекций на английском языке, участия в международных научных конференциях.

Еще один проект — *Nature*, участие в котором дает российским преподавателям возможность пройти обучение у международных специалистов по нормам и требованиям к описанию и созданию научных работ. Работа в этом направлении также способствует нашей интеграции в международное образовательное пространство.

— Если взять ваш опыт работы в России, было ли что-то в нем, что можно было бы перенять и использовать для дальнейшей работы? Как сотрудничество с Россией обогатило опыт *Macmillan*? Может быть, с подачи российской стороны появились какие-то новые методики, которые можно было бы взять на вооружение и внедрить в других странах?

О.К.: Работая и общаясь с преподавателями английского языка, делясь с ними своими наработками, мы, без сомнения, обогащаемся знаниями, которые получаем не только из наших источников, но и в результате общения с российскими преподавателями. Россия

всегда считалась страной с очень высоким качеством и уровнем преподавания английского языка. Посещая уроки английского языка в школах, в вузах, наши специалисты наблюдают, анализируют наиболее эффективные способы преподавания английского языка и приходят к выводу о том, что некоторые из приемов могут успешно работать и в других странах. В частности, как ни парадоксально это может показаться, такой очень старый прием, как диктант, стал применяться и в наших методиках, в современных учебниках, хотя в свое время казалось, что это устаревший способ проверки. Он немного трансформировался, но как явление остался. Или текст. Наши преподаватели всегда критиковали любой западный учебник за отсутствие большого количества объемных текстов. И это можно понять, потому что наличие текста в какой-то мере компенсирует отсутствие языковой среды. Анализируя причину такой любви российских преподавателей к текстовому материалу, наши специалисты пришли к выводу о том, что есть очень серьезные основания для использования в наших учебниках текстового материала, причем различного характера — не только научно-популярного, но и художественного. И если вы посмотрите последние учебники, которые были изданы в позапрошлом, прошлом и в этом году, они уже содержат отрывки из художественной литературы — то, что раньше было нетипично для западных издательств и в частности для нашего издательства. Хотя художественную литературу мы издавали всегда. Но использование именно художественного текста как основы представления языкового материала — это если не прямое заимствование, то совершенно точно обогащение опыта и использование тех наработок, которые характерны для российской школы преподавания английского языка.

— В чем для Macmillan интерес продолжать работу в России? Если вас спросят: «Вы работаете в России? Зачем? Что вы там забыли?» — что вы ответите?

О.К.: Люди, которые однажды приехали в Россию, будут возвращаться сюда. И вряд ли они когда-нибудь забудут Россию, ее культуру, радушие, широту в прямом и переносном смысле.

— А с профессиональной точки зрения?

— С профессиональной точки зрения здесь очень интересно работать, прежде всего потому, что уровень преподавания английского языка в России несравненно выше по сравнению с другими странами, будь то страны бывшего Советского Союза или любые западные страны. При этом преподаватели абсолютно преданы своей профессии. И с ними интересно работать, интересно созидать и создавать такие материалы, которые бы в полной мере отвечали запросам и потребностям российских преподавателей и учащихся.

Время, в которое мы живем, — это эпоха стремительного развития технологий, которые используются в образовании. И мы присоединяемся к этому глобальному процессу. Издательство Macmillan как инновационное просто не может существовать в других условиях. Это стремительное развитие окружающей среды провоцирует и нас на такое же быстрое профессиональное развитие. Это всегда дополнительный и очень большой интерес. Можно сказать, что мы не просто идем в ногу со временем, иногда мы и опережаем время

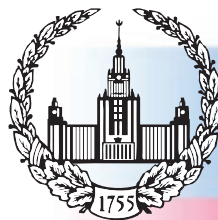
Г.К.: Важно добавить, что подавляющее большинство наших сотрудников — люди с высшим педагогическим образованием. И когда мы говорим про преподавателей, мы говорим не «они», а «мы», потому что практически у каждого из нас есть опыт работы в учебных учреждениях, у нас есть учителя высшей категории. Среди наших коллег много бывших завучей по иностранным языкам. Мы работаем в своей среде, и это большое счастье, мы продолжаем работать в своем поле, мы рады нести новые идеи в образовательные учреждения, а в обмен получаем опыт и интересную информацию, необходимые для нашего дальнейшего развития. Это очень важно.

А.С.: Время, в которое мы живем, — это эпоха стремительного развития технологий, которые используются в образовании. И мы присоединяемся к этому глобальному процессу. Издательство Macmillan как инновационное просто не может существовать в других условиях. Это стремительное развитие окружающей среды провоцирует и нас на такое же быстрое профессиональное развитие. Это всегда дополнительный и очень большой интерес. Можно сказать, что мы не просто идем в ногу со временем, иногда мы и опережаем время. ■

Подготовил Виктор Фридман



Горы Приэльбрусья



ВМЕСТЕ ТВОРИТЬ НАУКУ



3 июня в президиуме Российской академии наук состоялось подписание трехстороннего договора о сотрудничестве в сфере науки и образования между РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова и Кабардино-Балкарской Республикой. Свои подписи поставили президент РАН Владимир Евгеньевич Фортков, ректор Московского государственного университета Виктор Антонович Садовничий и временно исполняющий обязанности главы КБР Юрий Александрович Коков. Договор предусматривает различные программы обмена, обучения, подготовки и переподготовки кадров, организацию семинаров, конференций, внедрение современных методов преподавания, а также сотрудничество в сферах нанофизики, нанохимии, различных областях энергетики и других направлениях. Наш корреспондент побывал в Кабардино-Балкарии, взял интервью у Юрия Александровича Кокова, посетил Кабардино-Балкарский государственный университет, а также уникальный научный центр — Баксанскую нейтринную обсерваторию Института ядерных исследований РАН



«Конечная цель образования и науки — развитие экономики в интересах людей»

— Как вы оцениваете научный и образовательный потенциал Кабардино-Балкарской Республики? Какие задачи вы считаете приоритетными?

Ю.К.: Для нас поддержка образования в республике — одна из приоритетных задач, не говоря о том, что есть прямые установки на этот курс главы нашего государства. В декабре, обращаясь с посланием к Федеральному собранию, президент России В.В. Путин сказал, что модернизация науки и образования — основа изменений в экономике и в обществе в целом. Мы этот актуальный для Кабардино-Балкарии посыл восприняли предельно серьезно. Тем более что в КБР есть проблемы, как, наверное, и в других регионах. Это кадры, образование, подготовка преподавателей, обучение студентов. Развиваться необходимо.

Подписание 3 июня 2014 г. трехстороннего договора между Кабардино-Балкарией, Российской академией наук и МГУ им. М.В. Ломоносова открывает республике возможность использовать интеллектуальный потенциал РАН и высшей школы, чтобы дать импульс развитию социально-экономического и научно-технического направлений.

Мы гордимся нашим университетом — КБГУ им. Х.М. Бербекова, это базовый университет в регионе, один из ведущих, если брать общероссийскую образовательную инфраструктуру.

Кроме этого, у нас есть Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук, в состав которого входит, например, единственная в своем роде Баксанская нейтринная обсерватория. Есть Высокогорный геофизический институт Росгидромета, другие научные и образовательные учреждения. Хорошо, если между ними будет тесное и надежное взаимодействие. Сегодня мы пытаемся объединить их усилия.

— Для каких целей?

Ю.К.: Если наука и образование не имеют конкретного практического преломления, коэффициента полезного действия, это не имеет смысла. Конечно, нам нужны результаты. Прежде всего, это рост производства, уровня жизни людей. Конечная цель образования и науки — развитие экономики в интересах людей.

Здесь есть много нюансов организационного и финансового порядка, которые позволили бы сконцентрировать внимание на наиболее приоритетных направлениях науки.

— Сегодня одна из актуальных тем — взаимодействие науки и общества. Какова роль науки в республике, в современном обществе?

Ю.К.: Когда между образованием, наукой и обществом образуется вакуум мысли, появляются иные ценности и ориентиры. И здесь мы вправе рассчитывать больше и на науку, и на обучение, и на образовательный процесс в целом. Нужно просвещать молодежь так, как это должно быть в цивилизованном обществе.

Но я считаю, что все начинается с семьи. Именно в семье у человека должно возникать понимание того, что хорошо, а что плохо. Если этого не происходит, это наш брак — брак власти, семьи, образования. Такого брака должно быть меньше.

Мне кажется, что пока не полностью востребован потенциал, который нам предоставляет наука. Подписав договор с РАН и МГУ, республика сможет напрямую апеллировать к академии наук, к Московскому университету — ведущим научным мировым центрам. Это очень важно для развития республики по всем направлениям.

**«Наши студенты вырастают в лабораториях»
— У каждого университета своя концепция развития. Какова она у Кабардино-Балкарского университета?**

Б.К.: Для нас самое главное — кадровая политика. Если нет научных кадров, которые могут успешно вести исследования, создавать новые научные направления, реализовать на высоком уровне выработанную руководством университета политику, этот вуз становится бесполезным. Не всегда такие люди есть. Значит, нужно приглашать специалистов, создавая под них новые кафедры, направления. Наш университет пошел по такому пути. Например, мы пригласили одного из лучших специалистов по распараллеливанию задач для расчетов на суперкомпьютере, создали соответствующую кафедру, материальную базу для высокопроизводительных вычислений. И теперь мы единственный вуз на Северном Кавказе, у которого есть кластер высокопроизводительных вычислений. Эта кафедра практически полностью состоит из приглашенных научных и преподавательских кадров. То же самое мы сделали по режиссуре кино и телевидения, социологии, конфликтологии, биологии.

Важно, что эти люди не просто делятся знаниями, они генерируют новые идеи, не характерные для этой среды, и реализуют их. Одновременно они готовят местных специалистов. Например, режиссуру у нас ведет знаменитый мастер Александр Сокуров. Его студентов уже приглашают на престижные кинофестивали, в том



Временно исполняющий обязанности главы Кабардино-Балкарской Республики Ю.А. Коков

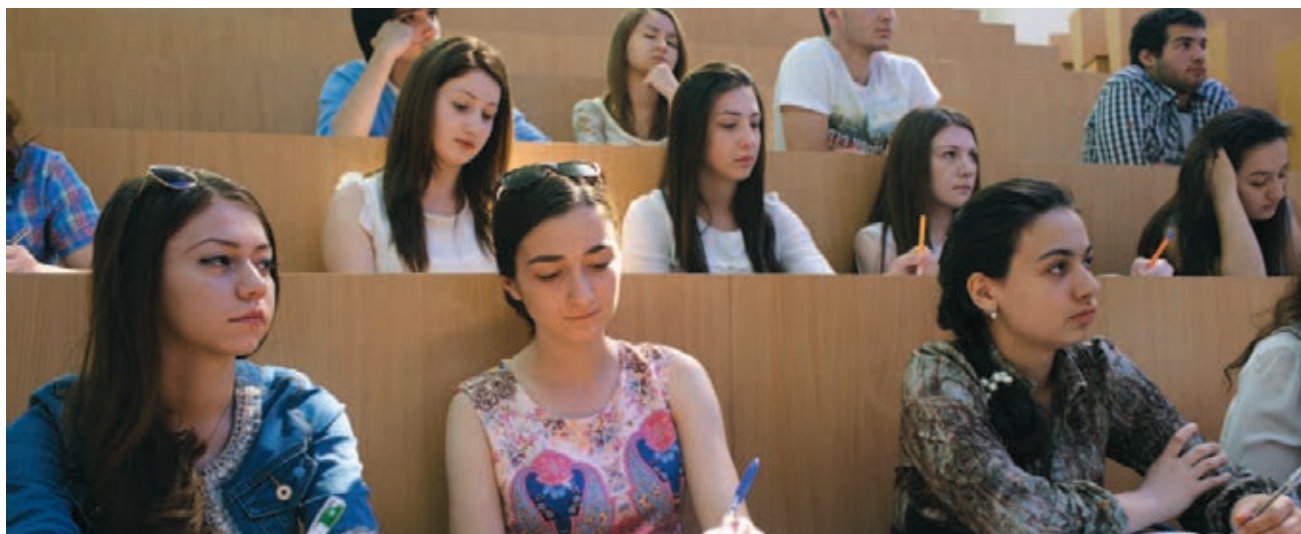


Ю.А. Коков, ректор МГУ В.А. Садовничий и президент РАН В.Е. Фортвов подписали договор о сотрудничестве



Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова образован в 1957 г. в Нальчике на базе педагогического института, открытого в 1932 г. В 1996 г. КБГУ присвоено имя первого ректора — Х.М. Бербекова. КБГУ — один из ведущих научных, образовательных, информационных, социокультурных вузов Северного Кавказа. Ежегодно выпускает до 2 тыс. специалистов, по степени оснащенности занимает передовые позиции среди других классических вузов России. Занятия со студентами проводят высококвалифицированные преподаватели, в числе которых свыше 184 докторов и 625 кандидатов наук. Ректор КБГУ — профессор Барсби Сулейманович Карамурзов.

В системе КБГУ есть лицей для одаренных детей, шесть колледжей. В самом КБГУ эту систему продолжают 12 факультетов с 30 специальностями, два института, магистратура, ординатура, интернатура и докторантура, институт повышения квалификации учителей и т.д. Такая система интеграции университета со средними профессиональными учебными заведениями обеспечивает многоступенчатость и непрерывность образовательного процесса.





числе международные, они получают призы. Один из них уже добился финансирования для создания своего полнометражного фильма в качестве режиссера. Это беспрецедентный случай для России, а для Северного Кавказа тем более.

Или, например, биологический факультет. Там очень мощная учебно-материальная база, ведутся исследования на уровне генома. Сейчас один из зарубежных фондов финансирует работу по изучению генома кабардинской породы лошадей.

— Обращает на себя внимание многопрофильность вашего университета. Как совмещаются такие разные предметы, как астрофизика и кино?

Б.К.: Наш университет — особое явление, во всяком случае для Северного Кавказа и для всего юга России. Мы целенаправленно сохраняли многопрофильность и расширяли ее. Классический университет и должен быть таким. Ведь высшее образование сегодня быстро меняется, оно уже стало массовым. А при массовости образования теряется его элитарность. Элитное образование можно получить только в классических университетах. Другое дело, что оно будет представлять собой тонкий слой на массе прочего высшего образования, которое будет работать на формирование высококлассных специалистов, но достаточно узкого профиля.





Ректор Кабардино-Балкарского государственного университета
Б.С. Карамурзов

Университет сегодня не нацелен на обучение студентов, известных нам по собственной юности, по книгам и фильмам, которые вырастают затем кто в инженера, кто в ученого. КГБУ перешел к подготовке людей, наученных прежде всего создавать нечто новое в своей области на основе навыка получать, суммировать и обрабатывать информацию.

Мы все равно, хотим того или нет, идем к разделению высшего образования на элитное, широкопрофильное и специальное, профессионально узкое. Объем знаний сегодня удваивается каждые семь лет. Поток же

Кабардино-Балкарский научный центр РАН был организован в 1993 г. по инициативе доктора технических наук, профессора П.М. Иванова, в то время председателя Комитета по науке и образованию Верховного совета КБР, ставшего первым председателем центра и возглавляющего его в настоящее время. Сегодня КБНЦ РАН представляет собой современный научный комплекс — как по своему научному направлению, так и по своему составу. Он располагает уникальными научными объектами мирового уровня, а также институтами, ведущими нанотехнологические и робототехнические разработки, которые доведены до этапов коммерциализации. КБНЦ РАН охватывает широкий спектр направлений научных исследований: астрофизику, ядерную физику, астрономию, математику, информатику, кибернетику, науку о Земле, географию, экологию, экономику.

информации через несколько лет будет удваиваться каждые 73 дня. В этой ситуации тот, кто быстрее получит и освоит новую информацию, новые знания, сумеет разобраться в них, и будет лучшим специалистом. Это означает, что нынешняя классическая форма образования в большинстве вузов, прежде всего специализированных, будет отмирать. Конечно, необходимый фундамент все равно будет существовать, но основным критерием ценности образования станет умение каждый день и каждый час находить информацию и ее использовать.

Основной задачей классического университетского образования станет выработка в человеке способности генерировать знания. Это будет его основная функция. А для этого нужна многопрофильность, широта подготовки, вплоть до искусствоведения для физика и культурологии для биолога. Я вообще убежден, что хороший ученый не может не быть философом...

— То есть задача таких университетов — воспитывать не столько специалистов, но прежде всего творцов?

Б.К.: Абсолютно правильно, творить творцов. Но те, кто готовит себя в творцы, едва ли не с самого начала обучения участвуют в полноценной научной работе, в настоящих фундаментальных и прикладных исследованиях. У нас такой закон: наши студенты вырастают в лабораториях.

Нейтринная обсерватория: польза для хозяйства и для науки

Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН расположена в Приэльбрусье, в толще горы Андырчи. Исследовать слабые взаимодействия с помощью нейтрино космических лучей предложил еще в 1960-е гг. академик М.А. Марков. В июне 1963 г. было принято соответствующее постановление президиума Академии наук СССР, а в 1967 г. началось строительство. Были построены два тоннеля длиной 3670 м, в которых разместили физические установки. Со временем появились новые сооружения, и в итоге возник комплекс уникальных научных сооружений, отвечающий самым современным требованиям.

Сотрудники обсерватории удивляются вопросам журналистов о том, какая польза народному хозяйству от их исследований. Заведующий обсерваторией доктор физико-математических наук Валерий Васильевич Кузьминов говорит:

— Знания самодостаточны, самоценны сами по себе. Вы не знаете, в какой момент они вам понадобятся. Что касается нейтрино, у нас есть установка, которая следит

Расположение обсерватории под толщей горы Андырчи Мусаби Болиев объясняет тем, что внимания больше всего достойны те фиксируемые датчиками взаимодействия, которые вызываются частицами, прошедшими через «тело» нашей планеты. Так больше шансов выделить нейтринные взаимодействия из фона, который дают космические лучи

за работой Солнца. Что может быть важнее этого для самого существования человечества? То, что мы сейчас видим на Солнце, — это энергия, которая выделилась внутри него десятки тысяч лет назад. А наша установка показывает, что в его недрах происходило десять минут назад. Если мы увидим на Солнце нечто угрожающее, есть запас времени в 10 тыс. лет, чтобы подготовиться к худшему сценарию.

Ведущий научный сотрудник обсерватории Мусаби Мухарбиевич Болиев добавляет:

— Прямой пользы от наших исследований, может быть, сразу не видно, но оборудование, которым мы пользуемся, когда-то создавалось руками сотрудников Института ядерных исследований РАН. Это приборы для измерения очень коротких промежутков времени



Сцинтилляционные счетчики, регистрирующие нейтрино в Баксанской нейтринной обсерватории



Специальные средства безопасности сотрудников Баксанской нейтринной обсерватории



Ведущий научный сотрудник Баксанской нейтринной обсерватории М.М. Болиев



*Доцент кафедры теоретической физики КБГУ,
к.ф.-м.н. З.А. Коков*

и очень слабых сигналов. Сегодня они производятся промышленно, их можно купить. И это оборудование используется в бытовой технике — телевизионной и телефонной, в радиотехнике. Возможно, в этом и есть польза для народного хозяйства: приборы создаются для научных исследований, а затем постепенно переходят в быт.

Расположение обсерватории под толщей горы Андырчи Мусаби Болиев объясняет тем, что внимания больше всего достойны те фиксируемые датчиками взаимодействия, которые вызываются частицами, прошедшими через «тело» нашей планеты. Так больше шансов выделить нейтринные взаимодействия из фона, который дают космические лучи: на поверхности большое количество частиц, а через Землю ни одна заряженная частица не пройдет. А ведь нейтрино с его крайне малым

Благодаря многолетней работе ученых Баксанской обсерватории удалось измерить скорость протон-протонной реакции термоядерного синтеза в Солнце, в которой генерируется подавляющая часть солнечной энергии. Это единственный в мире нейтринный телескоп, позволяющий делать такое. Кроме того, получены очень важные данные о свойствах нейтрино, в том числе об их осцилляциях, переходах из одной формы в другую



*Проректор по инновационной деятельности,
директор бизнес-инкубатора КБГУ Ю.А. Малкандуев*

весом только так и можно зафиксировать — по взаимодействию. «Недалеко от детекторов нейтрино провзаимодействовало, погибло и породило заряженные частицы — мю-мезон, электрон или тау-лептон», — объяснил ученый.

Сама обсерватория представляет собой параллелепипед высотой 17 м и 30 м по сторонам, собранный из контейнеров, наполненных сцинтиллятором — веществом, обладающим способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения, в данном случае при прохождении заряженных частиц — мюонов, которые появляются в результате взаимодействия нейтрино с другой частицей. Свет попадает на фотоумножитель, а дальше появляется электрический сигнал, который поступает в компьютер. «Фактически мы видим



Минералы Тырныузского месторождения



*Заведующий Баксанской нейтринной обсерваторией
В.В. Кузьминов*

электрический сигнал», — говорит Мусаби Болиев. Видеть его удастся нечасто — в среднем одно «событие» в неделю. Правда, по словам ученого, подчас «событие» не происходит и дольше, а иногда — два или три в сутки. Это уже сенсация. На памяти Болиева (а он здесь работает с конца 1970-х гг.) такое случилось лишь один раз.

Тем не менее благодаря такому устройству можно взглянуть в происходящие во Вселенной события. Кроме того, за десятилетия наблюдений Баксанской обсерватории удалось внести важный вклад в громкие открытия.

— Благодаря изучению нейтрино удалось значительно уточнить теорию взаимодействий, — отметил Мусаби Болиев. — Получены доказательства ее правильности. Это дало нам относительно надежные представления

о том, какова структура звезд. Это дало нам также значительные знания о физике вообще. Кроме того, наши результаты опровергли множество неудачных положений и теоретических направлений.

Установка дает возможность исследовать внутреннее строение и эволюцию Солнца, звезд, ядра Галактики и других объектов Вселенной по их нейтринному и гамма-излучению. Кроме того, она позволяет вести поиск новых частиц и сверхредких процессов, предсказываемых современными теориями элементарных частиц, на недоступном другим методам уровне чувствительности, а также исследовать взаимодействия нейтрино и мюонов с веществом в областях высоких и сверхвысоких энергий, лежащих за пределами возможностей ускорительной техники.

Благодаря многолетней работе ученых Баксанской обсерватории удалось измерить скорость протон-протонной реакции термоядерного синтеза в Солнце, в которой генерируется подавляющая часть солнечной энергии. Это, кстати, единственный в мире нейтринный телескоп, позволяющий делать такое. Кроме того, получены очень важные данные о свойствах нейтрино, в том числе об их осцилляциях, переходах из одной формы в другую. Это перспективно ввиду дальнейшего углубления в понимание природы вещества, т.к. данное явление пока не вписывается в известную стандартную модель. Не нужно путать со стандартной солнечной моделью, которой ряд здешних наблюдений также противоречит. В частности, возникает предположение об изменении скорости термоядерных процессов в Солнце. Об этом говорил профессор В.В. Кузьминов.

Вот так обнаруживается главная польза от такой «беспольной» для народного хозяйства частицы, как нейтрино. Она не в экономике, а в правильности нашего взгляда на мир и на Вселенную. ■

Подготовил Александр Цыганов



*Полимерный нанокomпозиционный материал,
разработанный учеными КБГУ*



*Установка для имплантации ионов,
созданная учеными КБГУ*

Джед Волчок

Щит на пути рака

Убирая барьеры, которые используют раковые клетки, чтобы ускользнуть от иммунного ответа, исследователи пытаются найти новые, более мощные способы сдерживания опухолевого роста





ОБ АВТОРЕ

Джед Волчок (Jedd D. Wolchok) заведует отделением иммунотерапии в Мемориальном онкологическом центре Слоуна и Кеттеринга в Нью-Йорке, научный консультант фармацевтических компаний Bristol-Myers Squibb, Merck, MedImmune и EMD Serono (однако финансово никаким образом не заинтересован в продвижении на рынок препаратов, упомянутых в этой статье).



В июне 2004 г. меня попросили проконсультировать 24-летнюю девушку, которая только что окончила колледж и собиралась выходить замуж. Несколько последних месяцев Ширли мучил непрекращающийся кашель. В конце концов ей была сделана компьютерная томография, выявившая множество каких-то образований в легких. Дальнейшие обследования показали, что у девушки меланома, а образования — это метастазы. Ширли немедленно начали вводить противоопухолевые препараты. В перерыве между курсами все-таки состоялась свадьба.

К сожалению, два раунда тяжелейшего лечения и лучевая терапия, растянувшиеся на два года, замедлили, но не остановили распространение метастазов. Положение было безвыходным. Я рассказал девушке о только что начавшемся тестировании совершенно другого метода борьбы с раком, основанного на стимулировании иммунной системы больного.

Тестирование имело рандомизированный характер — это означало, что не каждый испытуемый получал новый препарат, известный в то время как MDX-010, но Ширли согласилась участвовать. По ходу четырех курсов терапии несколько раз было проведено КТ-сканирование; последнее из них не обнаружило никаких следов меланомы. Наступила полная ремиссия. Сегодня Ширли совершенно здорова, у нее двое прелестных детишек и, по ее словам, она «забыла о прошлом».

Что касается меня, практикующего врача-онколога и исследователя, чудесное исцеление Ширли означало осуществление давней мечты ученых о создании эффективного противоракового средства, направляющего всю мощь иммунной системы больного на остановку патологического процесса. Оптимизма у медицинского

сообщества прибавилось после того, как в прошлом году аналогичным образом были излечены пациенты, страдающие лейкозом, раком почек и легких. Конечно, иммунотерапия — не панацея, но с ее помощью уже достигнуты значительно большие успехи в борьбе с онкологическими заболеваниями на поздних стадиях, чем за несколько последних десятилетий.

Многоуровневая защита

То, что иммунная система способна влиять на канцерогенез, — отнюдь не новость. Первые попытки мобилизации защитных сил организма на борьбу с раком были предприняты более 100 лет назад. Тогда Уильям Коули (William Coley), хирург Нью-Йоркской онкологической больницы (сегодня Мемориальный онкологический центр Слоуна и Кеттеринга), использовал для своих целей инактивированные бактерии. Заметив, что некоторые онкологические больные живут дольше, если после операции они перенесли какую-нибудь неопасную инфекцию, Коули высказал предположение, что защитные системы организма, мобилизованные на уничтожение патогена, попутно атакуют и опухоль.

В течение последующих десятилетий ученые многое узнали о клетках, обеспечивающих работу защитной системы, а также о ее химических посредниках и молекулярных переключателях. Они выяснили, каким образом осуществляется быстрая иммобилизация иммунной системы, позволяющая обнаружить потенциально опасный микроорганизм. Что не менее важно — удалось разобраться в работе системы сдержек и противовесов, которая дает указания иммунной системе, когда ей следует ограничить свой ответ, чтобы не началась аутоиммунная реакция. В двух словах — стало ясно, как иммунная система реагирует на раковые клетки и как опухоль, в свою очередь, влияет на ее работу.

Первый защитный барьер на пути распространения попавших в организм патогенов — бактерий и вирусов — создают лейкоциты: нейтрофилы и моноциты. Они представляют собой компоненты системы врожденного иммунитета и нацелены на распознавание определенных структур вирусных частиц и бактериальных клеток — обычно поверхностных белков. Лейкоциты не видоспецифичны, они разрушают любой микроорганизм, а фрагменты последних — антигены — служат мишенью для других элементов иммунной системы.

Клетки, составляющие второй защитный барьер, относятся к системе приобретенного (адаптивного) иммунитета. Антигены служат для них отправной точкой для запуска гораздо более целенаправленного ответа, при этом система «запоминает» агрессоров и при встрече

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Традиционная противораковая терапия направлена непосредственно на уничтожение раковых клеток, а иммунотерапия мобилизует на борьбу с раком внутренние резервы организма.
- Сегодня большинство иммунотерапевтических методов действуют по тому же принципу, что и водитель автомобиля, когда, желая повысить скорость, он жмет на газ.
- Один из новых подходов в иммунологии основан на устранении барьеров, которые в норме контролируют иммунную реакцию.
- Результаты нескольких клинических испытаний показали, что метод прекрасно работает при таких онкологических заболеваниях, как метастазирующая меланома, рак почек на поздних стадиях и рак легких.

Иммунотерапия

ЗАЛП ИЗ ДВУХ ОРУДИЙ

Исследуя, как иммунная система пытается — далеко не всегда успешно — противостоять раку (серый цвет), иммунологи пришли к разработке двух новых подходов (синий цвет) к ее стимулированию.

Почему иммунная система не справляется

Казалось бы, иммунная система должна побеждать рак без посторонней помощи, но контрольные механизмы самого организма не позволяют иммунному ответу превышать определенный порог. Кроме того, некоторые виды опухолей активно вмешиваются в формирование иммунной реакции. Приведенная схема иллюстрирует, как элементы иммунной системы распознают опухолевые клетки 1, при каких условиях возникает ответная реакция 2, а при каких нет 3, каким образом опухоль инициирует саморазрушение T-клеток.

Предотвращение суицида

Блокирование белка PD-1, расположенного на поверхности T-клетки, не позволяет опухоли инициировать процесс ее саморазрушения

Блокирующее антитело

3 Обычно активированная T-клетка нацеливается на раковую клетку с тем, чтобы ее уничтожить. Но если опухоль продуцирует белок, который связывается с молекулой PD-1 на поверхности T-клетки, то последняя саморазрушается.

Созревание

Деление

Снятие барьеров

Блокирование белка CTLA-4 позволяет T-клетке делиться. После созревания T-клетки атакуют любую клетку, несущую фрагмент опухоли.

Блокирующее антитело

1 Дендритная клетка распознает специфические молекулы на поверхности опухоли.

Опухоль

Запуск саморазрушения T-клетки

Дендритная клетка

«Акселератор»

Незрелая T-клетка

CTLA-4

«Тормоз»

2 Дендритная клетка предъявляет фрагмент молекулы опухолевой клетки незрелой T-клетке. Если одновременно с этим активируется некий белок, то T-клетка созревает и начинает делиться. Однако здесь в дело вступает блокирующий белок CTLA-4, и иммунная реакция прерывается.

CTLA-4

с ними в будущем быстро их уничтожает. За адаптивный иммунитет отвечают два типа клеток — *T* и *B*. *T*-клетки представлены множеством разновидностей, но их источником служит один небольшой орган — тимус (вилочковая железа), расположенный в грудной клетке чуть выше сердца. *B*-клетки вырабатываются костным мозгом и производят антитела. Последние вместе с определенными молекулами на поверхности *T*-клеток связываются со специфическими антителами и стимулируют иммунную систему к уничтожению бактерий и инфицированных ими клеток организма, которые размещают антигены на своей поверхности.

При нормально функционирующей иммунной системе врожденный и приобретенный иммунитет, действуя совместно, опознают опасный патоген и освобождают от него организм. Кроме того, *T*-клетки определенного типа отвечают за формирование долговременной молекулярной памяти на виновника инфекции и при повторном вторжении нейтрализуют его быстрее, чем при первой встрече.

Рак — это, конечно, не инфекция. Он возникает, когда в клетках самого организма происходят определенные генетические или другие нарушения. Но иммунная система способна распознавать раковые клетки, поскольку на их поверхности находятся маркеры — фрагменты аномальных молекул, на которые реагируют *T*- и *B*-клетки. Однако по разным причинам иммунная система часто терпит поражение в борьбе с раком. Все попытки «подстегнуть» иммунитет не давали однозначного результата. Недавно выяснилось, в чем тут дело. Иногда раковые клетки привлекают на свою сторону важные элементы иммунной системы — молекулярные выключатели, в результате чего иммунного ответа не возникает. Есть основания полагать, что новый подход, о котором идет речь в нашей статье, позволит решить проблему.

Система сдержек и противовесов

Экспериментальные препараты, спасшие жизнь Ширли, прекрасно иллюстрируют потенциал нового подхода. Они появились благодаря исследованиям механизма действия белка под названием *CTLA-4*, который находится на поверхности *T*-клеток разного типа, но вступает в действие только после того, как последние распознают свою мишень и получают сигнал «вперед» от других молекул. После активации *CTLA-4* вместе с другими белками создают целый ряд молекулярных барьеров, своего рода контрольных пунктов, следящих за тем, чтобы иммунная система не выходила за определенные рамки.

Необходимость таких рамок иллюстрируют наблюдения за животными, у которых они отсутствуют. Генетически видоизмененные мыши, лишенные способности вырабатывать белок *CTLA-4*, умирают в возрасте трех-четырёх недель. Ничем не сдерживаемые активированные *T*-клетки проникают во все здоровые органы и ткани животных и полностью их разрушают. Данное открытие, сообщение о котором появилось в печати в 1995 г., показало, что дефицит всего одной молекулы вызывает бурную, опасную для жизни иммунную реакцию.

В том же году Джеймс Аллисон (James Allison) из Калифорнийского университета в Беркли высказал предположение, что если на какое-то время блокировать контрольные пункты, то иммунная система будет более активно уничтожать раковые клетки. Вместе с коллегами он проверил свою гипотезу в опытах на мышах, введя им синтетические антитела, которые инактивировали белки *CTLA-4*. Это привело к уменьшению размеров опухолей некоторых типов, в частности прямой кишки и саркомы, трансплантированных лабораторным животным. В другом эксперименте мышам вводили не только *CTLA-4*-блокирующие антитела, но и экспериментальную вакцину на основе модифицированных меланомных клеток, которая «нацеливала» иммунный ответ на раковые клетки. Результат был еще более впечатляющим.

Следующим шагом стало тестирование блокаторов *CTLA-4* на людях. Аллисон обратился к биотехнологической компании *Medarex*, разработавшей человеческую версию *CTLA-4*-блокирующего антитела (оригинальное название препарата — *MDX-010*, сегодня он известен как ипилимумаб), и начал клинические испытания на добровольцах с далеко зашедшим онкологическим процессом, которым уже ничто не помогало. Позже *Medarex* была куплена компанией *Bristol-Myers Squibb*, которая продолжила доработку препарата и в 2011 г. получила разрешение на его применение в клинике.

У пациентов, участвовавших в испытаниях экспериментального препарата, а затем перешедших на более эффективный его вариант, отмечалось значительное уменьшение размеров опухолей. Но прежде чем это произошло, экспериментаторам пришлось пережить немало тревожных моментов. Первые тесты на эффективность дали неоднозначные результаты. Вскоре выяснилось, что традиционные методы оценки результативности противоопухолевой терапии в случае иммунотерапии могут быть некорректными.

Как быстро наступает улучшение?

Поддается ли данный раковый больной стандартной химиотерапии, становится ясно очень скоро. Показателями служат результаты *КТ*, позитронно-эмиссионной томографии и магнитно-резонансного обследования, полученные перед самым началом лечения, в сравнении с таковыми спустя шесть недель. Если размеры опухоли заметно уменьшились, лечение продолжают.

В случае иммунотерапии так быстро принять решение не удастся. Начать с того, что иммунной системе нужно довольно большое время на активацию, поэтому обычно мы проводим второе обследование не раньше чем через 12 недель после начала лечения. Но даже и в этом случае результаты бывают обескураживающими. У некоторых пациентов опухоль уменьшалась, но было немало и таких, у кого она становилась еще больше и даже давала метастазы. Лучший результат наблюдался у пациентов с особенно крупной опухолью.

Есть два объяснения тому, почему опухоль после иммунотерапии становится больше: либо лечение неэффективно, либо огромное число *T*-клеток и других иммунных

компонентов только начинают работать, а опухоль тем временем растет. Другими словами, увеличение опухоли может означать, как ни парадоксально это звучит, что на самом деле система работает, просто нужно подождать, чтобы это проявилось визуально. Учитывая то, с какими трудностями сопряжена оценка эффективности иммунотерапии традиционными методами, сегодня используют более простой и надежный показатель — продолжительность жизни леченных пациентов.

По данным последних клинических испытаний, более чем у 20% больных с метастазирующей меланомой, прошедших лечение ипилимумабом, наблюдается длительная — более трех лет — ремиссия, а некоторые пациенты живут без рецидивов пять и более лет; пример тому — Ширли. При лечении традиционными методами ремиссия у таких больных обычно длится семь-девять месяцев.

Тем временем разворачиваются работы по исследованию потенциала другой молекулы — белка *PD-1*, которым усеяна поверхность многих *T*-клеток. Когда с белком *PD-1* связывается определенная молекула, она подает *T*-клетке сигнал к саморазрушению — обычному процессу, который, как и в случае с *CTLA-4*-белком, помогает удерживать иммунный ответ в определенных рамках. Некоторые раковые клетки выработали защитный механизм, который состоит в синтезе поверхностных белков, побуждающих *PD-1*-белки *T*-клеток незамедлительно отдавать им приказ к саморазрушению. В результате любая *T*-клетка, атакующая опухоль, сразу погибает. Это один из примеров поразительной способности опухолей нейтрализовать иммунную систему.

Сегодня сразу несколько компаний (*Bristol-Myers Squibb*, *CureTech*, *EMD Serono*, *Genentech*, *Merck* и *MedImmune*) занимаются поиском антител, которые препятствовали бы *PD-1*-опосредованному суициду *T*-клеток. Клинические испытания потенциальных блокаторов показали, что у более чем 30% больных с меланомой на поздней стадии после лечения наступает длительная ремиссия. Мои коллеги из Мемориального онкологического центра Слоуна и Кеттеринга в сотрудничестве со многими учеными из других медицинских учреждений попытались использовать блокаторы белка *PD-1* для лечения больных раком легких. Более чем у 20% испытуемых произошла заметная регрессия опухоли.

Результаты, обнародованные в 2012 г., послужили важной вехой в истории применения иммунотерапии. Никто теперь не может утверждать, что она пригодна для борьбы лишь с определенными онкологическими заболеваниями (меланомой и раком почек). Будем надеяться, что вскоре данный метод станет столь же рутинным, как химио- и лучевая терапия.

Как и всякое медикаментозное лечение, иммунотерапия сопровождается нежелательными побочными эффектами. Так, у пациентов, получавших анти-*CTLA-4*-препарат, иногда возникало воспаление кожных покровов и слизистой кишечника, связанное с тем, что иммунные клетки высвобождали слишком много раздражающих химических соединений. Сопутствующие

сыпь, болезненные судороги и диарею купировали иммуносупрессантами, например преднизолом. У тех, кто принимал блокаторы белка *PD-1*, возникали аналогичные осложнения (чаще всего они затрагивали почки, печень и легкие), но они были менее серьезными и частыми. К счастью, противовоспалительные средства, снимающие подобные симптомы, не влияют на эффективность иммунотерапии.

Воспаление опасно еще и тем, что может инициировать аутоиммунную реакцию, при которой иммунная система бесконтрольно атакует здоровые клетки. Впрочем, в отличие от настоящего аутоиммунного заболевания последствия воспаления в нашем случае преходящи и не возобновляются после того, как приняты соответствующие меры. Проведенные в 2007 г. эксперименты на лабораторных животных с раком прямой кишки или меланомой показали, что одновременное применение блокаторов *CTLA-4* и *PD-1* более результативно, чем каждого по отдельности. На этом основании мы с коллегами совместно с Марио Шнолем (Mario Sznol) из Йельского университета решили проверить безопасность ипилимумаба и *PD-1*-блокатора ниволюмаба на 53 пациентах с метастазирующей меланомой.

Результаты были впечатляющими. У 50% больных опухоль после курса лечения с применением оптимальных доз антител уменьшилась более чем в два раза — несравнимо ощутимее, чем у тех, кого лечили только одним из препаратов. Побочные эффекты, правда, возникали чаще, но их, как и прежде, подавляли с помощью кортикостероидов. Важно отметить, что эти результаты сугубо предварительные, поскольку получены в испытаниях с участием небольшого числа больных. Сейчас мы повторяем их, но теперь добровольцев уже более 900 человек.

Другие группы исследователей проверяют эффективность комбинированной иммунотерапии на больных с раком легких, почек, желудка, молочной железы, головы и шеи, поджелудочной железы. Не исключено, что результат будет еще более впечатляющим, если к тому же проводить традиционную химио- и лучевую терапию. Это вызовет настоящий «терапевтический шторм» — лавина обломков разрушенных раковых клеток спровоцирует мощную иммунную реакцию. Такая комбинация должна облегчить образование *T*-клеток памяти, которые немедленно вступят в бой, если раковый процесс возобновится. Даст ли дополнительный эффект применение других вариантов иммунотерапии, например противораковой вакцины, над созданием которой упорно работают иммунологи, — покажет будущее.

Я полагаю, что наконец-то пришло время, когда можно говорить о реальности достижения длительной ремиссии у онкологических больных и даже о полном излечении, поскольку мы имеем возможность комбинировать стандартные методы прицельной терапии с иммунотерапией, мобилизующей внутренние резервы организма. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

Роберт Анемон и Чарлз Эмерсон

Спутник
палеонтолога

Решающую роль в истории самых нашумевших палеонтологических открытий всегда играло везение; теперь компьютерные модели позволяют предсказать места новых находок, отодвигая случайности и научное чутье на второй план

Охота за окаменелостями на таких обширных территориях, как Американский континентальный водораздел (*фото*), до сих пор выглядела буквально как поиск иголки в стоге сена, но появляется новая методика, которая резко повышает шансы обнаружить ископаемые останки



ОБ АВТОРАХ

Роберт Анемон (Robert L. Anemone) — профессор и заведующий кафедрой антропологии в Университете Северной Каролины в Гринсборо. Его научные интересы связаны с эволюцией приматов и человека, а полевые исследования проходят в штатах Вайоминг и Монтана, а также в Кении и ЮАР.



Чарльз Эмерсон (Charles W. Emerson) — адъюнкт-профессор географии Западно-Мичиганского университета. Помимо работ над картами, позволяющими прогнозировать места нахождения окаменелостей, он участвует в проекте по использованию спутниковых снимков для оценки влияния экономических факторов и мероприятий по защите окружающей среды на состояние пастбищных земель в сельских районах Китая.



нойным июльским днем 2009 г. по едва угадывающейся грунтовой дороге, ведущей вдоль Американского континентального водораздела на юго-западе штата Вайоминг, двигалась колонна полноприводных внедорожных автомобилей. Это была научная экспедиция, направлявшаяся в район, известный под названием Солт-Сейдж-Дро. Здесь шли поиски бесценных для науки сокровищ — окаменелостей, датированных временем между 55 и 50 млн лет назад, т.е. самым началом эпохи эоцена, когда древним млекопитающим, жившим здесь в предшествующую палеоценовую эпоху, постепенно стали приходить на смену предки современных отрядов этого класса. Один из нас (Роберт Анемон, далее рассказ некоторое время ведется от его лица) уже имеет большой опыт (с 1994 г.) руководства полевыми исследованиями в области геологии, палеонтологии и палеоантропологии на этой территории и может подтвердить, что некоторые участки в Солт-Сейдж-Дро на протяжении многих лет неизменно приносили ученым богатый урожай находок. Но на сей раз мы никак не могли найти нужное место. Наконец я понял, что мы следуем совсем не той дорогой, по которой обычно шли. И все же вскоре выяснилось, что моя ошибка была из числа тех, которые называют счастливыми случайностями.

Когда колея начала теряться в зарослях травы и кустарника, я подал сигнал к остановке и отправился пешком на поиски дороги впереди нас. Обогнув небольшой холм, я заметил поблизости обширные отложения песчаника и едва различимую дорогу, тянущуюся как раз вдоль них. А поскольку песчаники Американского континентального водораздела, как и другие осадочные породы в Западной Америке, зачастую таят в себе

окаменелости, я решил потратить некоторое время на поиски материала прямо здесь, прежде чем продолжать путь к Солт-Сейдж-Дро. Целый час мы систематически прочесывали каменистую местность буквально на четвереньках, и тут двое работавших со мной аспирантов, Тим Хелд (Tim Held) и Джастин Гиш (Justin Gish), крикнули, что им попались две хорошо сохранившиеся челюсти, принадлежавшие млекопитающим. Я тут же

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В полевых исследованиях ученые-палеонтологи уже более века пользуются геологическими и топографическими данными для поиска останков древних животных. Однако обнаружение окаменелостей по-прежнему во многом зависит от удачи.
- Новые компьютерные модели способны выявлять на спутниковых снимках незаметные для человеческого глаза признаки различных объектов. Это позволяет создавать карты наиболее вероятных мест залегания ископаемых останков, что значительно сужает область поисков на местности.
- Полевая верификация этих прогностических карт на американском Западе показала, что они действительно повышают вероятность обнаружения палеонтологически ценных участков. Теоретически данный подход может быть использован в любой точке мира.



В 2009 г. ученые-палеонтологи совершенно случайно обнаружили настоящий археологический клад возрастом более 50 млн лет в месте, которое получило название «Жертвенник Тима» по имени его первооткрывателя. Оно расположено в штате Вайоминг на территории Американского континентального водораздела (справа). Среди находок были сотни прекрасно сохранившихся челюстей млекопитающих (вверху). С тех пор компьютерные модели шагнули далеко вперед и дали возможность исследователям сосредоточить усилия на самых перспективных территориях, в том числе на данном участке, расположенном к югу от потухшего вулкана, называемого Кабаний Клык (внизу).



здесь около 50 млн лет назад. Мы назвали это место «Жертвенник Тима», и оно по сей день остается одним из богатейших захоронений млекопитающих раннего эоцена на всем американском Западе.

Моя группа была далеко не первой из тех, кому посчастливилось найти крупные палеонтологические захоронения, — но все это получалось более или менее случайно. История палеонтологии полна рассказов о том, как сенсационные находки совершились благодаря научной интуиции их авторов. Скажем прямо: методы, используемые палеонтологами при поиске мест захоронения позвоночных животных, мало в чем изменились с первых дней становления этой научной области.

Как и первые исследователи-палеонтологи в XIX в., мы пользуемся геологическими и топографическими данными, чтобы

помчался к ним — ведь ископаемые челюсти с сохранившимися зубами имеют большую научную ценность, т.к. по ним даже в отсутствии других частей скелета можно определить таксономическое положение животного и его рацион.

То, что произошло дальше, можно назвать мечтой охотника за ископаемыми. Мои студенты буквально напали на золотую жилу. Это место оказалось не просто очередным заурядным скоплением, где вам достанется несколько челюстей или полсотни зубов, упавших из выветренного песчаника. Нет, нам посчастливилось обнаружить настоящую сокровищницу, из которой на данный момент мы извлекли около 500 хорошо сохранившихся челюстей, а также несколько тысяч зубов и других костей, принадлежавших более чем 20 различным видам древних млекопитающих, обитавших

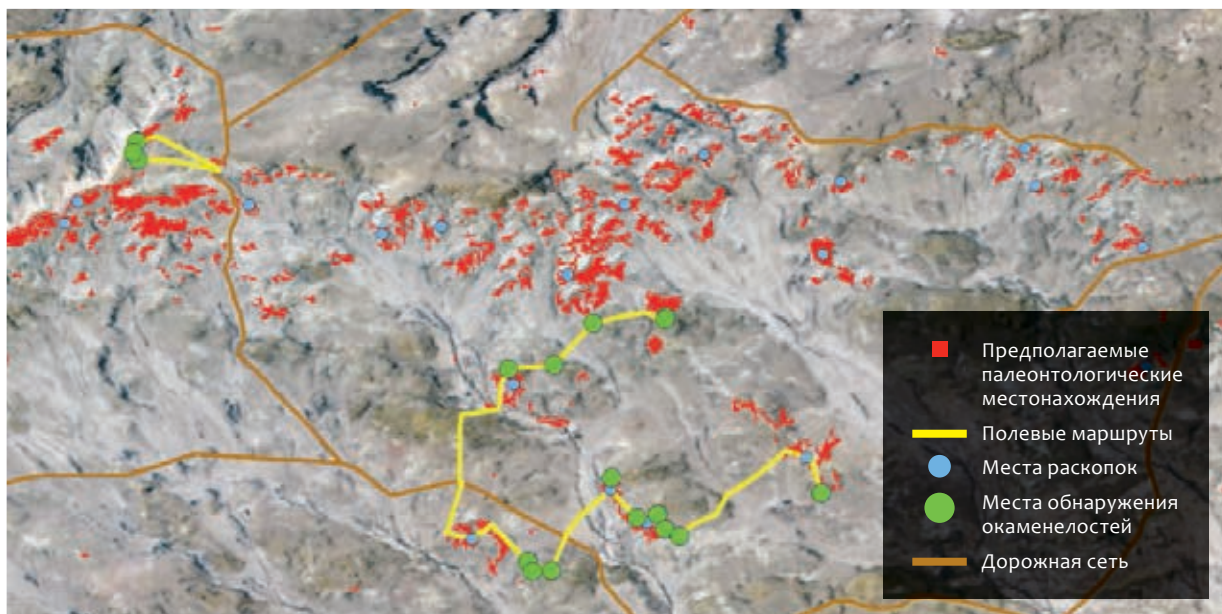
выявить наиболее вероятные места скопления окаменелостей, имеющих шансы сохраниться в древних осадочных породах. Но если не считать этого, сам результат — найдем ли мы золотую жилу или останемся нищими — почти целиком зависит от милости фортуны, и тяжкий труд по поиску окаменелостей куда чаще остается безрезультатным, чем приводит к блестящим открытиям.

Случай с находкой «Жертвенника Тима» заставил меня задуматься о том, не существует ли более действенного способа для выбора мест, на которых наши полевые группы должны сконцентрировать усилия при поиске ископаемых. Мы знали, что интересующие нас окаменелости должны находиться в пластах песчаника возрастом от 55 до 50 млн лет, и мы знали, где именно на территории континентального водораздела эти осадочные слои

КАРТА СОКРОВИЩ

С помощью компьютерных моделей можно провести анализ спутниковых снимков для тех территорий, на которых уже известны продуктивные палеонтологические участки, и определить их общие спектральные характеристики. Полученные модели затем можно применить к более обширному региону, чтобы найти другие участки с похожими характеристиками, которые и будут представлять собой вероятные места скопления интересующих палеонтологов окаменелостей. Этот

подход дал нам возможность составить прогностическую карту встреч ископаемых (красный), а также помог спланировать маршруты поисков в данном районе (желтый). Сосредоточив исследования на избранных точках (голубой), мы значительно увеличили долю успешно проведенных раскопок (зеленый) по сравнению с предыдущими экспедициями, проведенными без подобных карт.



выходят на поверхность, становясь доступными для изучения. Но хотя такая информация позволяла несколько сузить территорию поиска, нам оставались еще тысячи неисследованных квадратных километров и все шансы вернуться из экспедиций с пустыми руками.

И вот как-то ночью в нашем палаточном лагере — в одну из тех безоблачных ночей, когда на здешнем небе, не затуманенном городской пылью, мы можем видеть среди звезд яркие точки пролетающих над головой спутников, — у меня появилась идея. А что если объединить наши знания о геологии, топографии и палеонтологии континентального водораздела, территории площадью в 10 тыс кв. км., со спутниковыми снимками, чтобы, грубо говоря, составить карту наиболее вероятных мест залегания окаменелостей? Возможно, спутники способны «разглядеть» те особенности ландшафта, недоступные невооруженному глазу, которые могли бы помочь нам найти как можно больше отложений песчаника и выделить те из них, где с наибольшей вероятностью имеются палеонтологические захоронения.

Очи небесные

Другие палеонтологи, конечно, тоже обсуждали потенциальные возможности спутниковой съемки для эффективного поиска окаменелостей в полевых условиях. Как специалист по палеонтологии и эволюции приматов

и человека, я был прекрасно осведомлен об исследованиях, проведенных еще в 1990-е гг. Берханом Асфав (Berhane Asfaw) и его коллегами из Службы изучения Рифтовой долины в Африке. Они использовали спутниковые снимки для поиска на территории Эфиопии обнажений скалистых пород, в которых могли находиться ископаемые останки предков человека. Примерно в то же время Ричард Стаки (Richard Stucky) из Денверского музея науки и техники продемонстрировал возможность выявления и картирования различных скальных выходов в богатом ископаемыми бассейне реки Уинд в Центральном Вайоминге с помощью анализа спутниковых снимков. Оба проекта, основанных на тесном сотрудничестве между палеонтологами и специалистами по дистанционному зондированию из NASA, доказали принципиальную ценность подобных междисциплинарных исследований, но меня интересовало другое: как выжать максимум информации из спутниковых снимков, чтобы сделать поиски ископаемых в поле точно нацеленными.

В итоге я решил обратиться к специалисту-географу, моему соавтору по данной статье, профессору Чарльзу Эмерсону, и вдвоем мы довольно быстро разработали план предстоящих работ. Нам было необходимо получить из бесплатных источников космическую съемку интересующей нас территории. Мы решили воспользоваться снимками со спутника Landsat 7. Последний

имеет так называемый сенсор усовершенствованного тематического картографирования (*Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+*), который регистрирует испускаемое или отраженное от земной поверхности излучение в диапазоне от голубого до инфракрасного и отображает его в виде восьми дискретных спектральных каналов. Те или иные из этих каналов можно использовать, например, для выявления участков, не занятых растительностью, или скоплений минерального субстрата. Теперь требовалось разработать метод описания тех спектральных характеристик, которые свойственны наиболее продуктивным из уже известных ископаемых отложений Американского континентального водораздела, и постараться найти в них общие отличительные черты. Если таковые обнаружатся, мы могли бы дистанционно исследовать территорию всего водораздела и при помощи компьютера отыскать там места с похожими спектральными характеристиками, где, следовательно, и вероятность массового наличия ископаемых наиболее высока. Затем для проверки нашей модели мы могли бы посетить выявленные нами места (как и места с иными спектральными характеристиками) и проверить наличие и обилие в каждом из них палеонтологического материала.

Ответить на вопрос, имеются ли вообще у известных месторождений общие (но специфические только для них) спектральные характеристики, оказалось отнюдь не легкой задачей. Для каждого участка требовалось описать комбинацию параметров в шести диапазонах электромагнитного спектра, отображаемых на снимках *Landsat 7*. Проблема, по сути, заключалась в необходимости найти какую-то общую тенденцию в многомерном пространстве измерений. В решении подобных задач люди не очень сильны, однако компьютер с ними справляется отлично. Поэтому мы вооружились методом автоматического дешифрирования, используемым при изучении сложных визуальных структур и известным как искусственная нейронная сеть.

Итак, наша искусственная нейронная сеть показала, что у большинства известных скоплений ископаемых костей действительно имеется общая спектральная черта. Вдобавок разработанный подход позволял легко отличить выходы песчаников от других элементов ландшафта, например от заболоченных мест или песчаных дюн. Но модель, к сожалению, имела и ряд ограничений. Все нейронные сети выдают результаты анализа, в сущности, в виде «черного ящика», т.е. они могут отличить разные структуры друг от друга, но не могут указать, какие реальные свойства делают одни структуры не похожими на другие. И хотя наша нейронная сеть могла легко и безошибочно отличить потенциальные места скопления окаменелостей от водно-болотных угодий или от песчаных дюн, она не могла показать нам, чем именно спектральные характеристики различных участков земной поверхности отличались друг от друга на снимках *Landsat 7*. А именно такая информация требовалась нам для проведения более целенаправленных поисков.

Еще одна проблема нейронных сетей состоит в том, что они ведут анализ, основываясь исключительно

на свойствах отдельных пикселей, а при этом площадь одного пикселя на снимке *Landsat 7* составляет 225 кв. м (т.к. техническое разрешение этих снимков равно 15 м), в то время как в действительности одни скопления ископаемых по размеру больше одного пикселя, а другие меньше. Таким образом, прогнозы обычной нейронной сети о расположении и размере потенциального палеонтологического сайта (в данном случае — участка земной поверхности с определенными геологическими свойствами) не всегда соответствовали реальности.

Чтобы снять эти ограничения, мы должны были найти возможность для анализа всего множества смежных и спектрально близких пикселей и для статистического описания спектральных характеристик всей анализируемой площади, будь то песчаник или лес. С этой целью мы воспользовались методом объектно-ориентированного анализа изображений (*Geographical Object-Based Image Analysis, GEOBIA*). Пришлось также купить космические снимки высокого разрешения, у которых размер одного пикселя меньше метра. В отличие от метода нейронных сетей такой подход позволяет сегментировать спутниковые изображения на группы спектрально однородных пикселей, которые затем могут быть охарактеризованы с помощью статистических параметров, таких как средняя или медианная яркость или же текстура объекта. Площади, выделенные подобным способом, должны были уже более точно соответствовать интересующим нас объектам на земной поверхности, например участкам с окаменелостями или лесным территориям. С помощью данного подхода мы смогли создать независимый от предыдущего анализа набор признаков для потенциально богатых ископаемыми останками геологических обнажений.

Момент истины

На основе обеих прогностических моделей мы составили карты Американского континентального водораздела, где в еще не изученных районах были отмечены участки, спектральные характеристики которых лучше всего соответствовали характеристикам уже изученных продуктивных палеонтологических местонахождений. Но хотя модели хорошо перекрывались в области предсказаний, в ряде случаев они все же ощутимо противоречили друг другу. Мы решили сосредоточить внимание на тех участках, которые были отмечены как наиболее перспективные обеими моделями. Взяв карты в руки, мы отправились на исследования в штат Вайоминг, чтобы посмотреть, приведут ли наши предсказания к новым находкам. Результаты работ двух летних полевых сезонов в 2012 и 2013 гг. показали, что мы, по счастью, попали в самое яблочко.

Метод нейронных сетей оказался весьма эффективным при выявлении отложений песчаников — а те почти всегда достойны изучения в данном районе, поскольку обычно содержат многочисленные останки ископаемых позвоночных. Уже в одном из первых отложений песчаника, к которым в июле 2012 г. нас привели новые карты, обнаружилась дюжина окаменелостей, принадлежащих

млекопитающим эпохи эоцена, в том числе пятипалым лошадям рода *Hyracotherium*, древним приматам *Cantius* и некоторым другим существам, принадлежащим к вымершей группе копытных млекопитающих, известных под названием *Condylarthra*. Кроме того, карты, основанные на методе нейронных сетей, позволили нам обнаружить несколько мест, содержащих ископаемые останки водных позвоночных, включая рыб, крокодилов и морских черепах.

Метод объектно-ориентированного анализа изображений тоже помог нам открыть новые местонахождения ископаемых. После весьма неудачного старта (первые три или четыре места, выявленные данным методом, оказались пустыми) мы переместили наши поиски в северную часть водораздела, неподалеку от места, называемого Фрейтер-Гап, где планировали заняться верификацией. Аспирант Брайан Боммерсбах (Bryan Bommersbach), который неделю назад уже руководил нашим выездом к месту, оказавшемуся в итоге совершенно бесполезным с точки зрения палеонтологии (мы прозвали его «Причуда Брайана»), сам взялся выбрать для проверки новые места, предложенные моделью. И почти сразу мы начали находить кости на большинстве выбранных участков. Мы посетили 31 участок в той местности, которую компьютерная модель сочла наиболее схожей с самыми палеонтологически продуктивными территориями, и обнаружили останки позвоночных животных в 25 из них, что, с точки зрения статистики, гораздо более удачный результат, нежели при поисках без помощи прогностической карты. В десяти из 25 продуктивных местонахождений мы нашли и останки млекопитающих, причем в одном из них находки датируются концом палеоцена — случай чрезвычайно редкий.

У нас есть все основания полагать, что прогностические модели наподобие разработанных нами будут успешно работать и в других регионах, за пределами Американского континентального водораздела. Вообще говоря, они должны работать практически в любой точке мира: т.е. теоретически любой ученый, имеющий спутниковые снимки исследуемой им территории и список уже известных продуктивных местонахождений (по которым можно обучить компьютерную модель), в состоянии создать пользовательскую карту с указанием тех мест в регионе, которые вероятнее всего содержат окаменелости.

Для проверки постфактум возможностей нового подхода мы протестировали метод нейронных сетей на той части континентального водораздела в штате Вайоминг, которая находится неподалеку от местности, называемой Байзин-Бейзин, где, как известно, сосредоточено большое количество останков млекопитающих эпохи палеоцена. Мы не проводили обучение нашей компьютерной модели по участкам из Байзин-Бейзин, т.к. на них находятся те же виды ископаемых, что и на территории водораздела. И все же наша методика безошибочно указала три самых продуктивных из числа ранее известных палеонтологических местонахождений как раз на этой территории. Таким образом, уже тогда экспедиция,

исследовавшая эту обширную область в первый раз и обладавшая картой типа нашей, могла бы с гораздо большей вероятностью открыть те знаменитые местонахождения, нежели экспедиция, которая использовала бы лишь традиционные методы поиска окаменелостей.

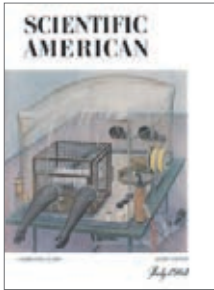
Наши пробные выезды в Вайоминг в 2012 и 2013 гг. показали, что применение космической съемки с высоким разрешением в сочетании с пространственно-прогностическим моделированием значительно повышают эффективность полевых исследований, позволяя найти больше ископаемых за меньшее время. Но нам еще предстоит сделать куда больше. Сейчас мы сконцентрировались на усовершенствовании наших компьютерных моделей с тем, чтобы они могли лучше различать и точнее описывать спектральные особенности интересующих нас участков. Мы работаем также над внесением в обе модели новых ограничительных параметров, что должно в итоге уменьшить число ложных предсказаний на результирующих картах и, таким образом, позволить надежнее определять приоритетные участки для полевых исследований.

Мы убеждены, что с помощью этих и других подобных инструментов мы сможем поставить будущее экспедиционной палеонтологии на более надежное и научно-доказуемое основание, что позволит строить при поиске ископаемых остатков практически безошибочные прогнозы, а не полагаться лишь на опыт и чутье палеонтолога. Достижение этой цели вполне оправдывает затраченные усилия. Решение загадки о происхождении и эволюции жизни на Земле — слишком интересная и важная задача, чтобы оставить ее в руках своенравной фортуны. Неужели мы опять собираемся ждать 15 лет, пока еще один аспирант по имени Тим случайно натолкнется на новый палеонтологический «жертвенник»? ■

Перевод: В.Э. Скворцов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Вонг К. Первый из нашего племени // ВМН, № 6, 2012.
- GIS and Paleoanthropology: Incorporating New Approaches from the Geospatial Sciences in the Analysis of Primate and Human Evolution. R.L. Anemone, G.C. Conroy and C.W. Emerson in American Journal of Physical Anthropology, Vol. 54, Supplement No. 53, pages 19–46; 2011.
- Finding Fossils in New Ways: An Artificial Neural Network Approach to Predicting the Location of Productive Fossil Localities. Robert Anemone, Charles Emerson and Glenn Conroy in Evolutionary Anthropology, Vol. 20, No. 5, pages 169–180; September/October 2011.
- An Artificial Neural Network-Based Approach to Identifying Mammalian Fossil Localities in the Great Divide Basin, Wyoming. Charles W. Emerson and Robert L. Anemone in Remote Sensing Letters, Vol. 3, No. 5, pages 453–460; 2012.
- Дополнительные сведения об исследованиях авторов статьи, включая и исходные данные, на которых они базировались, см. по адресу: ScientificAmerican.com/may2014/anemone. См. также: ScientificAmerican.com/may2014/fossil-hunting



ИЮЛЬ 1964

Видеотелефон. К этому месяцу у обитателей Нью-Йорка, Чикаго и Вашингтона должна появиться возможность общения с жителями других городов по видеотелефону. Эту систему под названием *Picturephone* разработала компания *American Telephone and Telegraph (AT&T)*, которая препод-

носит ее как «первую видеотелефонную систему с приемлемым качеством изображения, которая может стать рентабельной». В состав настольного устройства входят видеокамера и экран шириной 111 мм и высотой 146 мм. Обеспечить видеотелефонной связью жилые дома и организации в ближайшее время AT&T не надеется, поскольку для передачи изображения требуется ширина полосы частот, в которую можно уместить 125 обычных телефонных линий.

Шимпанзе создают орудия.

Джейн Гудолл (Jane Goodall) из Кембриджского университета представила журналу *Nature* результаты своих трехлетних наблюдений в заповеднике в Танганьике над тем, как обезьяны шимпанзе изготавливают и используют различные орудия. Чаще всего шимпанзе делали «зонды» из прутьев длиной от 15 до 30 см, обдирая с них листья руками или зубами. Это прутья они затем засовывали в отверстия термитников, а потом вытаскивали. На них обычно оказывалось несколько термитов, которых обезьяна тут же съедала. Детеныши шимпанзе часто наблюдали эти действия старших и подражали им. Гудолл заключила, что в этой популяции шимпанзе происходит передача простейших культурных навыков от поколения к поколению.



ИЮЛЬ 1914

Как велика сила пера? В этом году происходит мирное соперничество народов за блага цивилизации и на пользу человечеству. Международную выставку книжной торговли и изобразительных искусств в Лейпциге вполне можно назвать симпозиумом по гуманитарному образованию: она раз-

ворачивает перед глазами посетителей картину истории культуры и самого человека, позволяя увидеть

интеллектуальную эволюцию народов, подъем их из темноты, суеверий и невежества к свету, радости, образованию, знанию и пониманию.

Электросушилка для рук.

По всей стране развернулась агитация против использования тканевых полотенец в общественных местах, т.к. это представляет собой угрозу общественному здоровью. Тканевые полотенца заменяются бумажными. Последним словом в области экономических и санитарных инноваций стало «воздушное полотенце» в большом общественном туалете в здании

Дистрикт-билдинг в Вашингтоне. Оно представляет собой электрическую сушилку, где вентилятор прогоняет воздух через нагревательную спираль в выходной воздуховод, к которому подставляют руки. Изобрел его комендант здания Джон Уорд (*John M. Ward*; патент № *US1108285*).



Лепные кузова.

Для изготовления автомобильных кузовов одна французская фирма применяет новый способ, который можно назвать оштукатуриванием или даже моделированием, поскольку он требует от работников более высокого умения, чем у обычного штукатура. Каркас кузова изготавливается из дерева, затем на него набивается проволочная сетка, как показано на снимке. Она служит арматурой, на которую мастер с помощью шпателя и гладилки наносит гипс. После отверждения гипса его можно шлифовать шкуркой, как дерево. Утверждается, что созданные таким способом кузова очень легки и долговечны.

Многие верят, что зерна пшеницы из древнеегипетских гробниц, где они пролежали 3 тыс. лет, не только способны прорасти, но и дают колосья необычайной величины и красоты. Так ли это, окончательно не установлено, но в письме Фигари-бея (*Figari-Bey*), направлен-

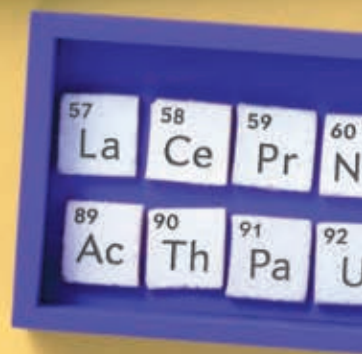
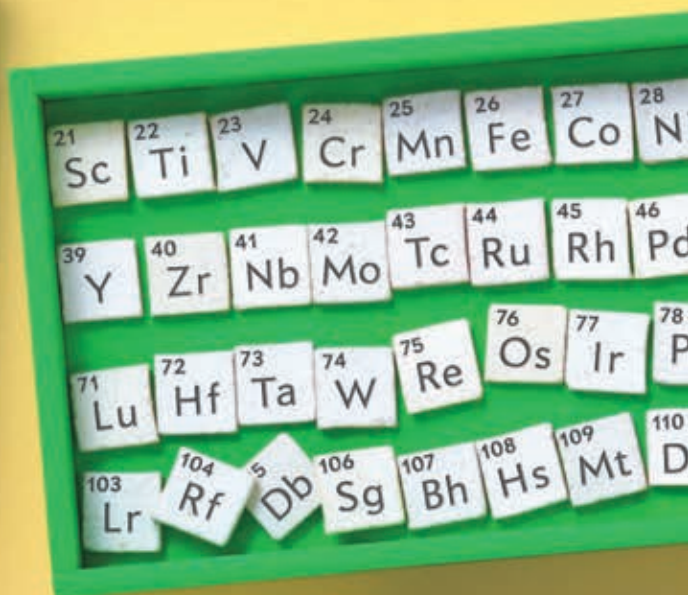
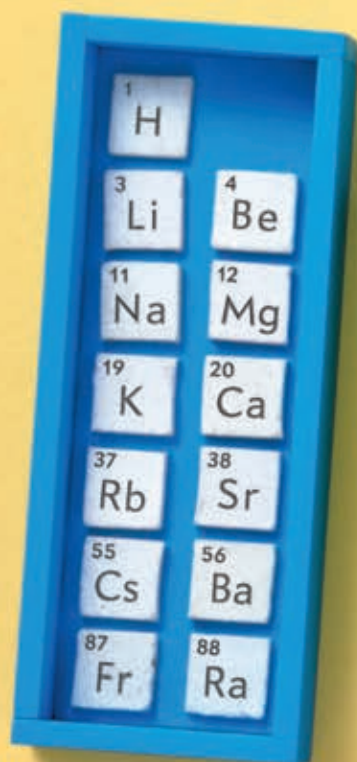


ИЮЛЬ 1864

Пшеница из древних гробниц.

Многие верят, что зерна пшеницы из древнеегипетских гробниц, где они пролежали 3 тыс. лет, не только способны прорасти, но и дают колосья необычайной величины и красоты. Так ли это, окончательно не установлено, но в письме Фигари-бея (*Figari-Bey*), направ-

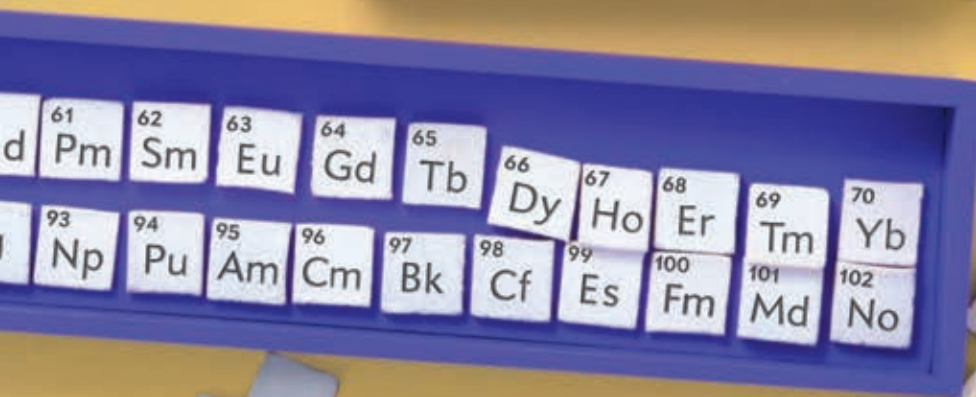
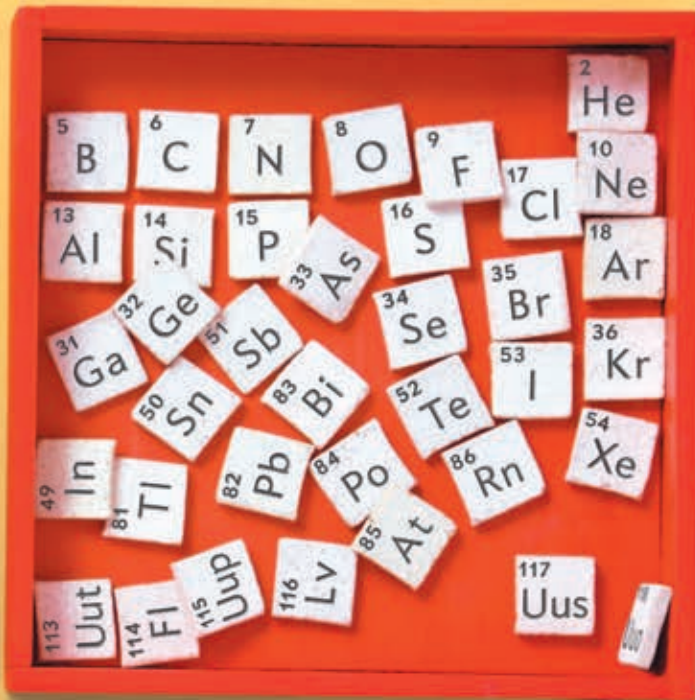
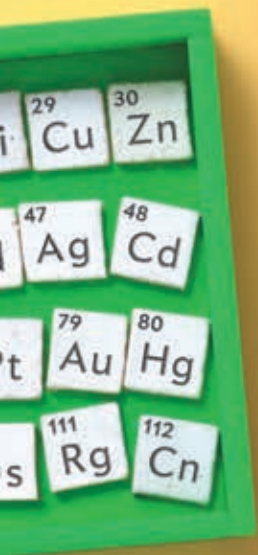
ном в Институт Египта в Александрии, автор склоняется к тому, что это не так. Образец пшеницы, который Фигари-бей использовал в своих экспериментах, был найден в Верхнем Египте, в одной из гробниц комплекса Мединет-Абу. Форма зерен сохранилась неизменной, но их цвет и снаружи, и внутри оказался красноватым, как будто их коптили. Будучи высеванными во влажную почву, они через девять дней полностью разложились, никаких признаков прорастания обнаружено не было. ■



Эрик Скерри

Таблица Менделеева: век недолог?

С открытием атома под номером 117 в периодической системе химических элементов больше не осталось вакантных мест



ОБ АВТОРЕ

Эрик Скерри (Eric Scerri) работает в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. Занимается историей химии и связанными с ней философскими проблемами. Получил докторскую степень в Кингс-колледже Лондонского университета. Увлекается игрой на блюзовой гитаре. Скерри — автор нескольких книг; последняя из них — «История о семи элементах» (*A Tale of Seven Elements*, 2013).



2010 г. от физиков-ядерщиков из России пришло известие о том, что ими синтезировано несколько ядер элемента 117. У нового атома пока нет названия, поскольку по традиции его существование должно получить подтверждение в ходе независи-

мого эксперимента. Тем не менее номер 117 уже получил «постоянную прописку» в таблице Менделеева.

Все элементы с первого по 116-й плюс элемент номер 118 были открыты ранее, и теперь, с появлением 117-го, последняя свободная ячейка нижней строки таблицы приобрела законного хозяина. Это событие — уникальный момент в истории науки. Когда в 1860-е гг. русский ученый Д.И. Менделеев предложил свою периодическую систему химических элементов и представил ее в виде таблицы, в ней присутствовали все известные в то время элементы. Но оставалось довольно много свободных ячеек. Ученый высказал смелое предположение, что когда-нибудь их займут новые, не открытые пока элементы. Его гипотеза получила многократное подтверждение, но всякий раз в таблице оставались вакантные места. Сегодня эта история завершилась.

Будь Менделеев жив, он чувствовал бы себя триумфатором. Однако теперь может начаться новая история: не исключено, что физики-ядерщики синтезируют еще несколько элементов, и тогда в таблице появится новая строка, а в ней — новые незанятые ячейки.

Серьезные признаки того, что с таблицей не все так просто, стали появляться при заполнении нескольких последних ее ячеек. Под угрозой оказался сам принцип периодичности. Дело в том, что Менделеев предсказал не только существование новых элементов, но и их химические свойства исходя из того места в таблице, которое они займут. Все это было возможно благодаря ее

фундаментальному свойству. Но по мере того как атомный номер открываемых элементов возрастал — а значит, возрастало число протонов в их ядрах, — все яснее становилось, что некоторые из них уже не подчиняются закону периодичности: так, типы связей, образуемых ими с другими атомами, отличаются от таковых для других элементов того же столбца. Объясняется это тем, что некоторые электроны, обращающиеся вокруг ядер самых тяжелых атомов, движутся со скоростью, составляющей по величине довольно значительную часть скорости света. С точки зрения физики они становятся релятивистскими частицами, отчего поведение атомов отличается от ожидаемого. Предвидеть, как именно изменится каждая орбиталь такого атома, чрезвычайно трудно. Это означает, что по мере заполнения таблицы Менделеева ее предсказательная сила становится все меньше.

Конец или начало?

Сегодня известно более тысячи вариантов таблицы. Они различаются расположением элементов и их числом, но все обладают одной общей фундаментальной особенностью: если их элементы расположить последовательно в порядке увеличения атомного номера, то через определенное число шагов химические свойства элементов начнут повторяться. Начнем, например, с лития. Ближайший к нему элемент со сходными свойствами — натрий. Оба они — мягкие металлы (без труда режутся ножом), бурно реагирующие с водой. Следующим элементом будет калий — и т.д.

В первых вариантах таблицы, в том числе и в предложенном Менделеевым, длина всех периодов (рядов) была равна восьми. Вскоре, однако, стало ясно, что четвертый и пятый периоды начинаются не с восьмого по счету элемента, а с 18-го. Соответственно, эти периоды были расширены — так образовался блок переходных металлов

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

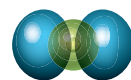
- С открытием в 2010 г. 117-го элемента в периодической системе химических элементов — по крайней мере в ее традиционном виде — не осталось вакантных мест. Не исключено, однако, что таблица Менделеева будет расширяться с появлением новых элементов.
- Новые элементы могут отличаться по своим свойствам от тех, что расположены выше них в том же столбце, и тогда основополагающий закон периодичности, просуществовавший более полутора веков, будет нарушен.
- Такие аномалии в поведении элементов могут быть обусловлены действием релятивистских сил, в частности проявляющимся в уменьшении размеров некоторых электронных орбиталей.
- Физики-ядерщики не оставляют попыток синтезировать новые элементы с новыми типами орбиталей, но исследовать их свойства им, возможно, придется, располагая лишь несколькими короткоживущими атомами.

Периодическая таблица будущего

ЧУДЕСА СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ

Элементы в таблице Менделеева располагаются в порядке возрастания их атомных номеров и в соответствии с повторяемостью химических свойств. Эти свойства определяются в основном числом электронов на внешних орбиталях. При переходе от элементов с меньшим атомным номером к элементам с большими номерами конфигурация внешних орбиталей изменяется в соответствии с периодическим законом. Так, у элементов с пятого по десятый эти орбитали относятся к типу *p*, затем картина повторяется с 13-го по 18-й элементы и т.д. (голубой цвет).

У лития (*Li*) две *s*-орбитали, занятые тремя электронами (не показаны). У бора (*B*) две *s*-орбитали, занятые четырьмя электронами, и внешняя *p*-орбиталь с одним электроном.

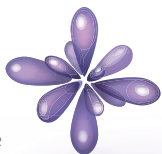


Новая орбиталь — новый блок

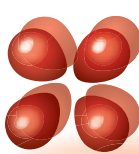
Такую таблицу предложил в 1927 г. французский ученый Шарль Жане (1849–1932). Ее нижняя строка будет заполнена с открытием элементов 119 и 120 с внешними орбиталями *s*-типа. У элемента 121 появится орбиталь нового типа, *g*, и с него же начнется новая строка.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|
| La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | Rb | Sr |
| 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | Cs | Ba |
| 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
| | | | | | | | | | | | | | | Lu | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | Fr | Ra |
| | | | | | | | | | | | | | | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 |
| | | | | | | | | | | | | | | Lr | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Uut | Fl | Uup | Lv | Uus | Juc | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 |
| 121 | 122 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G-блок | | | | F-блок | | | | | | | | | D-блок | | | | | | | | | | P-блок | | | | | | S-блок | | |

Через каждые два периода (строки) у элементов появляется новое семейство электронных орбиталей. Справа в качестве примера представлено по одной орбитали для каждого семейства.



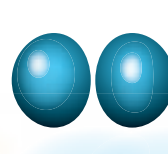
g-орбиталь



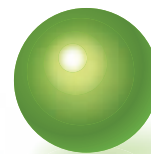
f-орбиталь



d-орбиталь



p-орбиталь



s-орбиталь

(в традиционном представлении таблицы он находится в ее середине). Шестой период оказался еще длиннее — он состоял из 32 элементов и включал последовательность из 14 элементов, названных лантаноидами.

Начиная с 1937 г. было синтезировано несколько новых элементов. Первый из них, технеций, заполнил один из четырех пробелов в тогдашней таблице, которая насчитывала 92 элемента — от водорода до урана. Вскоре на свет появились еще три элемента: два из них (астат и прометий) физики синтезировали, третий (франций) имел природное происхождение. Но с заполнением всех пробелов дело не кончилось: в таблицу были включены новые элементы, более тяжелые, чем уран, одновременно появились и новые пропуски.

Американский физик и химик Гленн Сиборг (Glenn Seaborg) предложил объединить торий и протактиний с ураном и следующими за ним десятью элементами, с тем чтобы составить еще один период аналогично тому, как это было с лантаноидами. Этот ряд тоже состоял из 14 ячеек, а входящие в него элементы были названы актиноидами. Чтобы не загромождать таблицу, оба периода вынесены за ее пределы и помещены отдельно.

В первой половине XX в. стало ясно, что природа периодичности в расположении химических элементов уходит своими корнями в квантовую физику. В первую

очередь это касается характера электронных орбит (орбиталей). Они подразделяются на несколько типов, различающихся формой и размером. Атомы с большим атомным номером помимо таких же орбиталей, как у более легких атомов, имеют дополнительные орбитали других типов. У элементов первого периода одна *s*-орбиталь, на ней находится один электрон у водорода и два — у гелия. У элементов второго и третьего периодов на одну *s*-орбиталь больше, а кроме того добавляются три орбитали *p*-типа. На каждой из четырех *s*-орбиталей тоже могут находиться один или два электрона, а всего таких электронов может быть восемь — именно такова периодичность исходных вариантов таблицы. Элементы четвертого и пятого периодов помимо *s*- и *p*-орбиталей имеют орбитали типа *d*, в результате появляются десять новых мест для электронов, а длина периода увеличивается до 18. Наконец, у элементов последних двух периодов имеются орбитали *s*, *p*, *d* и *f*, и каждый период содержит 32 ячейки (18 + 14).

Когда Юрий Цолакович Оганесян с сотрудниками из Объединенного института ядерных исследований в Дубне сообщили о синтезе ими элемента 117, свободных мест в последних двух периодах не осталось (см.: Оганесян Ю. Острова стабильности // ВМН, № 3, 2005). Помимо удовлетворения от выполненной работы

все имеющие к ней отношение испытывают и беспокойство: что же дальше? Элемент 118, последний в таблице, — единственный, у которого заполнены все его s -, p -, d - и f -орбитали.

Если когда-нибудь физики синтезируют новые элементы, место им найдется только в следующем, не существующем пока периоде. Он начнется с элемента 119, который, скорее всего, и будет получен первым. У него и следующего, 120-го, элемента снова будет простейшая из орбиталей — s . Но с открытием элемента 121 начнется совершенно новый блок с элементами, имеющими неизвестные ранее g -орбитали. Как и прежде, с появлением орбитали нового типа у электронов возникнут дополнительные возможности для размещения, что неизбежно приведет к увеличению периода таблицы.

Заполнение периодической системы элементов со всеми ее строками и столбцами — то, что стало бы исполнением мечты ее автора Д.И. Менделеева, — никак не удовлетворило бы создателя специальной теории относительности Альберта Эйнштейна.

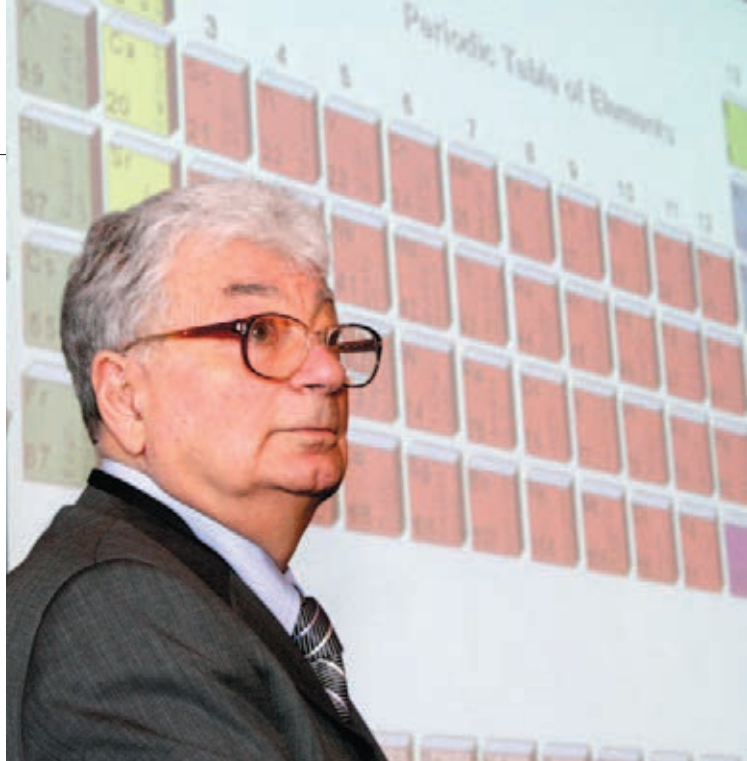
Наступление на таблицу

С увеличением атомного номера элемента возрастает заряд его ядра, поскольку в нем появляется все больше протонов. Параллельно увеличивается скорость движения электронов на внутренних орбиталях и наступает момент, когда в поведении атомов значительную роль начинают играть релятивистские эффекты. Они приводят к уменьшению размеров внутренних орбиталей, делая их более стабильными. Все остальные орбитали, включая те, на которых находятся валентные электроны, определяющие химические свойства элементов, тоже «ужимаются».

Все эти феномены получили название прямых релятивистских; они возрастают с увеличением заряда ядра атома. В отличие от них так называемые «непрямые» релятивистские эффекты дестабилизируют d - и f -орбитали. Происходит их своего рода электростатическое экранирование s - и p -электронами, отрицательный заряд которых частично нейтрализует притяжение со стороны положительного ядра. В результате электростатическое притяжение со стороны ядра на удаленные электроны уменьшается.

С некоторыми релятивистскими эффектами подобного рода мы сталкиваемся в повседневной жизни. Так, именно они определяют цвет золота, столь разительно отличающийся от цвета соседствующих с ним элементов в d -блоке таблицы, например серебра, расположенного прямо над золотом.

Когда атом металла, входящий в d -блок, поглощает фотон определенной длины волны, один из его электронов переходит с d -орбитали на расположенную прямо над ним s -орбиталь. У серебра энергетический зазор между этими двумя орбиталями довольно велик, так что переход могут вызвать только УФ-фотоны. Фотоны меньшей энергии просто отскакивают от атома, поэтому из серебра можно изготавливать зеркала, близкие к совершенным.



Юрий Оганесян, руководитель группы физиков, которые синтезировали 117-й элемент и сейчас пытаются получить следующий новый элемент — номер 119

Что же касается золота, то релятивистские эффекты приводят к уменьшению энергии его s -орбиталей и к повышению — d -орбиталей. Зазор между ними сужается, и для перехода электрона $d \rightarrow s$ достаточно энергии «синего» фотона. Фотоны всех других цветов отражаются от поверхности металла, и мы видим типичный для золота желтый цвет (белый минус синий).

Как еще могут повлиять релятивистские эффекты на свойства золота? Выяснению этого занялась группа финских ученых во главе с Пекка Пиикко (Pekka Pyykkö) из Хельсинкского университета. По их оценкам, золото может связываться с другими атомами совершенно необычным способом. Впоследствии соединения, которые они ожидали найти, были действительно обнаружены. Так, атомы золота образуют связи с атомами ксенона, инертного газа, и также тройные связи с атомами углерода. Еще больший интерес представляет молекула сферической формы с участием одного атома вольфрама и 12 атомов золота, напоминающая молекулы фуллеренов, которые состоят только из атомов углерода. «Золотые» фуллерены образуются спонтанно при испарении вольфрама и золота в атмосфере гелия.

В рамках квантовой механики получает объяснение и каталитическое действие кластеров из атомов золота, в частности их способность расщеплять токсичные соединения в выхлопных газах автомобилей, — при том что золото как таковое подобной способностью не обладает.

Тяжеловесы преподносят сюрпризы

Несмотря на релятивистские эффекты, золото и другие элементы не слишком отклоняются в своем поведении от того, что предсказывает для них таблица Менделеева. До недавнего времени это относилось и ко многим новым элементам. Но с открытием наиболее тяжелых элементов

ситуация изменилась: большинство из них вели себя так, что это вызывало серьезные сомнения в правильности периодической системы.

Используя ускорители элементарных частиц для разгона и столкновения ядер тяжелых атомов, физики получили возможность создавать сверхтяжелые элементы с атомным номером больше 103. Проведенные в 1990-х гг. эксперименты с участием резерфордия (104) и дубния (105) позволили предположить, что свойства этих элементов не соответствуют месту, занимаемому ими в таблице. Так, Кен Червински (Ken Czerwinski) из Калифорнийского университета в Беркли обнаружил, что в растворе резерфордий ведет себя аналогично плутонию, находящемуся от него в таблице довольно далеко. Дубний же походил скорее на протактиний, тоже не ближайший к нему элемент. В соответствии с периодическим законом резерфордий и дубний должны вести себя так, как расположенные прямо над ними гафний и тантал соответственно.

В ходе последних экспериментов физикам удавалось получить сверхтяжелые элементы только в очень малых количествах. Так, элемент 117 был представлен всего шестью атомами. Сверхтяжелые элементы к тому же крайне нестабильны и распадаются на более легкие компоненты за доли секунды. Экспериментаторам остается только наблюдать за этими осколками, но и это дает кое-какую информацию о физических и химических свойствах исходных ядер. В таких условиях никакие реакции в растворе, чаще всего проводимые в химии, невозможны. Чтобы получить какую-то информацию, приходится придумывать новые, весьма изощренные методы.

Результаты экспериментов со следующими двумя элементами, 106-м и 107-м, казались обескураживающими. В отличие от элементов 104 и 105, сиборгий и борий вели себя в полном соответствии с их положением в таблице Менделеева. Значит, периодическая система все-таки работает?

Интересно было посмотреть, как поведет себя элемент 112: подобно ртути, находящейся прямо над ним, или подобно инертному газу радону — в соответствии с некоторыми квантово-механическими расчетами. Помимо самого элемента 112 физики синтезировали тяжелые изотопы ртути и радона. (Ртуть и радон присутствуют в достаточных количествах в природе, но было решено изучить свойства их синтетических аналогов, а не полагаться на данные, полученные для более легких изотопов.)

Все три элемента проверили на способность связываться с двумя веществами: золотом и льдом. Для этого подложку охладили до очень низких температур и покрыли одну ее половину золотом, а другую — льдом. Если элемент 112 — металл, то он должен связываться с атомами золота, а если аналогичен инертному газу радону, то со льдом. На сегодня результаты, полученные в разных лабораториях, не согласуются друг с другом, и ситуация далека от разрешения. По данным Роберта Эйхлера (Robert Eichler) из Института Пауля Шерера в Швейцарии, поведение 114-го элемента тоже предполагает наличие релятивистских эффектов.

Более четкие данные удастся получить после того, как будут синтезированы другие сверхтяжелые элементы. Правда, здесь возникает вопрос более общего характера: есть ли у таблицы Менделеева конец? Считается, что когда число протонов становится слишком большим, ядро не образуется даже на короткое время. Но что значит — «слишком большое число»? В предположении, что ядро имеет точечные размеры, максимальное число протонов, при котором оно еще может существовать, равно 137. Если же считать, что объем ядра не бесконечно мал, то это число возрастает до 172–173.

До сих пор неясно, обладают ли тяжелые элементы теми же свойствами, как и стоящие выше них в столбце. Большого практического значения это не имеет (по крайней мере в ближайшей перспективе), для основной массы элементов принцип периодичности остается

Пока неизвестно, будет ли соблюдаться для сверхтяжелых атомов принцип, согласно которому все элементы в столбце обладают одинаковыми свойствами

незыблемым. Классической химии вряд ли придется иметь дело с элементами большой атомной массы: их ядра крайне нестабильны, они распадаются почти сразу же после образования.

Но вопрос о роли релятивистских эффектов крайне важен для химии как области науки. Если периодический закон перестает работать, то химия в каком-то смысле становится частью физики, в противном случае она сохраняет свою самостоятельность. Пока же Менделеев мог бы только радоваться успехам своего любимого дитя. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

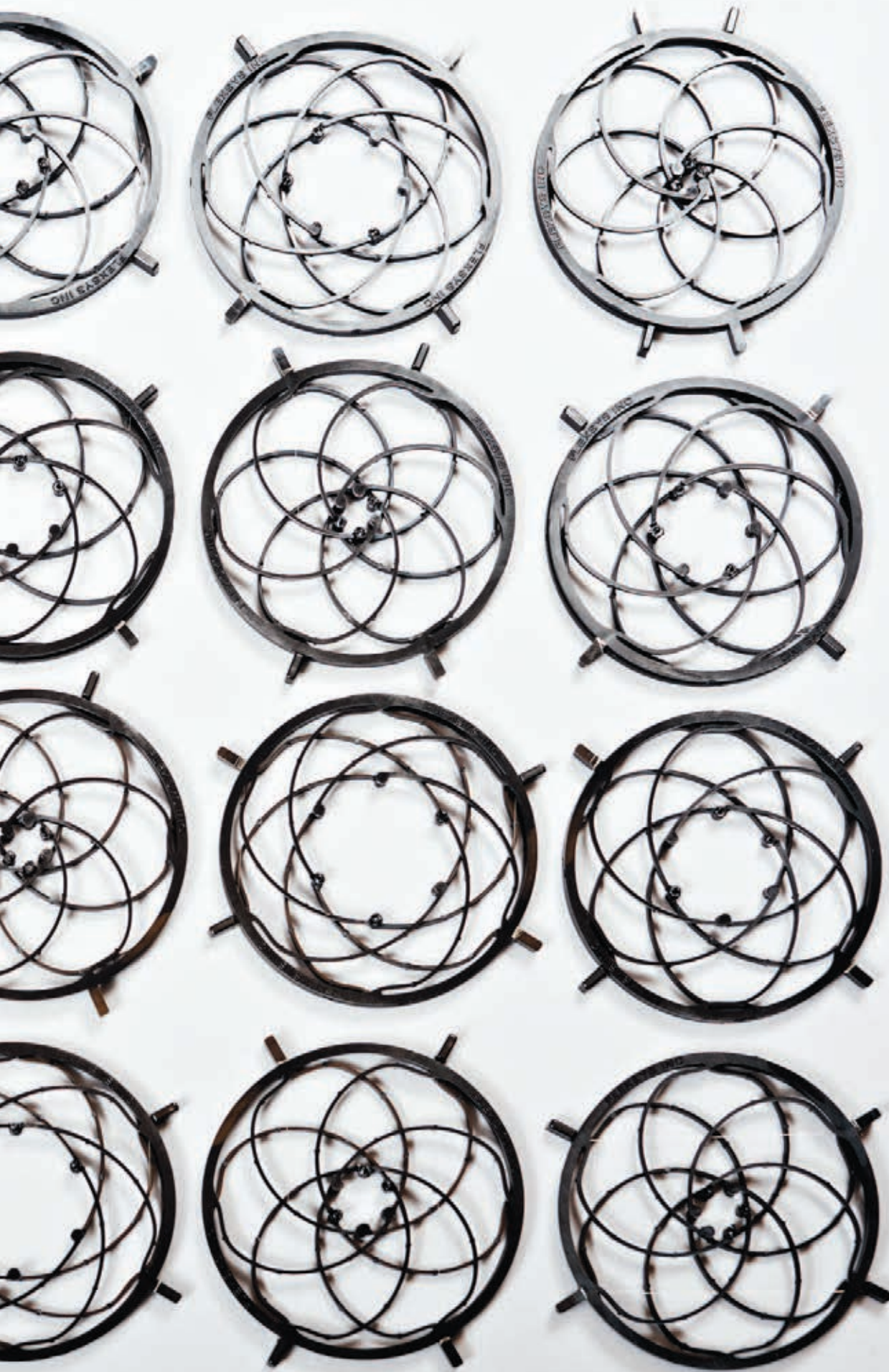
- The Periodic Table, Its Story and Its Significance. Eric Scerri. Oxford University Press, 2007.
- A Suggested Periodic Table up to $Z \leq 172$. Based on Dirac — Fock Calculations on Atoms and Ions. Pekka Pyykkö in Physical Chemistry Chemical Physics, Vol. 13, No. 1, pages 161–168; 2011.
- A Very Short Introduction to the Periodic Table. Eric Scerri. Oxford University Press, 2011.
- Слайд-шоу об истории таблицы Менделеева см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2013/periodic-table



Конструкции переменной формы

С появлением машин, представляющих собой одну гибкую конструкцию, привычные механизмы, собранные из множества жестких деталей, станут антиквариатом

Сридхар Кота



Зрачок ирисовой диафрагмы, изготовленной из единого куска материала, изменяется простым нажатием на внешнее кольцо

ОБ АВТОРЕ

Сридхар Кота (Sridhar Kota) — профессор инженерного колледжа Мичиганского университета, основатель и президент компании FlexSys.



Однажды дождливым днем 1995 г. я ехал по улицам города Анн-Арбор, штат Мичиган. Механические дворники усердно сгоняли воду с лобового стекла автомобиля, а я впервые задумался над их устройством. В то время я был доцентом в колледже машиностроения Мичиганского университета, а раньше занимался исследованиями в области, которую в промышленности называют «проектированием с учетом требований сборки». Целью этих изысканий была минимизация количества деталей машин или механизмов, с тем чтобы уменьшить затраты на их изготовление и сборку. В ходе работы меня стал занимать вопрос, к чему мы придем, если при проектировании зададимся целью максимально упростить сборку. Можно ли создавать изделия, в которых сборочных операций не будет вовсе?

Когда я в очередной раз сел за руль и опять включил дворники, меня поразило, как много конструкторских усилий было потрачено на их создание. Каркас дворника держит заменяемую резиновую ленту и должен быть очень гибким, чтобы во время работы плотно прижимать ленту к лобовому стеклу, имеющему выпуклую форму. Более того, дворник должен безупречно подходить к разным моделям автомобилей, у каждой из которых своя геометрия лобового стекла. Чтобы обеспечить необходимую гибкость, пришлось создать сложную систему из множества деталей — жестких коромысел, упругой пластины, опор и шарниров.

В то время меня больше занимала другая тема — проектирование прочных гибких механизмов из минимального числа деталей. Мы с коллегами уже имели успешный опыт изготовления устройств из цельного куска материала. Так, в 1993 г. я вместе со своими

студентами Г.К. Анантхасурешем (G.K. Ananthasuresh) и Лаксманом Саггером (Laxman Saggere) соорудил цельный гибко-упругий степлер, и я подумал, что изготовление подобным способом щеток стеклоочистителей стало бы для нас ценным опытом. Монолитный дворник по существу не потребует сборки, и реализация этого замысла станет не просто упражнением в конструкторском минимализме. Ведь большую часть стоимости производства щеток стеклоочистителей составляет именно их сборка. Неудивительно, что изготовление механизмов, связанное с этой трудоемкой процедурой, давно перенесено в страны с низкой оплатой труда.

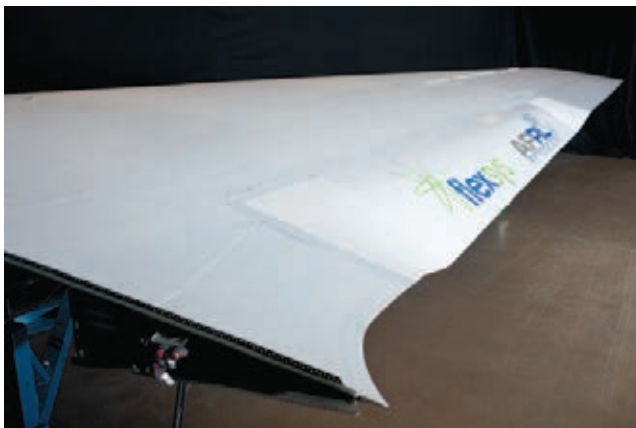
Конечно, мы с коллегами не забросили все свои дела и не приступили к немедленной разработке монолитных автомобильных дворников. Два последних десятилетия я больше занимался созданием теоретических основ проектирования гибко-упругих механизмов. Но в конце концов такие щетки мы все же сделали. Затем последовали цельные (состоящие всего из одного элемента) миниатюрные усилители движения, гибкие крылья самолета, моноформные роботы-змеи и другие устройства, каждое из которых было воплощением принципиально нового конструкторского подхода.

Живые машины

С гибкими механизмами мы встречаемся гораздо чаще, чем это кажется на первый взгляд. Один из наиболее наглядных примеров тому — лук со стрелами. Когда стрелок натягивает тетиву, в ней постепенно накапливается энергия упругой деформации, а когда он ее отпускает, энергия мгновенно передается стреле и с силой толкает ее вперед. Этот простой гибко-упругий механизм можно использовать сколь угодно долго без ущерба для

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Гибкость созданных человеком машин и механизмов обеспечивается целым комплексом жестких, сочлененных друг с другом элементов, зачастую неэффективных и трудных в изготовлении. При этом жесткость и гибкость — обычно взаимоисключающие свойства.
- Проектирование гибких конструкций — это метод, основанный на эффекте распределения нагрузки по всему трансформируемому механизму, состоящему из минимального числа деталей.
- Он позволяет создавать принципиально новые механизмы и агрегаты, например трансформируемые самолетные крылья или змей-роботов, а также повышает надежность, прочность, долговечность и эффективность всех видов машин.



Гибкие конструкции придут на смену жестким закрылкам самолетов (1), автомобильные дворники будут изготавливать из цельного куска материала (2), а степлер из монолитного куска пластмассы заменит привычный шиватель, состоящий из десятка деталей (3)

точности стрельбы. Более современным примером служит колпачок флакона для шампуня: эта цельная конструкция состоит из легко откидывающейся крышечки и плотно накручивающейся на флакон манжеты без механического шарнира. Еще один пример — одноразовые хирургические зажимы и пинцеты, широко применяемые в больницах. Они незаменимы при проведении операций и достаточно дешевы, чтобы их без сожаления можно было выбросить сразу после использования.

Самые удивительные гибкие конструкции созданы самой природой. Я понял это в 1995 г., когда стал читать труды Стивена Фогеля (Steven Vogel), знаменитого биолога из Университета Дьюка. В своих книгах, таких как «Живые устройства» (*Life's Devises*) и «Кошачьи лапы и катапульты» (*Cat's Paws and Catapults*), Фогель доходчиво объясняет, как работают природные конструкции, и проводит параллели с созданными человеком механизмами. Ветки деревьев, крылья птиц, ноги крабов и хобот слона — все они гибкие и прочные. Их составные части или растут одна из другой, или соединены между собой крепкими саморегенерирующимися интерфейсами. В отличие от устройств, состоящих из шестеренок и зубчатых передач, ползунов и пружин, они изгибаются и поворачиваются благодаря врожденной гибкости.

Человечество накопило огромный опыт в сооружении таких прочных жестких конструкций, как мосты и здания. Для их возведения используются в основном негнущиеся материалы. Если предполагается, что нагрузка на конструкцию будет чрезмерно велика, ее просто делают более массивной и распределяют нагрузку на большую площадь или увеличивают жесткость сооружения. Последняя в этом случае — преимущество, а гибкость — недостаток. Для жестких конструкций способность к изменению формы, или податливость, под воздействием нагрузки расценивается как полезное свойство лишь в случае сейсмостойких сооружений.

Что касается гибких конструкций, то податливость, напротив, для них совершенно необходима. Если нагрузка



на место изгиба становится слишком большой, его делают тоньше, а не толще, поскольку назначение гибких конструкций изменчивой формы — воспользоваться упругостью, а не подавить ее.

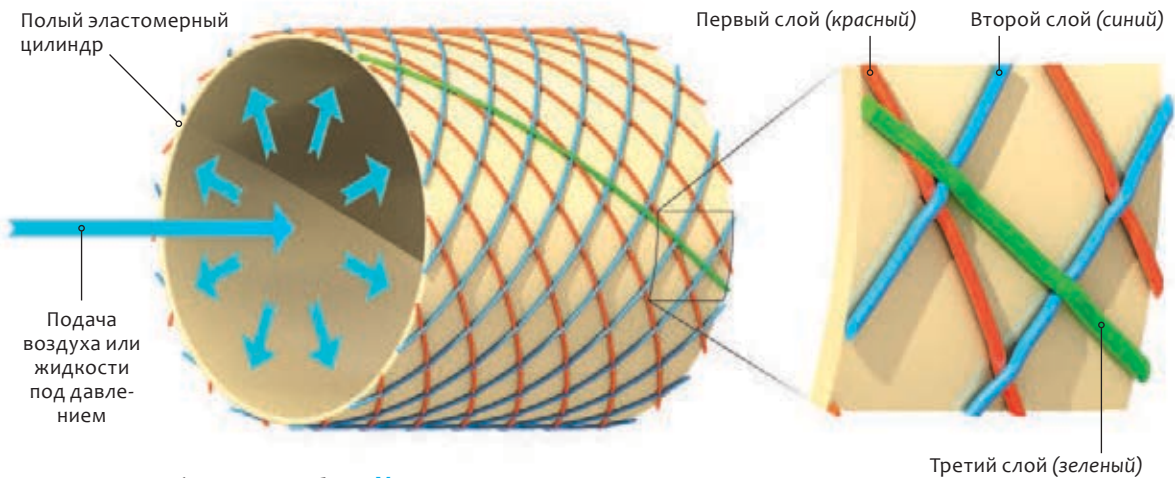
У колпачка флакона для шампуня внешнее усилие сосредоточено в тонкой пластмассовой перемычке, соединяющей крышечку с основой. Примерно так же устроены одноразовые щипцы и пинцеты. Когда напряжение сконцентрировано в наиболее тонкой части конструкции, гибкость проявляется как сосредоточенная упругая деформация, или податливость. Исследованием этого феномена ученые занимаются с 1950-х гг. Не так давно Ашок Мидха (Ashok Midha) из Миссурийского университета науки и техники, Ларри Хоуэлл (Larry Howell) из Университета Бригама Янга, Шорья Автар (Shorya Awtar) из Мичиганского университета и Мартин Калперпер (Martin L. Culperper) из Массачусетского технологического института в ходе блестящих исследований показали, как сосредоточенная упругая деформация воплощается в прецизионных приборах и наноустройствах.

А вот дуга лука не имеет локальных гибких участков. Вся она — образец рассредоточенной упругой деформации (податливости). Рассредоточенная податливость — важнейшее свойство гибких конструкций, испытывающих высокие нагрузки, например крыльев, поднимающих самолет в воздух, или двигателей, которые за время

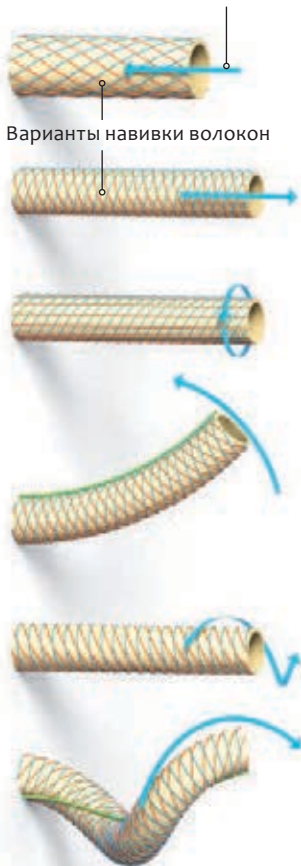
КАК УСТРОЕН РОБОТ-ЗМЕЯ

Черви, осьминоги и другие мягкотелые существа лишены твердого скелета, но от этого отнюдь не страдают. Передвигаются они благодаря упругоэластичным свойствам тела. У дождевого червя последнее представляет собой мышечную трубку, упрочненную волокнами, внутри которой содержится жидкость, находящаяся под давлением. Навитые по спирали волокна противодействуют давлению жидкости, обусловленному сокращением мышц; угол, под которым

волокна навиты на трубку, определяет амплитуду движения. Роботов, устроенных примерно так же, создали конструкторы из Мичиганского университета. Эти устройства можно применять в ортопедии для разработки поврежденных суставов и для создания роботов, способных перемещать хрупкие объекты и работать в непосредственной близости от людей, не создавая опасных ситуаций.



Направление деформации трубки

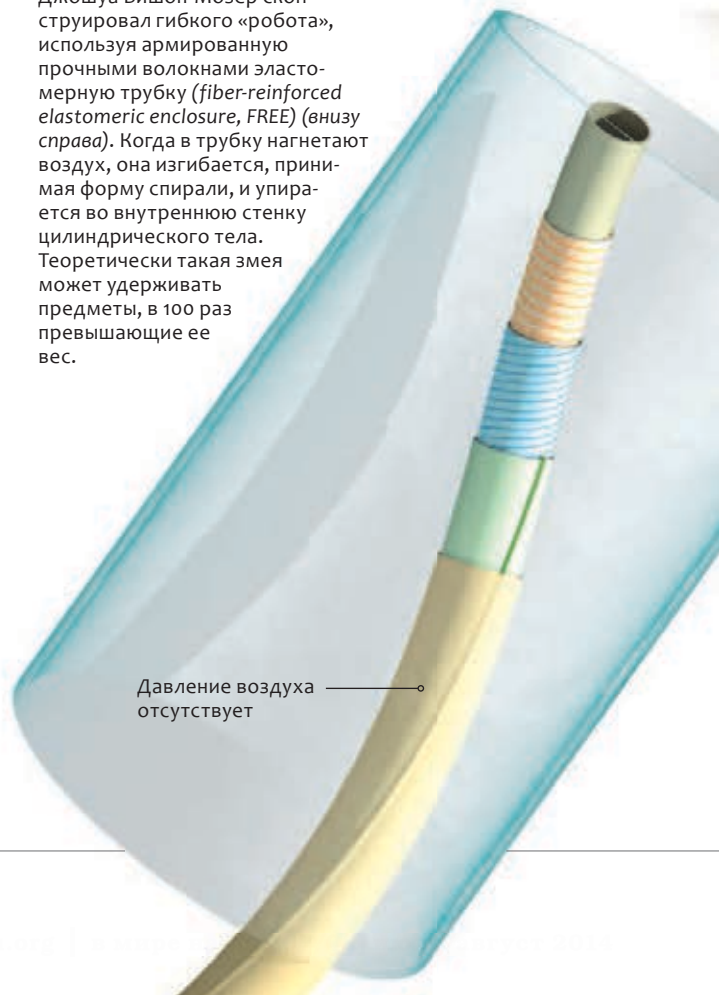


Угол — во главе угла

Большинство первых змеи-роботов имели сегментарное туловище — это была цепочка из подвижно сочлененных элементов. Мы решили использовать в качестве туловища эластичную трубку, армированную двумя или тремя слоями волокнистой сетки (вверху). От углов, под которыми волокна навиты на цилиндр, зависит, какую форму примет конструкция под действием закачиваемой внутрь нее жидкости (слева).

Трубка-захват

Джошуа Бишоп-Мозер сконструировал гибкого «робота», используя армированную прочными волокнами эластомерную трубку (*fiber-reinforced elastomeric enclosure, FREE*) (внизу справа). Когда в трубку нагнетают воздух, она изгибается, принимая форму спирали, и упирается во внутреннюю стенку цилиндрического тела. Теоретически такая змея может удерживать предметы, в 100 раз превышающие ее вес.





Под действием давления воздуха трубка принимает форму спирали и плотно прижимается к внутренней стенке цилиндра

Змеи объединяют усилия

Поскольку длина трубки и направление обвивающих ее волокон неизменны, под действием давления она изменяет форму единственным образом. Чтобы эти изменения стали более разнообразными, Гириш Кришнан (теперь он работает в Иллинойском университете в Эрбана и Шампейне) и Джошуа Бишоп-Мозер объединили несколько FREE-трубок (слева). Такая конструкция может изгибаться по-разному в зависимости от того, какая FREE-трубка при этом задействована. На рисунке внизу FREE, находящиеся под давлением, выделены цветом. В трубки серого цвета воздух не подается.

Мягкие роботы уже в пути?

Исследования возможностей применения FREE-трубок только начинаются, но уже ясно, что они найдут применение в производстве медицинских приборов, устройствах для технического контроля над трубопроводами и даже на конвейере (слева), где нужно уметь обращаться с хрупкими предметами, на что существующие сегодня роботы не способны.

своей работы совершают миллионы оборотов. Когда я начинал свою деятельность в этой области, никакой теоретической базы проектирования механизмов с рассредоточенной упругой деформацией не существовало. Этим мне и пришлось заняться, и по сей день это остается в фокусе моих интересов.

Начнем с малого

Гибкие цельные конструкции заинтересовали меня не потому, что они казались мне занятой новинкой; просто в некоторых случаях благодаря им отпадала необходимость сборки. Я начал с крупных механических агрегатов, таких как коробка передач (трансмиссия) автомобиля, однако в начале 1990-х гг. увлекся созданием крошечных устройств — микроэлектромеханических систем (МЭМС). Этому способствовали многие обстоятельства. Как раз тогда телекоммуникационные компании начали разработку оптических переключателей (фототиристоры) для оптоволоконных сетей; в них использовались крошечные моторчики, очень быстро изменяющие угол поворота зеркала и тем самым — направление светового сигнала. Вскоре после того как я проштудировал труды Фогеля и начал заниматься проектированием гибких конструкций, Стивен Роджерс (Steven Rogers) и его команда из отдела микросистем Сандийских национальных лабораторий, где в создании цельных конструкций уже были достигнуты значительные успехи, приступили к реализации некоего проекта, в котором принял участие и я.

В задачи лаборатории входило создание линейного электродвигателя с относительно большим — не менее 10 мкм — выходным смещением, в то время как стандартные изделия обеспечивали смещение в пределах 2 мкм. Я знал, что недостаточно просто уменьшить, скажем, редукторную коробку передач. Даже если бы нашелся умелец, способный собрать механизм из шестеренок, шарниров и валов миниатюрных размеров, этот механизм оказался бы слишком грубым для современного машиностроения. Если говорить об МЭМС, то устройство с люфтом в десятые доли микрометра востребовано не меньше, чем знаменитый детский конструктор *Tinkertoy*. Кроме того, МЭМС-устройства, как и интегральные схемы, изготавливают методом групповой технологии, когда на чипе размером с ноготь их умещается десятки тысяч. С учетом всего этого я создал цельный усилитель движения, который при соединении с электростатическим двигателем обеспечивал смещение в 20 мкм.

К 1998 г. у нас уже были вполне работоспособные моторчик и усилитель. Я отлично помню, как мы в лаборатории любовались своим детищем. Оно совершило более 10 млрд циклов без единого сбоя и, казалось, было готово

работать бесконечно. Но больше всего поразило то, что весь усилитель движения со всей его сложностью и гибкостью был изготовлен из одного кусочка поликристаллического кремния.

Гибкие летуны

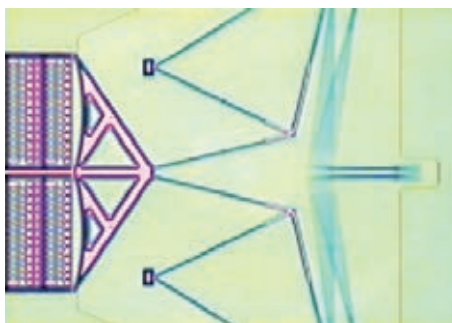
Среди множества интересующих меня областей науки и техники, связанных с проектированием гибких конструкций, одну я бы выделил особо: это морфинг, т.е. изменчивость формы. Способность быстро изменять форму во многом определяет эффективность работы природных систем. Сравните их с конструкциями неизменной формы, преобладающими в мире техники: трансмиссией автомобиля, крыльями самолета, двигателями, компрессорами, вентиляторами и т.д. Эти и почти все другие созданные руками человека машины и механизмы выдают все, на что способны, лишь при соблюдении весьма строгих условий, а в остальное время работают не на полную мощность. Предположим, что самолет летит из пункта А в пункт Б. В пути условия его полета — высота, скорость и даже вес по мере расходования горючего — изменяются, поэтому самолет почти все время летит не в оптимальном режиме. А вот птицы взлетают, садятся, парят и пикируют без особых усилий, просто изменяя форму крыльев в зависимости от ситуации.

В середине 1990-х гг. я поинтересовался, пытался ли кто-нибудь изменять форму крыла самолета в полете, чтобы повысить его эффективность. Ис изумлением обнаружил, что братья Райт на своем первом самолете опробовали крылья разного профиля, используя так называемую аэродинамическую кривую крыла. А потом мне

стало известно, что изменение изгиба крыла современных самолетов в соответствии с режимами и условиями полета десятилетиями оставалось для авиаинженеров труднейшей задачей. Итак, в одну прекрасную ночь я уселся за стол и попытался подступиться к ее решению.

Спустя несколько месяцев мне попала в газете заметка о разработках гибких крыльев, которые проводились в начале 1980-х гг. на авиабазе Райт-Паттерсон в Огайо. Конструкторы назвали свой проект «Крыло с изменяемой геометрией». Мне ничего не было известно о результатах их деятельности, но я убедился еще раз, что морфинг крыла — стоящая идея, и обратился к разработчикам с вопросом, не интересно ли им ознакомиться с моей конструкцией. Их реакция была весьма оптимистичной.

Они рассказали мне, что в большинстве вариантов трансформируемого крыла (если не во всех) применялись жесткие конструкции — сложные массивные механизмы со множеством мощных силовых приводов. Но однажды конструкторы предложили использовать



Для таких миниатюрных механизмов, как этот электромеханический усилитель движения, разработка мономорфных конструкций — насущная необходимость

для трансформации крыльев реактивного истребителя *F-111* гибкие панели. Аэродинамика крыла улучшилась, но конструкция оказалась слишком тяжелой и сложной в изготовлении, поэтому не нашла практического применения.

В этом для меня не было ничего удивительного. Чтобы создать пригодное для эксплуатации крыло с изменяемой геометрией, необходимо выполнить множество противоречивых требований. Крыло должно быть легким и в то же время способным противостоять многотонным нагрузкам в течение длительных полетов, простым в изготовлении и сборке, стойким к воздействию химически агрессивной среды, ультрафиолетового излучения и значительным перепадам температуры. Существовавшие в то время концептуальные подходы и компьютерное обеспечение не позволяли создавать цельные механизмы и агрегаты, оставляя энтузиастов наедине с их проблемами.

В проекте трансформируемого крыла, который я представил на рассмотрение инженерам авиабазы Райт-Паттерсон, использовалась упругость экспериментальных узлов и деталей, которые были изготовлены из стандартных для аэрокосмической отрасли материалов. Миниатюрный моторчик внутри крыла легко деформировал его, при этом оно сохраняло жесткость при значительных внешних нагрузках во время испытаний в аэродинамической трубе. Энтузиазм, с которым был встречен проект главными конструкторами базы Райт-Паттерсон, вдохновил меня на создание компании, чтобы расширить сферу применения гибких конструкций, что я и сделал в декабре 2000 г., назвав свое детище *FlexSys*.

Спустя шесть лет, существенно доработав изделие и проведя несколько успешных испытаний в аэродинамической трубе, мы получили прототип гибкого крыла, присоединяемого к нижней части фюзеляжа реактивного самолета-носителя *White Knight* компании *Scaled Composites*, и выполнили экспериментальные полеты над пустыней Мохаве. Крыло было оснащено датчиками для мониторинга подъемной силы и лобового сопротивления. Коэффициент подъемной силы варьировал в пределах от 0,1 до 1,1 без увеличения лобового сопротивления; использование всех преимуществ крыла с новыми гибкими закрылками обеспечивало до 12% экономии топлива. (Оснащение гибкими закрылками обычных крыльев повышало их эффективность на 4% и более.) Если учитывать, что гражданские авиакомпании США ежегодно расходуют около 60 млрд л топлива, такой на первый взгляд небольшой процент может на деле обернуться значительной экономией. Кроме того, конструкция крыла стала проще, в нем не было подвижных частей. В результате повысилась его надежность, улучшилось соотношение между весом и подъемной силой.

Настоящей проверке адаптивные самолетные крылья, которые принимают близкую к оптимальной форму при каждом заданном режиме полета (в том числе при маневрировании), подвергнутся тогда, когда гибкие управляемые поверхности полностью заменят обычные закрылки. Мы находимся буквально в нескольких шагах



Такие гидростатические устройства, как это, служат прототипами роботов-змей

от этой цели. В сотрудничестве с Исследовательскими лабораториями ВВС США *FlexSys* спроектировала и создала сплошную поверхность, которая огибает и охватывает крыло по всему его размаху, обеспечивая лучшие аэродинамические характеристики, чем обычные трудоемкие в изготовлении закрылки. Мы модифицировали бизнес-самолет *Gulfstream Aerospace GIII*, заменив стандартные закрылки нашей поверхностью с изменяемой геометрией *Flex-Foil* («гибкая фольга»). Я надеюсь, что кроме заметной экономии топлива разработка позволит снизить уровень шума самолета: по данным NASA, при посадке шум в основном создают завихрения, которые образуются на острых передних кромках и в зазорах между выпущенными закрылками и неподвижными частями крыла. Мы предусмотрели специальные переходные поверхности, устраняющие эти зазоры. Проведение испытательных полетов в Центре летных исследований NASA им. Нила Армстронга в Калифорнии запланированы на июль текущего года.

Рожденные ползать

В течение нескольких последних лет мы с аспирантами Джошуа Бишоп-Мозером (Joshua Bishop-Moser) и Гиришем Кришнаном (Girish Krishnan) занимаемся

созданием гибких конструкций по образу и подобию живых организмов, не имеющих скелета. Передвижение самых загадочных представителей этой специфической фауны, аннелид (кольчатых червей) и нематод, мы лишь начинаем понимать. Прекрасный пример для подражания — и такие более знакомые нам виды, как осьминоги.

Мягкотелые животные, например черви и осьминоги, лишены какого-либо скелета, но это не мешает им весьма энергично и даже грациозно передвигаться — в основном благодаря так называемым упругожидкостным свойствам тела. На языке техники их тела гидростатичны; они состоят из волокон соединительной ткани и мышц, окружающих заполненную жидкостью полость, где находятся внутренние органы. У большинства этих существ спиральные волокна многократно перекрещиваются и образуют структуру, которая противодействует давлению жидкости, возрастающему при сокращении мышц.

В мире животных существуют самые разные гидростатичные скелеты. Они есть у щупалец осьминога. Хобот слона состоит из плотно упакованных мышечных волокон, обвитых вокруг гидростатичного каркаса («ствола»). Укрепленная волокнами кожа угря работает как внешнее сухожилие, благодаря которому животное развивает огромную движущую силу, стремительно толкающую его вперед.

В своих исследованиях упругожидкостных свойств мы находимся в самом начале пути, однако полагаем, что элементы с такими характеристиками станут компонентами «мягких роботов» и других устройств, безопасных для человека и окружающей среды. Прежде всего они найдут применение в биопротезировании. Так, больные с ограниченной подвижностью в суставах вследствие их поражения либо повреждения кожи, мышц, связок могли бы использовать гибкие биопротезы в качестве тренажеров, которые постепенно разрабатывали бы суставы и возвращали им утраченную подвижность.

Гибкость, достойная похвалы

Фундаментальные исследования, которые я начал в 1992 г. в *Compliant Systems Design Laboratory* Мичиганского университета при содействии множества талантливых аспирантов, позволили разобраться в сути вопроса, накопить комплекс полезных знаний и выработать основополагающие методы проектирования. Эти аспиранты (их слишком много, чтобы перечислить всех поименно) теперь работают самостоятельно в самых разных местах: в Университете штата Пенсильвания, Иллинойском университете в Эрбане и Шампейне, Иллинойском университете в Чикаго, Университете Бакнелла, Лаборатории реактивного движения (ЛРД) NASA, Сандийских национальных лабораториях, Научно-исследовательской лаборатории ВВС США, в корпорации *KLA-Tencor*, компаниях *Ford Motor Company*, *FlexSys*, *Raytheon* и *Intel*. Ряд устройств, которые мы создали за эти годы, уже находятся на стадии коммерческой подготовки. Мы закончили тестирование и доработку литейных форм для цельных щеток стеклоочистителей лобового стекла

автомобилей, ведутся переговоры с автопроизводителями и поставщиками о выпуске подобных щеток для заднего стекла машин. Наши щетки изготовлены из термопластичного стеклополимера и одинаково хорошо работают как в жару, так и в холодную погоду, не ломаются и не коробятся, даже когда счищают снег и лед. Это более надежные, долговечные и дешевые в изготовлении устройства, чем любые другие их конкуренты.

Наши гибкие самолетные крылья уже сейчас готовы для коммерческого использования. Замена 15% эксплуатируемых ныне закрылок на закрылки с изменяемой геометрией для полета с крейсерской скоростью даст до 5% экономии топлива. Заменяв весь закрылок на бесшовный, предлагаемый *FlexSys*, можно рассчитывать на 12% экономии горючего. Вероятно, уйдет еще несколько лет на то, чтобы получить сертификат Федерального управления гражданской авиации, но, поскольку прибыль от производства гибких крыльев очевидна, мы уверены, что в будущем шарнирные закрылки будут заменены на всех типах воздушных судов с неподвижным крылом.

В любых устройствах и агрегатах, используемых сегодня в автомобиле- и приборостроении, медицине и сфере потребления, можно найти множество узлов и деталей, которые имеет смысл заменить на гибкие и цельные. Самая трудная для нас проблема — внедрение наших разработок в промышленное производство. Более широкое применение новаторских изделий, таких как цельные стеклоочистители, станет веским аргументом в пользу продолжения работ в области проектирования гибких конструкций. К сожалению, пока для такого проектирования не создано удобного в использовании программного обеспечения. Компания *FlexSys* в сотрудничестве с Национальным научным фондом ведет работу в этом направлении.

Потребуется годы, чтобы проектирование гибких конструкций завоевало умы и сердца инженеров и технологов, но мы полны уверенности, что так в конце концов и будет. Прочность, прецизионность, универсальность и эффективность, которыми обладают гибкие изделия, предоставляют конструкторам широкое поле деятельности для создания новых устройств, и недалек тот час, когда все мы оценим, насколько это полезное свойство — гибкость. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Better Bent Than Broken. Steven Vogel in *Discover*, pages 62–67; May 1995.
- Анимационный ролик о гибких механизмах Сридхара Коты см. по адресу: ScientificAmerican.com/may2014/elastic-design

Умные часы не у дел

Телефоном теперь можно управлять с помощью наручных часов.

Но так ли нам это нужно?



Современные производители электроники временами уподобляются стае леммингов, устройств бешеную гонку. Промышленность тратит миллионы долларов на электронные товары, которые никому не нужны. Компании ждут, что мы захотим подключить холодильник к Интернету и использовать телевизор для выхода в Сеть. Герой фильма «Поле его мечты» как-то произнес фразу: «Если создать что-либо, то появятся те, кому это нужно». Однако вряд ли можно сказать нечто подобное о современных гаджетах.

Поговорим об умных часах. Не стоит осуждать электронные компании за их разработку. Технологический прогресс всегда ведет к появлению все более миниатюрных механизмов. Память, процессоры, датчики, беспроводной Интернет — все это помещается в устройстве размером со спичечный коробок. Должно быть очень круто носить его на руке, не правда ли?

И да и нет. Начать с того, что миниатюризация еще недостаточно развита. Современные умные часы слишком громоздки. Гаджеты *Samsung Galaxy Gear* первой и второй модификации настолько тяжелы, что способны вызывать нарушение осанки. Другая проблема заключается в зависимости часов от смартфона. Именно смартфон

ОБ АВТОРЕ

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



принимает СМС, звонки и электронную почту, часы же выступают в роли пассивного приемника полученной информации. С одной стороны, это удобно: можно увидеть, кто звонит, не вынимая телефона из кармана. Вибрация часов не позволит пропустить важный звонок в шумном месте. С другой стороны, существует проблема несовместимости часов со смартфонами сторонних производителей. А часы, как мы помним, — это элемент одежды. Не имея возможности сочетать устройства разных производителей, мы лишаемся возможности разнообразить свое самовыражение.

Самая же большая проблема умных часов состоит в том, что сами производители не знают, для чего они нужны. Поместить компьютер на запястье не сложно. Гораздо сложнее ответить на вопрос, зачем его туда помещать? Какие функции, не доступные смартфонам, будут выполнять умные часы? Оповещать о звонках и сообщениях? Пожалуй, да. Позволят загружать уникальные приложения? Все современные часы, будь то мультиплатформенные *Pebble*, или *Sony*, или *Samsung*, способны работать с небольшими приложениями. Однако, судя по опубликованным данным, ничего уникального в этих приложениях нет. Позволят звонить без помощи смартфона? Сомнительно. Если в любом случае придется прислонять руку к уху, почему бы просто не достать телефон? Позволят делать фотографии с помощью скрытого объектива? Неужели в нашем мире недостаточно средств для шпионажа?

Есть функция, которая может быть действительно полезна: это фитнес-трекинг (наблюдение за параметрами физической подготовки). Устройства, подобные *Fitbit* и *Jawbone Up*, помогают с высокой степенью достоверности оценить периоды активности и отдыха и изменить свои привычки. Это не умные часы, а просто измерители шагов, но они действительно работают, и они востребованы. Наверняка по этой причине последний гаджет от *Samsung*, часы *Gear Fit*, имеет функции шагомера, а компания *Apple* активно сотрудничает с инженерами из *Nike*.

Тем не менее не стоит считать меня закоснелым ретроградом. Я верю в грядущий успех умных часов. Компания *Google* уже анонсировала создание специально разработанной операционной системы на базе *Android*. Вступление в игру такого гиганта, как *Apple*, породит невероятный всплеск конкуренции. В конце концов кто-нибудь обязательно выяснит, какую пользу может принести экран на руке, и волна популярности умных часов накроет нас — до тех пор, пока компьютеры не начнут имплантировать прямо в головы людей. ■

Перевод: А.В. Борейко

РЕВОЛЮЦИЯ

БЕЗ

ДЕФЕКТОВ



Манхэттенский проект, создание общей теории относительности, выход книги «Происхождение видов» Чарлза Дарвина — по сравнению с этими событиями прошлого кажется, что в современной науке не происходит ничего по-настоящему впечатляющего. Но великое видится на расстоянии.

Может быть, именно сейчас в десятках лабораторий по всему миру синтезируют органические материалы, способные произвести настоящую революцию в нашей повседневной жизни. Подробности — в интервью ведущего научного сотрудника ФИАН им. П.Н. Лебедева доктора химических наук **Валерия Михайловича Кобрянского**



**НОВЫЕ
Органические
материалы
ДЛЯ
Электроники
будущего**

— **Валерий Михайлович, вы говорите о грядущей революции в науке о материалах. С чем вы ее связываете?**

— Все началось примерно 50 лет назад. Тогда появилась работа Уильяма Литла, в которой предсказывалось, что на основе квазиодномерных органических полупроводников — полимеров с системой сопряженных химических связей или ион-радикальных солей — можно создать сверхпроводящие при комнатной температуре материалы. Это был настоящий шок для многих ученых. С тех пор были синтезированы сотни новых органических, полимерных и углеродных материалов, создано много новых научных центров, сделано огромное количество заявлений и, самое главное, истрачено колоссальное количество средств. По оценкам, на научные и прикладные исследования в области органических полупроводников и высокотемпературных сверхпроводников в целом пошло около триллиона долларов. Сказочная, мифическая сумма, но в результате почти ничего от этих разработок в реальной практике до сих пор нет.

— **Но есть же нобелевские премии — фундаментальное признание и в чем-то залог будущего успеха.**

— За эти работы было выдано как минимум пять нобелевских премий. И я говорю не только об Алане Хигере, который вместе с коллегами открыл проводимость полиацетилена: сюда же можно отнести графен Андрея Гейма и Константина Новоселова, работы по фуллеренам. Ожидания от всех этих материалов были исключительные, но пока они не оправдываются. Сравните с теми же неорганическими полупроводниками. Они появились всего на десять лет раньше органических, но сегодня с ними так или иначе связано уже 25% ВВП Земли: это колоссальная индустрия, триллионы долларов. А органические полупроводники и сегодня остаются на том же самом месте. По полиацетилену раньше выходило 5–7 тыс. статей в год, а сейчас только десять. Зато сегодня мы наблюдаем вал публикаций по графену, нанотрубкам и другим углеродным материалам, но пройдет время, и если ситуация не изменится, то тогда уже графен поменяют на какой-нибудь новый материал. Почему так получается? Потому что органические, полимерные и углеродные материалы обладают огромным количеством дефектов. Это химические примеси, неверно присоединенные химические связи, конформационные нарушения, субмолекулярные дефекты и дислокации. В современных неорганических полупроводниках доля дефектов составляет тысячные доли процентов, а в органических это, как правило, целые проценты.

— **И именно высокое количество дефектов в структуре — это ключевое препятствие для органических полупроводников?**

— Да. При этом в последние 20 лет появлялись отдельные работы, в которых ученые находили способы создания таких материалов с меньшим количеством дефектов. Но ситуация была такая: эти материалы обладали совершенно другими свойствами, нежели материалы, описанные в тысячах статей, посвященным свойствам стандартных материалов. В результате авторов этих

исследований часто обвиняли в искажении результатов или даже непонимании принципов измерения: не могут же одновременно ошибаться сотни признанных исследователей. Это я проходил на своем опыте. По моим оценкам за прошедшее время только 10–12 групп во всем мире научились создавать полимеры с системой сопряжения и углеродные материалы с низким содержанием дефектов. И знаете, что большая часть из них делала? То же самое, что и я: не публиковали результаты. Мы даже создали такое маленькое научное сообщество, которое видело единственный способ противостоить давлению научного объединения — скрывать результаты. Такая ситуация сохранялась очень долгое время. Она мне даже казалась безвыходной, потому что невозможно продавить стену из многих тысяч публикаций, бессмысленно рассылать свои низкодефектные материалы во все лаборатории мира на проверку. Но сейчас все поменялось — мы с вами беседуем, а сотни или даже тысячи химиков по всему миру, я убежден, пытаются использовать новые принципы синтеза для создания низкодефектных органических полупроводников и высокотемпературных сверхпроводников. Это начало революции в материаловедении. Скоро произойдет прорыв, и ученые не только решатся обнародовать свои результаты, посвященные свойствам низкодефектных органических полупроводников, но и начнут производить устройства на основе этих материалов.

Увидеть квантовые эффекты

— Гораздо важнее то, что три года назад произошли изменения в теоретическом взгляде на всю ситуацию. Оказалось, что если вести квантово-механические расчеты, что называется, из первых принципов, то на электронную структуру и свойства больших молекул начинает влиять один очень важный и ранее не учитываемый фактор — нулевые колебания.

— **Расскажите, пожалуйста, что это такое.**

— Это квантовые колебания. Если мы берем молекулу и охлаждаем ее до температуры 0° K, то она не уходит в нулевую энергию, как маленький остановленный маятник. Она будет продолжать колебаться. Метод измерения энергии нулевых колебаний в молекулах был предложен еще Альбертом Эйнштейном — это, кстати, была его единственная экспериментальная работа: ядра атомов и без кинетической энергии извне продолжают колебаться ровно так же, как электрон продолжает вращаться вокруг них независимо от температуры. Это квантовый эффект. Но если у вас, скажем, в полимерной молекуле много дефектов, то структура каждого ее звена будет отличаться и их нулевые колебания не будут согласованы между собой, а эффект нулевых колебаний станет заметен только в бездефектной структуре.

— **Мне всегда казалось, что нулевые колебания — почти абстрактная вещь.**

— Нулевые колебания абсолютно реальны. В одной из последних работ итальянского теоретика Андреа Марини, одного из лучших специалистов в этой области, обсуждается электрон-фононное взаимодействие в цепи

полиацетилена при нуле градусов Кельвина. Но что такое фонон? Квазичастица, квант колебательного движения. А что такое фонон при 0°K ? Получается, это нулевое колебание, ведь тепловых быть уже не может. При этом теоретические данные можно проверить. Сегодня есть короткоимпульсная фемтосекундная спектроскопия методом накачки-зондирования, которая позволяет увидеть возбужденные молекулярные колебания, и ее результаты для низкодефектных материалов демонстрируют отличную корреляцию с данными теоретических расчетов для нулевых колебаний.

— А можем мы увидеть какие-то отголоски этих нулевых колебаний в окружающем мире?

— Можем. Все мы знаем про алмаз: уникальный драгоценный камень с колоссальной теплопроводностью и массой других интересных свойств. Два года назад для него были проведены квантовые расчеты из первых принципов, которые показали, что до температуры 700°K там вообще нет тепловых колебаний кристаллической решетки. Только нулевые колебания. В значительной степени с этим и связаны чудесные свойства алмаза. При этом известно, что если его нагреть до $700\text{--}800^\circ \text{K}$ без доступа кислорода, а потом снова охладить, то алмаз сохранит все свои свойства. Но если проделать то же самое с кислородом — добавить таким образом дефектов в систему — то драгоценный камень исчезнет и станет вполне обычным материалом. Вот такой уникальный, созданный природой материал, в котором квантовые нулевые колебания реально проявляются при ненулевой температуре.

Синтез по примеру природы

— Как можно синтезировать низкодефектные органические полупроводники в лаборатории?

— Для этого мы используем, можно сказать, принципы синтеза, принятые в живых организмах: стереоспецифический катализ и матричный синтез. Внешне это — только не смейтесь! — очень похоже на то, как курица высидывает яйцо. Изначально есть гелеобразная среда, похожая на белок. В этой высоковязкой системе практически исключены случайные фазовые переходы и сторонние реакции. Потом надо взять стереоспецифический катализатор, который сам умеет выкидывать ненужные молекулы, отличать правое от левого и «хорошее» от «плохого». Кроме того, нужно использовать принцип матричного синтеза, когда по образцу первой молекулы в точности воспроизводятся все остальные. Здесь всегда происходит самосогласование, и процесс выглядит так: ты что-то сварил, поставил в холодильник и очень долго не трогаешь. Курица высидывает яйцо. Но можно раз в неделю вынимать образец и, например, оптическими методами наблюдать постепенное увеличение порядка в системе.

— А что имеется в виду под порядком?

— Один очень именитый ученый мне говорил, что порядок в биологических системах — это божеское дело, а физики занимаются кристаллами. Что такое порядок в кристалле, я уже знал тогда. Но в биологическом



Установка для анализа оптических свойств высокоупорядоченных сопряженных полимеров и углеродных материалов при помощи фемтосекундной спектроскопии методом накачки-зондирования

объекте? И лучше он или хуже? Сегодня мы точно знаем, что кристалл гораздо хуже, потому что порядок в нем — это только упорядоченная расстановка атомов, а порядок в биологических системах — это не только правильная расстановка атомов, но и синхронизация их нулевых колебаний. Живая природа умеет достигать такого эффекта и в органических полимерных материалах, а мы пока только учимся.

— Какими свойствами будут обладать такие упорядоченные синтетические материалы и где их можно будет применять?

— Самыми разными свойствами, многие из которых еще нельзя предсказать. Но если вернуться к алмазам — знаете, как их выделяют среди остальной породы?

По специфическому сигналу комбинационного рассеяния. Что это такое, сейчас в детали вдаваться не буду, но для этого на конвейерах установлены специальные спектрометры, которые могут распознать алмазы среди ненужной породы. У синтезированного в нашей лаборатории низкодефектного полиацетилена этот сигнал не только на шесть порядков превышает значение для обычного полиацетилена, но и на три-четыре опережает гигантское комбинационное рассеяние в алмазе. Для чего это можно использовать? Например, делать уникальные метки для защиты ценных документов от подделки. Спектр комбинационного рассеяния сопряженных полимеров состоит из многих полос, и подделать его очень трудно, а сильный сигнал позволит анализировать его на простом и дешевом оборудовании. Такая вот простая идея применения. Но есть и куда более важные прикладные области: например, бездефектные сопряженные полимерные материалы по теоретическим предсказаниям могут отражать рентгеновское и гамма-излучение.

— **За счет чего?**

— Представьте, что вы посылаете гамма-квант. Через материал с несогласованными нулевыми колебаниями, вырождающимися в беспорядочные тепловые, он легко проникнет. Но если колебания согласованы? Грубо говоря, он не сможет преодолеть их все сразу и будет отражен. Фактически впервые за время, прошедшее после создания ядерного оружия, появится реальная защита от гамма-радиации не в виде свинцовых кирпичей. Ведь свинец не отражает радиоактивное излучение, а просто поглощает его с повторным переизлучением вторичной радиации. Эта разработка, например, крайне полезна для космических кораблей, где нужно защищать технику и людей от мощных фонов космического излучения. Очень важным мне кажется и создание острофокусированных источников рентгеновского и гамма-излучения для лечения онкологических заболеваний.

— **Валерий Михайлович, какие бездефектные органические материалы были получены в вашей лаборатории?**

— Про один из них, нанополиацетилен, я уже упоминал. Интересно, что первый образец такого полимера с количеством дефектов на уровне сотых-тысячных долей процента потребовал пяти лет тяжелой работы, второй — уже только года, а последний образец, который был синтезирован совсем недавно, создавался в течение лишь месяца. Я считаю, что в создании самой концепции синтеза мы точно достигли исключительных успехов, а уникальные свойства нанополиацетилена, в которые многие до сих пор не могут поверить, были подтверждены результатами из 20 российских и зарубежных лабораторий.

— **А какие-нибудь еще материалы? Те же самые углеродные нанотрубки или графен — хиты современных исследований?**

— Углеродные материалы с низким содержанием дефектов синтезировать достаточно трудно. Это, как правило, высокотемпературный синтез, и они почти всегда

плохо, несамосогласованно упаковываются в пространстве. Например, сегодняшние нанотрубки представляют собой смеси макромолекул различной хиральности. Разная хиральность — это разная запрещенная зона, разная проводимость и разные механические свойства. Но мы научились разделять нанотрубки по их хиральности. По первым измерениям у таких образцов получаются уникальные свойства. Они проявляют электромеханический эффект: при подведении напряжения к нанотрубке в ней возникает высокочастотная механическая вибрация. Раньше этот эффект наблюдали только на единичных молекулах, а мы просто берем наноккомпозит с трубками одинаковой хиральности и видим там электромеханический эффект на макроуровне. В этой области можно создавать различные устройства для превращения электрических колебаний в механические, пьезодатчики.

— **Неужели вы не будете публиковать и эти результаты?**

— Будем. Замалчивание в прошлом. Но повторюсь: свойства таких материалов по всем параметрам отличаются от обычных. Есть, скажем, 10 тыс. работ по свойствам классического полиацетилена, и во всех работах эти свойства примерно одинаковы. У всех образцов более-менее сходные характеристики, сигналы и т.д. Например, чтобы снять спектроскопию, всегда берут очень тонкую пленку в 1 тыс. нм, или лучше в 100 нм. Мы же готовили образцы толщиной в полмикрометра и наблюдали в них окно прозрачности почти как у кремния. Это все из-за отсутствия дефектов, которые в обычных материалах приводят к поглощению света даже в тех спектральных областях, где его быть не должно.

Грядущий век органических полупроводников

— **Вы много говорите о новых применениях. А в более привычных для органической электроники устройствах — фотоэлементах, транзисторах, светоизлучающих диодах — новые материалы могут быть полезны?**

— Если есть материал без дефектов, то все, что с ним ни придумаешь, будет лучше. Мало дефектов — мало тепловых колебаний. Нет тепловых колебаний — нет окисления, деструкции. Например, обычный полиацетилен живет 20 минут, а мои образцы — по 10–15 лет. Поэтому если я сделаю на их основе фотопреобразователь, то он будет работать не полдня, а гораздо дольше. Даже скромных параметров эффективности стандартного полиацетилена в несколько процентов уже достаточно для коммерческого применения, которое ограничивает только низкая стабильность. Появятся принципиально новые классы полимерных полупроводников и полимерных материалов вообще — например, вполне возможны обои, которые будут и свет излучать, и энергию вырабатывать, и цвет менять по вашему настроению.

— **А вместе с ними появятся и нобелевские премии?**

— Нобелевские премии — это мелочи. Их давали даже за плохие, неэффективные материалы, но нельзя

представить премию за материал, который реально важен для всего человечества. Например, за кремний. Вообще в истории человечества было не так уж много знаковых материалов — бронза, сталь, цветные металлы. Был бронзовый век, железный, теперь век неорганических полупроводников, но скоро мы их переживем. Это и есть революция, о которой я говорил. По большому счету нельзя было предсказать в 1935 г., какое значение получат неорганические полупроводники, а сейчас такая же ситуация с органическими. Пока не начнем их массово выпускать, делать устройства, до конца так и не узнаем и не поймем их уникальных свойств.

— **Кстати, вы все время сравниваете новые материалы со «старыми» органическими полупроводниками. А если сравнивать с неорганикой?**

— Низкодефектные органические полупроводники имеют огромное количество преимуществ по сравнению с неорганическими. И одно из самых принципиальных — это как раз то самое самосогласование в процессе синтеза. Представьте опять яйцо. Что будет, если поднять или опустить температуру окружающей среды на несколько градусов? Все равно из него появится цыпленок, пройдет этот сложнейший, невероятный синтез, когда в результате получится живое существо. То же самое будет и с нашими материалами: если взять вязкую среду, стереоселективный катализатор и матричный синтез, то незначительное изменение температуры не сможет принципиально навредить правильному процессу. Возможно, свойства получившегося материала будут немного похуже, но все равно они будут в тысячи раз лучше своих обычных аналогов. Для неорганики такую устойчивость синтеза представить тяжело.

— **То есть в этом смысле синтез органических полупроводников гораздо легче контролировать?**

— Да. Даже в рамках обычного подхода — без внимания к дефектам — характеристики органических полупроводников за прошедшие годы улучшились на порядки. Если бы построить нормальные установки, на которых можно проводить синтез, поддерживая все параметры с точностью в одну сотую процента! Это наша мечта сегодня. И она, надеюсь, скоро воплотится в ФИАН, где мы начали создавать лабораторию, стандарты чистоты которой будут близки к условиям синтеза кремния или даже к стандартам биологических лабораторий. Именно в таких условиях можно получать материалы, способные пойти в производство. Способные, например, заменить привычные источники энергии. Чтобы, наконец, уже можно было не жечь нефть, не выбрасывать грязь в атмосферу, а преобразовывать в энергию солнечный свет при самых минимальных потерях. Но это только одна цель — глобальная цель с точки зрения человечества. Когда я смотрю на все это как человек, который создает материал, то больше всего мне хочется узнать, что стоит за всеми его уникальными свойствами. Я понимаю, что до конца сделать это не удастся никогда, но очень хотелось бы. ■

Беседовал Михаил Петров



! Справка

Валерий Михайлович Кобрянский

- ✓ В 1967 г. окончил Институт тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова.
- ✓ С 1967 по 2007 г. был сотрудником, а затем заведующим лабораторией проводящих полимерных материалов в Институте химической физики РАН им. Н.Н. Семенова.
- ✓ В 1992 г. работал в США в лаборатории лауреата Нобелевской премии Алана Хигера.
- ✓ В 1993 г. защитил докторскую диссертацию.
- ✓ В 2001–2002 гг. работал в США в лаборатории новых материалов авиабазы Райт-Паттерсон в Дейтоне, штат Огайо.
- ✓ С 2008 г. — ведущий научный сотрудник Физического института РАН им. П.Н. Лебедева.
- ✓ В 2011 г. организовал компанию ООО «Суперматериал», которая стала резидентом Сколково.
- ✓ С 2014 г. — организатор проекта «Разработка технологического комплекса для создания сопряженных полимеров и углеродных материалов с очень низким содержанием дефектов».



atomexpo

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НОВОЙ ЭПОХИ

С 9 по 11 июня в Москве прошел VI Международный промышленный форум «АТОМЭКСПО-2014». В рамках форума были представлены новейшие российские разработки и технологии. Обо всех новинках мы беседуем с представителями научно-исследовательских центров, непосредственно принимающих участие в создании новых, порой уникальных материалов

Невозможный композит

Азамат Юрьевич Беданков
и Бетал Заурбекович Бештоев,
ОАО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»,
лаборатория супрамолекулярных
систем и многокомпонентных
композиционных материалов



А.Б.: на выставке представлены образцы безгалогенового полиолефинового композита, который не распространяет горение. Более того — и это самое важное в его характеристике — он нетоксичен в условиях пожара, т.е. не выделяет отравляющие газы и компоненты, которые могут быть смертельно опасными для человека. Последние яркие примеры инцидентов с пожарами с летальными исходами — «Хромая лошадь», бразильский клуб Kiss. Основная причина гибели людей при пожарах — выделение ядовитых компонентов как раз из полимерных кабельных оболочек. Прежде всего это ПВХ, поливинилхлорид, который выделяет фосген и другие диоксины, смертельно опасные для человека. Поэтому была поставлена задача разработать композит, который можно использовать в кабельной промышленности и в строительстве, не содержащий галогенов.

— **То есть получается своего рода универсальный материал?**

А.Б.: Да. У нас есть ряд рецептов, композитов: вот эта рецептура для кабелей, отдельная рецептура для строительства, под каждую задачу мы готовим свою рецептуру. Этот материал используется в алюминиевых сэндвич-панелях: два слоя алюминия, а средний слой — это как раз наш композит.

Б.Б.: Внесу уточнение. У нас материалы абсолютно разные, но общее у них то, что они все огнестойкие, безгалогенные — и экологически безопасные.

А.Б.: Основной антипирен, т.е. вещество, которое препятствует горению, — гидроксид магния; это не секрет, и многие производители его используют. Требуется достаточно большое количество гидроксида магния, чтобы композит стал негорючим и пожаробезопасным. В наших композитах его содержится примерно 60–70% по массе. Вся задача заключалась в том, чтобы наполнить полиолефины таким большим количеством гидроксида магния и чтобы он при этом сохранил свою гибкость, физико-механические свойства, а также был технологичным, удобным для переработки. Это задача довольно сложная, и нам удалось с этим справиться — вы видите, он достаточно гибкий и прочный.

Б.Б.: Некоторые ученые, когда увидели это в первый раз, сказали: «Это неправда, этого просто не может быть».

— **Почему не поверили?**

А.Б.: Если вы скажете любому композитчику, что здесь 70% гидроксида магния, он ответит: «Да он должен просто разваливаться, быть хрупким». А он не разваливается.

— **За счет чего удалось добиться такой гибкости?**

А.Б.: Присутствуют специальные добавки, компоненты, которые представляют собой часть ноу-хау, поэтому мы вслух об этом не говорим; некие компатибилизаторы, совместители, которые позволяют улучшить перерабатываемость. Сам процесс получения подобных композитов происходит на экструдерах специального типа, которые позволяют получать высоконаполненные композиты.

— **Насколько это уже доступно? Или это пока только в стадии разработки?**

А.Б.: На данный момент мы запустили опытно-промышленное производство в институте и ведем переговоры с рядом российских компаний. Необходимо произвести опытные партии для промышленных испытаний. Помимо отечественных компаний есть и международные гиганты, которые тоже проявили интерес к этой разработке.

Б.Б.: Важно, что интеллектуальная собственность вся защищена, она принадлежит «Росатому» в лице НИФХИ им. Л.Я. Карпова. Мы готовы, в принципе, к масштабированию, но сейчас ведем переговоры с пулом потребителей.

— **Есть какое-то название, бренд у этого композита?**

А.Б.: Мы придумали марку *iCopol*, но она еще не зарегистрирована.

— **Что еще разрабатывает ваша лаборатория?**

А.Б.: Например, древесно-полимерные композиты. Задача состоит в том, чтобы получить огнестойкий древесно-полимерный композит. Сами по себе древесно-полимерные композиты, так называемые ДПК, известны, их рынок в России растет очень быстро. Сфера применения ДПК огромна. В России ожидается, что основной сферой применения нового материала станет строительство, где будет полностью удовлетворен растущий спрос на высококачественные строительные материалы. Кроме того, ожидается, что широкое применение древесные композиты найдут в автомобильной отрасли и в производстве

мебели (в том числе уличной). Кроме того, отличительной особенностью конечного продукта станет уникальное сочетание эксплуатационных характеристик, таких как огнестойкость, устойчивость к воздействию влаги и микроорганизмов, высокие физико-механические свойства и др. Огнестойкие литиевые ДПК пока никто не делает, мы в этом плане хотим быть пионерами.

Радионуклиды для здоровья

Наталья Владимировна Зорина,
Владимир Робертович Дуфлот,
Валерий Иванович Степанов, ОАО
«НИФХИ им. Л.Я. Карпова»



В.З.: На сегодня мы производим и поставляем, в основном на внутренний рынок, полную линейку реакторных радионуклидов и радиофармпрепаратов медицинского назначения. Производятся три различных модификации генераторов технеция-99m для диагностики онкологических заболеваний, широкая группа продукции с йодом-131 для диагностики и терапии, а также радиофармпрепарат на основе самария-153, применяемый врачами для полиактивного лечения костных метастазов. Организовано производство экспресс-теста на основе углерода-14 для неинвазивной диагностики желудочно-кишечного тракта. На нашем предприятии реализован полный цикл — от изготовления мишеней, выделения целевых радионуклидов, синтеза фармацевтических субстанций, получения собственно радиофармпрепарата, фасовки и т.д. до утилизации отходов. Изготовление защитных транспортных контейнеров происходит тоже у нас.

— Эти изотопы уже применяются сегодня?

Н.З.: Естественно, применяются. И, кроме того, разрабатываются новые радиофармпрепараты.

В.Д.: Мы — основной производитель в Российской Федерации медицинских радиофармпрепаратов на основе реакторных радионуклидов. Около 98% генераторов технеция-99m на отечественном рынке выпускает наше предприятие. Мы до недавнего времени полностью обеспечивали семейством радиофармпрепаратов с йодом-131 клиники России, но сейчас эта доля немного уменьшилась. Предприятие выступает эксклюзивным производителем радиофармпрепарата самарий-153, оксабифор. Его применение клиниками постоянно растет. С помощью наших партнеров мы также стремимся выйти на зарубежный рынок по всему ассортименту нашей продукции, а один из радионуклидов поставляется за рубеж.

Мы осуществляем также разработки новых радиофармпрепаратов. В частности, сейчас предприятие выполняет госконтракт Минобрнауки по доклиническим исследованиям радиофармпрепарата метайодбензилгуанидина с йодом-131. Это терапевтический препарат, предназначенный для лечения целого спектра заболеваний, в том числе и у детей. За рубежом он очень широко используется, а у нас, на отечественном рынке, его пока нет. Есть и много других задумок: например, самоколлапсирующие радиофармпрепараты для лечения разных заболеваний.

— Звучит впечатляюще...

В.Д.: Это полимерный носитель радионуклида, который при комнатной температуре представляет собой маловязкий водный раствор, а при введении интратуморально, т.е. в опухоль, при нагревании за счет тепла человеческого тела он коллапсирует в полимерный гель, сгусток, который становится источником локального облучения. Есть еще другие задумки, которые мы в кооперации с предприятием ЗАО «Наука и инновации» пытаемся сейчас разработать и довести до доклинических испытаний, а потом уже и клинических.

— Как обстоит дело с государственной поддержкой?

В.С.: Современная действительность бросает новые вызовы, в том числе и предприятиям фармацевтики. С этого года по требованиям законодательства Российской Федерации все предприятия должны перейти на выпуск фармпрепаратов по требованиям GMP, т.е. «правильной производственной практики». Такую работу мы тоже начали, у нас идет ввод в эксплуатацию нового участка зарядки генераторов технеция, в планах стоит создание нового цеха радиофармпрепаратов на основе йода и самария. Работа очень большая, требующая поддержки государства. Но на сегодня такой поддержки пока нет, мы прямо об этом говорим, и предприятие вынуждено проводить эту работу само, за свои или кредитные средства. Данное направление ядерной медицины востребовано во всем мире, но по сравнению с США и Европой мы отстаем по обслуживанию, по диагностике и по лечению в десятки раз. Это связано в том числе и с недостаточным вниманием Минздрава к этой проблематике, к переводу предприятий на новые рельсы. Но мы работаем, стараемся идти в ногу со временем. Сейчас мы уже создали полное досье на такую активную

субстанцию, как молибден-99, который востребован во всем мире, и этот изотоп, в частности, мы продаем на постоянной основе за рубеж.

— **Это хорошо, значит, есть перспективы.**

В.С.: Безусловно. И у нас есть новые заказчики, так что молибден нашего предприятия, я думаю, разойдется, не ограничиваясь только одной страной.

Сверхчистые кристаллы для электроники

*Марат Фатыхович Булатов,
директор ОАО «Гиредмет»*

М.Б.: «Гиредмет» — государственный научный центр с большой историей: он был создан в 1931 г. В исторической ретроспективе «Гиредмет» тесно связан с атомной промышленностью. Впервые в СССР в институте были проведены работы по получению урана, плутония, циркония, бериллия, тантала. После образования Министерства среднего машиностроения «Гиредмет» продолжал исследования материалов, представляющих собой неотъемлемую часть атомных проектов, — циркония и гафния, редкоземельных металлов, высокочистых ниобия, тантала и титановых сплавов, сплавов редких металлов.

Невозможно переоценить достижения института в области разведки месторождений, переработки сырья и в получении в 1944 г. первого советского чистого металлического урана. Разработанные институтом технологии уранового производства не устарели и сейчас.

Сейчас мы производим разного типа кристаллы: арсенид галлия, арсенид индия, антимонид галлия, антимонид индия, германий. Это полупроводниковые материалы, которые используются как основная компонентная база для материалов в электронной технике. Это основа основ, на которой создаются микросхемы и другие объекты. Есть и другие материалы, которые используются в качестве датчиков, разного типа кристаллы на основах таллий-йод, таллий-бром и др.

— **Кто-нибудь еще у нас производит подобную продукцию?**

М.Б.: Такой же материал выпускают в Германии, в Австралии и в США, но нужно отметить, что количество выпускающих организаций в России можно посчитать на пальцах одной руки. Поэтому мы сейчас основные производители этих полупроводниковых материалов на российском рынке.

— **Каковы основные задачи по усовершенствованию производства?**

М.Б.: В данный момент мы работаем над вопросом, как уменьшить дефектные структуры. Стараемся, чтобы они по производственным параметрам, по себестоимости становились дешевле, чем кристаллы, которые выпускаются.

Нашей организацией, помимо того что мы выпускаем готовую продукцию, проводятся исследования. По сути своей научно-производственной деятельности «Гиредмет» — единственная в России организация

материаловедческого профиля, самостоятельно реализовывавшая по своему направлению в полном объеме цикл «наука — технология — конструирование оборудования — проектирование производств».

Поэтому если говорить о тех кристаллах, которые вы видите, это уже готовая продукция: кристаллы нарезаются на тонкие подложки, а потом шлифуются. Далее



этот материал уже становится компонентной базой для электронной техники. Другие материалы, например термоэлектрические, которыми мы тоже занимаемся, обладают довольно серьезными конкурентными преимуществами. Сейчас, например, к нам обратились коллеги из компании Nissan, чтобы наши материалы можно было использовать для переработки тепла, которое вырабатывается в моторном отсеке автомобиля: т.е. получается, что за счет разности температур можно получить электрический ток и использовать его по назначению.

В области наноматериалов и наносистем «Гиредмет» разработал нанодисперсные порошки редких металлов и их соединений высокой чистоты, нанопористый углерод, кремнийсодержащие нанокристаллические материалы, материалы для солнечной энергетики на основе нанокристаллических оксидных полупроводников, наноматериалы для спинтроники.

Есть наноматериалы, которые можно использовать в качестве основы для 3D-принтеров. Сейчас 3D-принтеры в основном используют полимерные материалы, но в настоящее время ведутся работы, чтобы получать уже готовые объекты на основе сплавов, в том числе определенные детали для авиастроения.

— **Какие еще направления у вашего института помимо кристаллов?**

М.Б.: Мы в основном занимаемся проектированием заводов по переработке редкоземельных металлов. По разработкам института построено 22 химико-металлургических комбината и более 100 отдельных производств редких металлов и полупроводниковых материалов.

Сейчас идет модернизация многих заводов, и мы в этом активно участвуем. Понятно, что главенствующее звено в деятельности «Гиредмета» — тема, связанная с редкоземельными металлами, поэтому институт и называется «Гиредмет», т.е. институт редкометаллической промышленности. Мы получаем материалы, перерабатываем редкие металлы и получаем материалы особой чистоты, которые используются дальше в промышленности и производстве. И мы именно такой институт, который доводит идею до конечного потребителя. Наука не только для науки, а имеющая конечного потребителя, т.е. происходит коммерциализуемость продукции. Если мы занимаемся исследованиями, то сразу стараемся находить конечных потребителей. Нами были построены три завода по поликристаллическому кремнию в Китае общей мощностью более 4 тыс. т в год, а сейчас мы рассматриваем возможность постройки заводов по производству поликристаллического кремния в Российской Федерации. Получение особо чистого кремния для его дальнейшего использования в электронной и солнечной промышленности — довольно сложная задача. Поэтому в Российской Федерации нет таких заводов с большим объемом для производства поликремния электронного качества, и мы сейчас занимаемся возможностями реализации этого большого проекта.

Есть и другие материалы, которые используются для приборов ночного видения, работающих в инфракрасном диапазоне, тепловизоров. Диапазон направлений деятельности института довольно широк, и нам было бы интересно всегда взаимодействовать с нашими возможными потребителями, потому что мы материаловедческий институт и выпускаем в основном материалы. Если наши коллеги занимаются приборной тематикой, то они собирают все приборы на основе наших материалов. Даже все телефоны, диктофоны и другие приборы сначала используют именно эти компоненты в виде кристаллов.

Химия материалов

*Алексей Александрович Гнездов,
начальник группы внутренних
и внешних коммуникаций ОАО
«ВНИИХТ»*

А.Г.: Одна из наиболее интересных разработок института — установка «Градобой». Это мобильная система для очистки поверхностей помещений и оборудования от различных загрязнений, в том числе радиоактивных. Принцип работы установки основан на использовании энергии ускоренного потока ледяных гранул. Предлагаемое оборудование обладает значительными преимуществами перед существующими современными способами дезактивации и детоксикации поверхностей, такими как пескоструйная чистка, криогенный бластинг и др. Начнем с того, что ни одна из представленных в настоящее время на рынке технологий не обеспечивает полную

дезактивацию поверхности. Тестовые испытания установки «Градобой» подтвердили возможность полной очистки различных поверхностей от радиоактивных загрязнений. С другой стороны, установка очень экономична в использовании: требуются только вода, электричество и один человек — оператор.

«Градобой» — своего рода рекордсмен и по обеспечению экологической безопасности процесса. В процессе очистки поверхностей с помощью пескоструйной техники обрызгивается большое количество радиоактивной пыли — мелкие частицы оседают на поверхностях. Персонал, даже используя специальные средства защиты, подвергается риску серьезных легочных заболеваний. В случае криогенного бластинга образуется радиоактивный туман, загрязняющий все окружающее пространство. Использование «Градобоя» позволяет полностью избежать таких проблем, а применение в процессе очистки сорбентов, разработанных во ВНИИХТ, обеспечивает замкнутый водооборот и получение рекордно низкого количества твердых радиоактивных отходов.

— Странно, что раньше до этого не додумались, идея-то лежит на поверхности.

А.Г.: Предлагаемый подход к решению проблемы дезактивации поверхностей действительно новаторский и не имеет мировых аналогов. Идея создания данного оборудования была навеяна проблемами, с которыми сталкиваются предприятия отрасли. Так, например, фрагменты лодочек для прокатки урана — очень дорогостоящий материал — обычно после использования утилизируются. Степень очистки лодочек, достигнутая с помощью установки «Градобой», делает возможным возврат использованных молибденовых лодочек в производственный цикл.

Вот еще одна установка — для обогащения руд, универсальный многостадийный сепаратор УАС. Он производит сортировку и обогащение руды в зависимости от качественных характеристик сырья, используя специальные алгоритмы вычислений — радиометрический, фотометрический, рентгенорадиометрический, люминесцентный, по объемам, по весу — практически по любым параметрам, чтобы на выходе получить нужные товарные концентраты, разделенную на сорта руду, отвальные хвосты. Автоматические методы обеспечивают предварительное обогащение руд за счет выведения из процесса переработки до 45% породы с отвальным содержанием полезных компонентов.

Во ВНИИХТ также нарабатан колоссальный потенциал в области создания ионообменных материалов, использование которых ведется с момента зарождения атомной отрасли. Сейчас институт — держатель уникальных технологий высокой степени готовности, направленных на получение целого ряда специальных ионообменных смол. Для выделения урана и других металлов, для получения чистых соединений, сопутствующих урану, — молибдена, рения, скандия, РЗЭ, для водоочистки, для водоподготовки, например для ТЭЦ и АЭС, — везде используются ионообменные смолы со специальными характеристиками.

Еще один наш продукт — композиционные полировальные порошки на основе наноструктурированных оксидов редкоземельных и редких металлов для особой точной оптики и оптоэлектроники. Порошки ультрадисперсны: минимально возможный размер зерен —



0,1 мкм. Они используются для полирования изделий любого размера, от полупроводниковых чипов до телескопических зеркал, и из любых материалов — стекла, кварца, ситалла, керамики. В настоящее время отечественное производство высокоэффективных полирующих материалов отсутствует, на рынке представлены дорогостоящие импортные порошки. Однако у производителей особо точной оптики имеются серьезные нарекания к импортной продукции. Технология ВНИИХТ позволяет синтезировать порошки со специально сформированными морфологией и микроструктурой под индивидуальные потребности заказчиков. Не в пример импортным аналогам порошки ВНИИХТ имеют минимальное отклонение $\leq 0,1$ мкм в рамках одной партии товара.

Особого внимания заслуживают и ультрадисперсные поликомпонентные порошки на основе редких металлов с исключительно высоким уровнем гомогенности: отклонение химсостава — 0,1%. Данный показатель у существующих аналогов колеблется в пределах 10–100%, что особенно пагубно сказывается на эффективности процессов микролегирования. В настоящее время возросла потребность в высокоомогенных поликомпонентных порошках для изготовления конструкционных и функциональных материалов с улучшенными потребительскими свойствами: увеличенной жаропрочностью, жаростойкостью, радиационной и коррозионной стойкостью, коэрцитивной силой, повышенным сроком службы. Уникальная технология ВНИИХТ не только позволяет в полной мере решить данную проблему, но и обеспечивает высокую эффективность производственного

процесса, снижая себестоимость производства как минимум на 30%. В качестве одной из наиболее интересных перспектив использования данного материала рассматривается применение порошков в качестве расходного сырья для реализации аддитивных технологий.

Композит вместо стали

*Георгий Владимирович Чесноков,
ОАО «НИИГрафит», главный
специалист проектного офиса*

Г.Ч.: Наше структурное подразделение занимается внедрением композитных материалов в строительство, т.е. от работ нулевого цикла и до поверхностного комплекса, в том числе при усилении существующих конструкций зданий и сооружений. А одно из наших направлений — это устройство шпунтовых ограждений и свайных фундаментов, где вместо стальных стандартных классических материалов применяются композитные.

— **Что это дает?**

Г.Ч.: Традиционные стальные материалы по стоимости схожи именно с композитными материалами, но по долговечности использования возникают вопросы: в случае если это будет берегоукрепление, связанное именно с водой, с агрессивными средами, металлический шпунт начнет корродировать. Наш композитный материал коррозии не подвержен, т.е. гарантированно можно сказать, что 50 лет он простоит без изменений и выдержит любые природные факторы — свет, воду, температуру. Существуют также разные технологии — пултрузия, вакуумная инфузия.

Новое направление, которое мы берем, это два материала: из стекла и из углеродной нити сплетены чулки с углом наклона нити к продольной оси 45° . То есть диапазон может быть от 15° до 80° в зависимости от требуемых параметров. В результате в полученный чулок заправляется форма, надувная оправка, которую после надутия преобразуют в круглую форму, и после полимеризации получается круглая конструкция. Эта технология позволяет изготавливать различные закругления. Мы собираемся в 2016 г. полностью подготовить проектную документацию и в 2017 г. построить референтный объект — малопролетное мостовое сооружение в реальных условиях, в населенном пункте. Данная программа разработана совместно с Минпромторгом, который выступил заказчиком. Вторая наша программа — по шпунтовым ограждениям, тоже связанная с Минпромторгом, — применение композитных шпунтовых ограждений для строительства на больших глубинах. Помимо этого представлены ламинаты, которые позволяют обклеивать существующие разрушенные конструкции, чтобы их усилить. Выполнен ряд референтных объектов в Пензенской области на заводе «Старт» в городе Заречном. Там произвели обклейку железобетонной колонны, ригелей перекрытий, и в результате проекты,

которые выполнены по данной технологии, прошли государственную экспертизу. Нашим институтом разработаны своды правил для применения композитных материалов, усиления стальных конструкций.

— **Сравнимы ли эти композиты со стальными конструкциями по прочности?**

Г.Ч.: Композитный материал при растяжении может спокойно заменить стальную арматуру, при этом увеличив срок эксплуатации существующего здания. На растяжение он прочнее в два, в три, в четыре раза — в зависимости от марки. Но есть и своя специфика: в стандартных железобетонных конструкциях стальная арматура всегда рассчитывается на растяжение, сама железобетонная конструкция — на сжатие. В нашем случае, если мы будем правильно применять материал, то можем добиться полной замены стальной арматуры на композитную.

Медицинский графит

*Гульнара Харисовна Аберяхимова,
ОАО «НИИГрафит», советник
директора по стратегическим
проектам*

Г.А.: Еще в 1980-х гг. учеными в «НИИГрафите» было обнаружено уникальное свойство углерода — биосовместимость. Весь мир в развитии углеродного волокна пошел по пути ПАН-волокна, полиакрилонитрила, потому что он дает наибольшую прочность, наибольший модуль упругости. Углеродное волокно на основе вискозы не дает такого модуля упругости, поэтому развивать эту технологию в мире не стали. Для авиационной промышленности, для космоса — всем интересна прочность углепластиков. Но случайно обнаружили, что та самая вискоза, хотя она не дает прочности, обеспечивает биосовместимость для человека. Что это значит? Что имплантат из углерода, попадая в тело человека, провоцирует рост собственных тканей, и чем дольше углеродный имплантат находится в человеке, тем прочнее он вживляется в организм. Удивительное свойство.

Здесь представлена углеродная синтаксическая пена, которой в принципе можно заменять любую травмированную часть организма, если, допустим, в этом месте должна быть кость. Врач может выпилить нужную конфигурацию, углеродная пена обрастет, в нее прорастает соединительная ткань, и она превращается в костную ткань. Если организмом там предусмотрен хрящ, то соединительная ткань превращается в хрящевую ткань.

У нас есть достаточно интересный, в некоторой степени уникальный продукт — атравматическая повязка «Карпема». Уникальна она тем, что это единственный материал в мире, который устраняет последствия трофической язвы. Считается, что трофическая язва неизлечима. Да, нельзя вылечить причину, но следствия трофической язвы углеродная салфетка, как ни странно,

устраняет. Кроме того, она излечивает ожоги. В принципе, атравматическая повязка так же, как любой углерод, за счет своей биосовместимости стимулирует рост собственной ткани организма. Она выступает и адсорбентом, но в отличие от других атравматических повязок, которые действуют просто как адсорбент, она еще и стимулирует рост ткани, за счет чего срок заживления сокращается примерно в три раза. Повязка не прилипает к ткани и не оставляет на ране рубцов.

Еще одна наша уникальная разработка — дренаж для лечения глаукомы. В настоящее время в дренажной хирургии в глаукоме используются коллагеновые дренажи и дренажи из золота, но, не обладая такой биосовместимостью, дренажи из коллагена имеют свойство смещаться. Организм пытается отторгнуть его, минимальное смещение — и перекрывается ход тока, дренаж перестает работать. Углеродный дренаж



за счет биосовместимости приживается в организме, не отторгается и действует постоянно за счет разницы давления внутри глаза и снаружи, выполняя постоянную адсорбцию.

Еще один интересный и уникальный продукт — глазной протез. Основная проблема в том, что, когда человек теряет глаз, из-за отсутствия синхронности у здорового глаза атрофируются нервные окончания и глаза не могут двигаться одинаково. Хирург во время операции набирает нужное количество имплантатов, сверху ставится хрусталик, и внешне не отличишь имплантат от здорового глаза. Через углеродный имплантат прорастают нервные окончания, вследствие чего сохраняется подвижность двух глаз. Глаза двигаются синхронно, при этом здоровый глаз не теряет зрение. ■

Подготовил Виктор Фридман





Материалы активной зоны:

ВЫСТОЯТЬ

В УСЛОВИЯХ

АДА

Если спросить обычного человека на улице, что такое атомный реактор, то вероятнее всего он скажет, что это огромный котел с ядерным топливом, к которому лучше не приближаться. Некоторые даже вспомнят про графитовые стержни. По большому счету, знания обывателя этим и исчерпываются. И мало кто задумывается над тем, что происходит внутри этого самого «котла». Пожалуй, оно и к лучшему. Тем более что есть люди, которые занимаются именно этими вопросами — созданием материалов, способных выдержать экстремальные условия активной зоны атомного реактора. Именно такой человек сегодня сопровождает нас в этот искусственно созданный ад. У нас в гостях — заместитель генерального директора ЗАО «Наука и инновации», научный руководитель по физико-энергетическому блоку, доктор технических наук, профессор
Владимир Дмитриевич Рисованный

В

есь жизненный путь человека всегда так или иначе имел отношение к материалам. Все формации, которые мы сегодня знаем, связаны именно с уровнем развития материалов. Сначала был каменный век, когда люди делали орудия труда и все предметы для быта из камня. Потом его сменил медный век, когда уже была открыта медь как металл, — это следующая ступень, человечество продвигалось. С открытием стали начался железный век и т.д.

С дальнейшим развитием общества все накопленные знания о материалах требовалось систематизировать. Так зародилось материаловедение. Это достаточно молодая наука, ей не более 200 лет. Она появилась где-то в середине XIX в. И с тех времен во всех странах мы прошли уже большую дистанцию. Но во всех отраслях она подразумевает комплексное изучение служебных свойств и создание материалов с требуемыми характеристиками. Ведь материаловедение — это наука с четырьмя буквами «С»: структура, состояние, свойства, состав материала.

Вообще, по уровню материалов можно судить и об уровне состояния общества. Это применимо ко всей истории развития, включая и последние годы, и сегодняшнюю ситуацию. Каков уровень состояния с материалами, таков уровень всей техники, включая и ядерную технику.

Ядерный котел

В чем особенность материалов, которые мы используем в ядерной технике, а именно тех, которые работают в активной зоне ядерных реакторов? Это совершенно отдельная тема. Материалов, которые у нас в активной зоне, функционально не так уж много. Это ядерное топливо, поглощающие, замедляющие и конструкционные материалы. К материалам следует отнести также теплоноситель. Среди изделий тепловыделяющие элементы, регулирующие органы, корпус ядерного реактора — и внутрикорпусные устройства (ВКУ). Это все то, что располагается внутри активной зоны и находится в очень жестких условиях эксплуатации.

Сегодня фактически трудно найти аналоги в промышленности по условиям эксплуатации, в каких находятся материалы активной зоны ядерного реактора. Если посмотреть интегрально, то эти материалы должны сохранять свои функциональные возможности при очень

высоких температурах — вплоть до 2500° С. Это агрессивная среда. Сегодня у нас в ядерных реакторах используются самые различные теплоносители: вода, пар, различные газы и жидкие металлы — свинец, висмут, натрий. Есть у нас направление ядерных реакторов на расплавах — на основе солей фтора, чрезвычайно агрессивной среды. Кроме того, надо учитывать высокие давления. В водо-водяных реакторах, наиболее популярных сегодня, оно достигает 160 атм.

Принципиальное различие заключается в том, что элементы активной зоны также подвергаются ионизирующему излучению, т.е. там большие плотности нейтронных потоков, гамма-излучений, воздействия со стороны продуктов ядерных реакций, осколков, продуктов ядерных реакций. Нигде не найти аналог комбинации всех этих воздействий. Иногда сравнивают с космосом. Но, как правило, в космосе воздействие не очень длительно по времени. В ядерных реакторах элементы в активных зонах работают годы, а есть такие элементы, как корпус ядерного реактора, который должен эксплуатироваться 60, 80, может даже 100 лет. Поэтому естественно, что к разным конструкциям предъявляются разные требования, но все они очень жесткие. Есть даже такая физическая характеристика, как повреждаемость материалов: она измеряется в смещениях на атом.

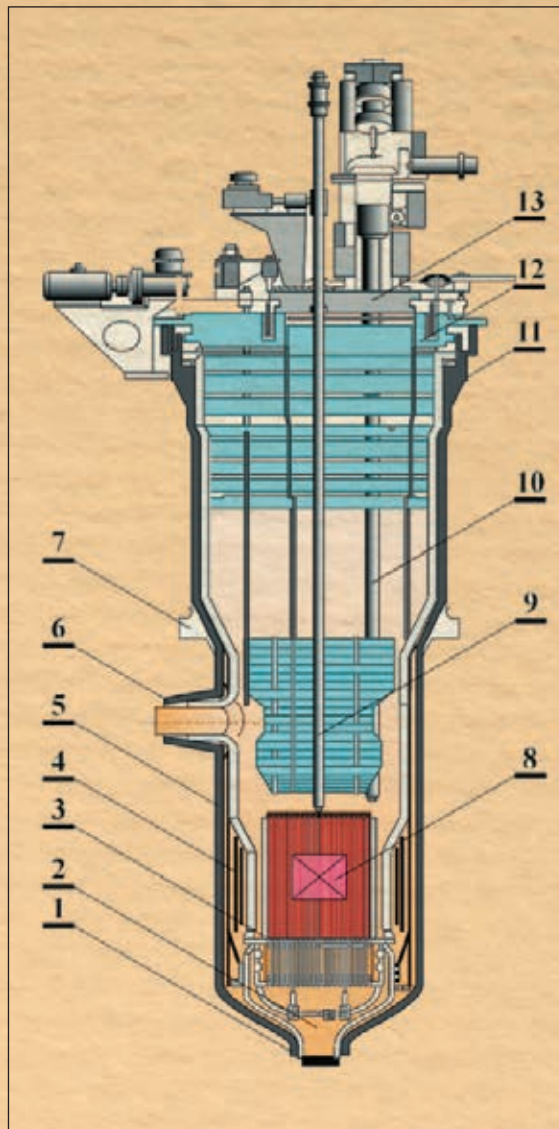
Нейтроны взаимодействуют с атомами, и в ходе этого взаимодействия либо атомы поглощают нейтроны и образуют новый изотоп или новый элемент, тем самым изменяя химический состав материалов, либо при взаимодействии с быстрыми нейтронами атомы покидают свою позицию в кристаллической решетке. Вот таких смещений на атом (так называется единица — смещений на атом, или сна) в конструкционных материалах ядерных реакторов на быстрых нейтронах происходит 100 и более. В ядерных реакторах следующего поколения повреждающие дозы будут достигать 500 смещений на атом.

Естественно, создавая ядерные реакторы и разрабатывая материалы, мы должны все это учитывать. Наша основная задача — сделать так, чтобы на всех этапах работы ядерной установки эти материалы и элементы активных зон всегда выполняли свои функциональные обязанности. Как минимум, они не должны существенно менять форму и размеры и обеспечивать надежную и безопасную эксплуатацию. Но процесс таков, что фактически каждая новая энергетическая установка требует новых материалов, новых элементов — ведь параметры меняются. Как правило, необходимо проводить большой комплекс научно-исследовательских работ, чтобы обосновывать эти решения.

Есть и еще один момент, который связан с изучением материалов в реакторном материаловедении. Любой материал, который оказался в активной зоне, становится радиоактивным, будь то конструкционный материал или топливо. После извлечения любого материала из активной зоны изучать его свойства и характеристики обычным способом невозможно. Поэтому специфика реакторного материаловедения состоит в том, что у нас должен быть весь набор возможностей изучения этого материала с использованием защитных камер.

Защитные камеры — это специальные конструкции со стенами метровой толщины, внутри которых находятся оборудование и материал, побывавший в ядерном реакторе. Дальше все происходит дистанционно: транспортные операции, размещение в горячих камерах и исследования. При этом мы должны иметь одни и те же методики работы с материалом как не облученным, так и внутри горячих камер, потому что при создании материала мы комплексно изучаем и структуру, и состояние, и свойства, и состав материалов как до реакторного облучения, так и после него. Должны быть некие сопоставления, динамика, изменения и т.д. Это особенности реакторного материаловедения в части их нахождения в активной зоне, и это требует специальной экспериментальной базы для исследований.

Реактор БОР-60



1. Входной патрубок
2. Входная камера
3. Корзина
4. Тепловая и нейтронная защита корпуса реактора
5. Корпус
6. Выходной патрубок
7. Опорный фланец
8. Активная зона
9. Привод СУЗ
10. Перегрузочный канал
11. Верхний опорный фланец
12. Большая поворотная пробка
13. Малая поворотная пробка

Впереди планеты всей

Если сравнивать российское и зарубежное реакторное материаловедение, то выбор реакторных материалов и подходы в исследованиях одинаковые. Других способов изучения материалов не существует. Мы гордимся тем, что отечественное реакторное материаловедение — ведущее в мире. Так получилось. Например, в НИИ атомных реакторов в Димитровграде еще в 1964 г. были созданы самые большие в Европе и, возможно, в мире материаловедческие комплексы по изучению облученных материалов. Это около 100 защитных камер и тяжелых боксов.

Но с точки зрения требований изучения именно облученных материалов это везде одинаково, больших различий нет. Россия и «Росатом» остаются лидером

и в материаловедческих исследованиях материалов, и в испытаниях материалов. Экспериментальные возможности России признаны во всем мире. У нас целая очередь выстроилась за тем, чтобы испытать в наших исследовательских реакторах зарубежные материалы. Многие страны не обладают такими возможностями. Например, для разработки материалов будущего, реакторов на быстрых нейтронах четвертого поколения, экспериментальные исследования реакторных материалов сегодня имеются только в России. Реактор БОР-60, построенный еще в 1969 г., работает эффективно. Его загрузка сегодня и в последние годы — больше 100%. И эта ситуация будет сохраняться вплоть до 2020 г., когда мы планируем его остановку и ввод в эксплуатацию нового многофункционального быстрого исследовательского ядерного реактора (МБИР). На его основе планируется создание Международного центра по испытаниям реакторных материалов. К нам приходят американцы, французы, японцы, китайцы — все, кто развивает атомную

Самое главное — мы разработали новые конструкционные материалы, причем на самом высоком уровне. За эти материалы и созданные технологии в прошлом году группа ученых-ядерщиков получила Государственную премию: это Ярослав Игоревич Штромбах из НИЦ «Курчатовский институт», Георгий Павлович Карзов из ЦНИИ «Прометей» и Алексей Владимирович Дуб — генеральный директор ЗАО «Наука и инновации»

энергетику на быстрых нейтронах. В других странах нет таких работающих ядерных реакторов и в ближайшие десятилетия не будет. Когда-то в ряде стран опытные быстрые реакторы были. Сейчас они везде остановлены. Если энергетические ядерные реакторы второго поколения имеют проектный ресурс 30 лет, то БОР-60 функционирует до сих пор, и поставлена задача, чтобы он проработал как минимум до 2020 г, что превысит 50 лет.

Сегодня есть остановленные реакторы в Японии. Есть закрытые, как «Феникс», «Суперфеникс», — опытные реакторы, где проводились эксперименты, во Франции. Они закрыты, и сегодня там делаются зеленые лужайки. Есть реакторы, которые остановлены, но начинают работать — они останавливаются по разным причинам.

Кроме исследовательского реактора БОР-60 у нас есть прекрасно работающий с 1980 г. ядерный реактор

на быстрых нейтронах БН-600 на Белоярской атомной станции. Тоже получается намного больше, чем проектный срок 30 лет. И он будет еще дальше работать. Это энергетический реактор. Из энергетических быстрых реакторов это сегодня единственный в мире, который работает. В этом году, также на площадке Белоярской АЭС, мы надеемся, будет запущен реактор БН-800.

Приоритет на сегодня во всем мире — реакторы водородные, энергетические: как у нас в стране, так и за рубежом. Этот наиболее продвинутый продукт оказался самым востребованным и проработанным во всех аспектах. Если говорить о России, сегодня это серийные реакторы нового поколения, как мы говорим, поколения 3+, которые проектируются и изготавливаются, — ВВЭР-ТОИ.

Удар в корпус

Какие реакторные материалы сегодня актуальны для каких типов реакторов? Можно привести цифры. По состоянию на конец 2013 г. (по данным МАГАТЭ) в мире было около 437 действующих реакторов. Из них немного больше 80% — легководные реакторы. Практически все реакторы на тепловых нейтронах второго поколения с проектным ресурсом 30 лет.

Если говорить о реакторных материалах для ВВЭР, то все основные принципиальные вопросы для этих реакторов, касающиеся материаловедения, решены. Есть обоснованные ресурсы, изделия, лицензии, без чего вообще нельзя выходить на мировой рынок. Сегодня у «Росатома» самый крупный портфель заказов в мире. Из всех организаций у нас сегодня порядка 80 заказов на 80 блоков типа ВВЭР-ТОИ по всему миру.

Несмотря на то что готовый продукт существует, происходит постоянное совершенствование этих реакторов и материалов, в частности для корпусов реакторов, потому что корпус реакторов и внутрикорпусные элементы — это все то, что определяет срок службы реактора. Эти элементы замене не подлежат. Если топливные сборки, регулирующие органы через какое-то время можно поменять, то корпус реактора и ВКУ менять нельзя. Поэтому надо использовать материалы, которые обеспечили бы этот высокий ресурс. Мы сегодня говорим уже не о 30 годах, как для реакторов второго поколения, а о 60 для реакторов третьего и четвертого поколений — т.е. в два раза больше. Но мы ожидаем, что это будет и 80, а может быть даже и 100 лет. Все основания для этого есть, потому что и конструкцию поменяли, и радиационные нагрузки сделали меньше. Самое главное — разработали новые конструкционные материалы, причем на самом высоком уровне.

За эти материалы и созданные технологии в прошлом году группа ученых-ядерщиков получила Государственную премию: это Ярослав Игоревич Штромбах из НИЦ «Курчатовский институт», Георгий Павлович Карзов из ЦНИИ «Прометей» и Алексей Владимирович Дуб — генеральный директор ЗАО «Наука и инновации».

Таким образом, проблемы на будущее по корпусам для ВВЭР практически решены. Но лицензионные

работы продолжают. Мы продолжаем испытывать, лицензировать на большие ресурсы. Мы постоянно проводим мониторинг, извлекаем образцы-свидетели, исследуем структуру, состояние, свойства, состав, рассматриваем новые физические и математические модели с точки зрения работы этих корпусов. Атомная отрасль достаточно консервативна, особенно касательно корпусов, и в них заложен достаточно большой запас прочности.

Самый основной критерий таков: корпус никогда не должен быть разрушен. Это сосуд под давлением, как в обычной энергетике, только разница еще в том, что он постоянно испытывает целый комплекс разных нагрузок. Материал стареет сам по себе, т.е. его свойства меняются в течение всего времени работы. В ядерном реакторе идет постоянная деградация свойств от нейтронного потока. Именно корпус определяет ресурс и время работы энергетического ядерного блока, поэтому к нему очень пристальное внимание. Там заложены очень большие консервативные запасы, с тем чтобы гарантированно, ни при каких условиях корпус не разрушался.

Как показали события на «Фукусиме», разрушается все что угодно, а корпус даже в аварийных ситуациях сохраняет целостность. Каждый корпус с момента ввода в эксплуатацию снабжен специальными образцами-свидетелями, которые мы периодически извлекаем. Исследуем, изучаем хрупкую вязкость, как происходит склонность к разрушению этого корпуса, сверяем с теми нормативными документами, которые есть. Кроме этого, мы специально вырезаем образцы из корпуса, потом «залечиваем» эти места, т.е. берем реальный материал — и дополнительно проводим специальное ускоренное облучение в исследовательских ядерных реакторах, чтобы обосновать эту деградацию свойств.

Внутренний мир

ВКУ — внутрикорпусные устройства. В новых реакторах это тоже задача для материаловедов. Сейчас мы разработали программу, которую будем внедрять. Мы знаем, как исследовать и какие материалы надо использовать, как их совершенствовать. В новых проектах водо-водяных реакторов, где ресурс ожидается 60 и больше лет, повреждающие дозы намного больше — около 120 смещений на атом. Это серьезные цифры.

Но у нас есть уверенность в том, что такие изделия будут созданы. Мы фактически не создаем новые материалы, мы занимаемся совершенствованием. Мы знаем и экспериментально доказали, что определенные стали надежно работают 40–50 лет. Однако сейчас мы вводим ряд усовершенствований, которые нам должны гарантированно дать эти 60 лет. Для лицензирования нужно получить надежные экспериментальные характеристики. Надеемся, что с этого года мы начнем реализовать новую программу, чтобы получить все эти характеристики и обосновать ВКУ.

Далее — топливо. Топливо для всех водо-водяных реакторов в основном достаточно надежное. Российский дизайн вообще признан во всем мире одним из лучших.

Но это не значит, что здесь нет материаловедческих работ. Постоянно идет модификация. Есть задачи по увеличению выгорания топлива. Для этого предусмотрена большая загрузка урана в оксидное топливо. Если в водо-водяных реакторах стартовали с обогащения урана-235 на три с небольшим процента, то сегодня уже мы говорим о 6%. Есть модификации топлива в части размера зерна, легирования. Но принципиальные вопросы решены. Здесь ничего сверхнового, пионерского, наверное, не придумано. Изменяются конструкции тепловыделяющих сборок, и их тоже необходимо экспериментально обосновывать, проводя материаловедческие исследования.

Однако важный шаг, которого мы ожидаем в топливе будущих реакторов ВВЭР, — это смешанное уран-плутониевое топливо (МОКС-топливо). В России в ядерных реакторах на тепловых нейтронах такого опыта пока нет, хотя на Западе существует небольшой опыт. Но мы к этому готовимся и планируем, что примерно с 2025 г. тоже сможем использовать МОКС-топливо в тепловых системах.

У циркония есть одно очень плохое качество, особенно в аварийных ситуациях: протекание пароциркониевой реакции при температуре в паровой среде 900° С, когда цирконий взаимодействует с паром, сопровождается большим выделением водорода. Водород накапливается, и происходит взрыв

Если говорить о чем-то революционном, где Россия впереди, то мы большей частью отработали технологии и исследования с использованием микросферического топлива в водо-водяных реакторах. Традиционно во всем мире это сегодня выглядит так: циркониевая оболочка из разных сплавов циркония, а внутри таблетки. Однако у циркония есть одно очень плохое качество, особенно в аварийных ситуациях: протекание пароциркониевой реакции при температуре в паровой среде 900° С, когда цирконий взаимодействует с паром, сопровождается большим выделением водорода. Водород накапливается, и происходит взрыв.

В стационарных режимах проблем нет. Но когда мы говорим о возможности каких-то аварийных ситуаций, связанных с водо-водяными реакторами, здесь исключить такую ситуацию нельзя. Какие существуют варианты? Либо надо делать покрытие, чтобы не было взаимодействия циркония с паром, либо принципиально искать другую замену. Если искать замену

на конструкционные материалы в виде сплавов стали, как в быстрых реакторах, то характеристики этих зон резко падают, потому что конструкционные материалы захватывают нейтроны. Это большой недостаток. Все характеристики сразу падают. Перспективное направление — использование оболочек из композиционных материалов, например силицида углерода (SiC-SiC), и мы приступили к их разработке и исследованиям.

Если использовать нетрадиционное микротопливо, там уже нет ни циркония, ни сплавов. Там частицы топлива покрываются керамическими слоями — пироуглеродом и силицидом кремния. Получается достаточно стабильное топливо. Мы испытывали его в аварийных ситуациях, при больших температурах. Это некое кардинальное решение, которое вполне может быть

В рамках федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения» есть отдельный большой проект «Прорыв», который призван продемонстрировать к 2020 г. замкнутый ядерный топливный цикл на базе реактора «Брест» со свинцовым теплоносителем. Рядом с этим реактором будет построен завод по производству, переработке и рефабрикации ядерного топлива. Это и есть замкнутый круг: достается топливо, оттуда извлекаются плутоний, другие продукты ядерных реакций, включая минор-актиниды, создается новое топливо, снова загружается — и вы гуляете по кругу

использовано, и у нас такая программа разработана. Особенно данное топливо будет актуально для ядерных реакторов с закритическими параметрами воды, в суперВВЭР, которые, я надеюсь, придут на смену через 20–30 лет существующим ядерным реакторам на тепловых нейтронах. С водо-водяными реакторами мы ставим задачу существенно поднять КПД. Сегодня он составляет порядка 30%. Если мы сделаем воду уже не 280–300° С, как сегодня, а поднимем до 500–550° С, то и КПД можно поднять выше 40%.

Следующий аспект — поглотители. Поглощающие материалы — это органы, которые меняют мощность и разные температурные и нейтронные эффекты. Это остаток реактора — и плановый, и аварийный. Здесь российские разработки — самые передовые в мире. Мы сегодня создаем новые материалы, в частности гафнат диспрозия, материал, не имеющий аналогов в мире. Он практически не изменяет все свои основные эксплуатационные свойства при любых радиационных и температурных воздействиях.

Быстрые и горячие

Та область, где нам сегодня предстоит сделать достаточно революционные вещи в части материалов, — это реакторы на быстрых нейтронах. Очень часто задают вопрос, зачем мы их развиваем. Сегодня много говорят о ядерных реакторах на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом. Зачем? С точки зрения стоимости, с точки зрения задач, которые там надо решить, в том числе и по материалам, это более сложный реактор. Он никогда не будет дешевле реактора на тепловых нейтронах, потому что система более сложная. Там температура уже 500–700° С, а жидкие металлы используются как теплоноситель. Скорость повреждающих доз на порядки выше, чем в водо-водяных реакторах.

Вот и возникает вопрос: а зачем тогда их развивать? Давайте и будем работать всегда на тепловых! Но не получается. Водо-водяные реакторы все работают на уране-235. А его в природном уране всего 0,7%. Его потенциальная энергетическая ценность сегодня сопоставима с энергетической ценностью газа или нефти. И если развивать атомную энергетику, ориентируясь только на уран-235, то мы честно должны признаться, что достаточно проблематично рассматривать ее как неограниченный источник энергии. Природа такова, что уран сегодня рассматривается как неисчерпаемый источник с учетом возможного вовлечения в этот цикл урана-238, которого более 99% в уране. Однако в тепловых реакторах его нельзя использовать как делящийся материал.

Еще в 1950-е гг. Энрико Ферми высказал предположение, что можно создать реактор на быстрых нейтронах, где средняя энергия нейтронов будет выше 200 КэВ. А нейтроны всегда рождаются быстрыми, с энергией порядка 2 МэВ, и через цепочку распадов превращаются в плутоний-239. А плутоний-239 — хорошее ядерное топливо для всех типов ядерных реакторов.

Как это происходит? Есть активная зона, есть зона воспроизводства. В зоне воспроизводства размещаются те же сборки с ураном-238, где нейтроны, которые вылетают из активной зоны, взаимодействуют с ним и накапливают плутоний-239. В целом получается, что на один атом, который выгорает как уран-235, теоретически можно накапливать полтора и более атомов плутония. Вы сжигаете единицу, а получаете полторы. У вас получается бридер (от англ. *breeder*, «размножитель»). Вы получаете энергию, тепло и одновременно нарабатываете плутоний как топливо. Его можно снова ввести

в процесс, из него можно делать эти тепловыделяющие сборки. Можно брать отвалный или природный уран, добавляя этот плутоний, и у вас получается прекрасное топливо для тепловых реакторов и для быстрых реакторов.

Первый быстрый реактор был построен в США, но мы тоже создали большую линейку. В физико-энергетическом институте у нас были реакторы БР-5, БР-10, в НИИ атомных реакторов продолжает работать БОР-60, в Казахстане успешно длительное время эксплуатировался опытный энергетический реактор БН-350. Продолжается, как уже говорилось выше, эксплуатироваться реактор БН-600. Мы прошли большой путь, но технологически только сейчас подошли к тому, что ядерный топливный цикл можно замкнуть.

В рамках федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения» есть отдельный большой проект «Прорыв», который призван продемонстрировать к 2020 г. замкнутый ядерный топливный цикл на базе реактора «Брест» со свинцовым теплоносителем. Рядом с этим реактором будет построен завод по производству, переработке и рефабрикации ядерного топлива. Это и есть замкнутый круг: достается топливо, оттуда извлекаются плутоний, другие продукты ядерных реакций, включая минор-актиниды, создается новое топливо, снова загружается — и вы гуляете по кругу. В таком ракурсе мы можем говорить, что у ядерной энергетики есть неограниченные сырьевые запасы и огромное будущее. ■

Подготовил Виктор Фридман

! Справка

Владимир Дмитриевич Рисованный
Заместитель генерального директора
ЗАО «Наука и инновации» — научный
руководитель по физико-энергетическому блоку, доктор технических наук, профессор.

- ✓ Родился в г. Верхняя Пышма Свердловской области.
- ✓ В 1977 г. окончил металлургический факультет (кафедра металловедения и физики металлов) Уральского политехнического института (Екатеринбург).
- ✓ Трудовую деятельность начал в НИИ атомных реакторов (Димитровград, Ульяновская обл.) Министерства среднего машиностроения, где прошел путь от инженера-металлофизика до заместителя директора по науке.
- ✓ Основные направления научной деятельности: реакторное материаловедение, создание новых перспективных поглощающих материалов и органов регулирования ядерных реакторов с повышенными эксплуатационными характеристиками, разработка новых промышленных технологий по созданию органов регулирования, обоснование и создание замкнутого цикла в использовании поглощающих материалов в энергетических ядерных реакторах на быстрых нейтронах.





Адриан Оуэн

Есть тут кто живой



*Появляется возможность общаться
с пациентами, которые, казалось бы, находятся
в бессознательном состоянии*

ОБ АВТОРЕ

Адриан Оуэн (Adrian M. Owen) был приглашен в Университет Западного Онтарио по программе *Canada Excellence Research Chair (CERC)* и возглавил направление когнитивной нейробиологии и нейровизуализации. Он руководит изучением поврежденных мозга, которые приводят к нарушению сознания, и нейродегенеративных заболеваний, сопровождающихся когнитивными нарушениями.



Моя работа по поиску сознания у не реагирующих внешне пациентов началась в 1997 г., когда я встретился с Кейт — молодой учительницей из Кембриджа, впавшей в кому после гриппоподобного заболевания. В течение нескольких недель она, по мнению врачей, находилась в вегетативном состоянии, и, хотя у нее наблюдался цикл «сон — бодрствование», девушка не приходила в сознание. Ее глаза могли открываться и закрываться, она могла скользить взглядом по палате, но при этом не проявляла никаких признаков внутреннего мира и не реагировала на врачей и родственников.

В то время я занимался в Кембриджском университете разработкой новых методов сканирования мозга, и мой коллега Дэвид Менон (David Menon), специализировавшийся на острых черепно-мозговых травмах, предложил поместить Кейт в наш позитронно-эмиссионный томограф (ПЭТ), чтобы попытаться найти какие-либо признаки ее мыслительной деятельности. Это была смелая идея, но мы возлагали надежды на наши новые методики нейровизуализации. Кейт поместили в томограф, на экране монитора мы показывали фотографии ее друзей и родственников и оценивали реакцию ее мозга. Результаты оказались потрясающими. Мало того что мозг реагировал на лица, картина его активности оказалась практически такой же, какую мы наблюдали у здоровых людей при демонстрации фотографий их близких.

Что это значило? Находилась ли Кейт в сознании, хотя внешне это было не заметно, или мы наблюдали что-то вроде рефлекторного ответа? Потребовалось более десяти лет исследований, прежде чем появилась возможность ответить на данный вопрос.

Поиск ответа становился все более актуальным. В последние годы развитие травматологии и интенсивной терапии способствовало выживанию большого количества людей с серьезными повреждениями мозга, которые, подобно Кейт, оставались живы, но не подавали признаков сознания. Такие пациенты обнаруживаются практически в каждом городе, где имеется квалифицированная медицинская помощь. Как именно их лечить и за ними ухаживать, насколько долго поддерживать жизнеобеспечение, какое значение при принятии решений имеют пожелания родственников и предварительные распоряжения самого пациента (если они были) — все это сложные этические проблемы, сопряженные с душевной болью, а иногда и с судебными исками. Состояние некоторых пациентов со временем улучшается, но сложно предсказать, кто и в какой степени сможет восстановиться. У других наступает состояние «минимального сознания», при котором проявляются нестабильные, но повторяющиеся признаки сохранения сознания. Третьи остаются в вегетативном состоянии десятилетиями, а иногда и до конца своих дней. Если бы уметь различать эти три ситуации, можно было бы принимать разные решения в зависимости от того, что лучше для больного.

Воображаемая игра в теннис

В первые годы после случая с Кейт мы в Кембридже перепробовали много способов выявления скрытого сознания (вегетативного состояния) у пациентов. Мы давали им прослушать записи речи (длинный прозаический фрагмент) и сравнивали с реакцией, которую мозг выдает, когда мы проигрываем речеподобный шум, не содержащий реальных слов. В ряде случаев у пациентов,

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Развитие медицины позволило спасти жизнь многим людям, получившим травму головного мозга, но при этом пациенты часто оказываются в вегетативном состоянии или в состоянии минимального сознания. Ученые разрабатывают методики, позволяющие определить, сохранилось ли хоть в малой степени у пациентов сознание и смогут ли они прийти в себя.
- С помощью функциональной магнитно-резонансной томографии неожиданно выяснилось, что ряд пациентов, про которых считалось, что они находятся в вегетативном состоянии, на самом деле сохранили сознание. Они могут отвечать «да» или «нет», изменяя активность мозга.
- Сейчас ученые пытаются на основе электроэнцефалографии создать более простой и доступный способ выявления сознания. В перспективе предполагается, что создание интерфейса «мозг — компьютер» поможет установить диалог с пациентами, у которых сохранилось скрытое сознание.

Расстройства сознания

**ЗАСТРЯВШИЕ
МЕЖДУ ЖИЗНЬЮ И СМЕРТЬЮ**

Кажется, что сознание либо есть, либо его нет. Но на самом деле оно может проявляться в разной степени. Если оно ослаблено, говорят о нарушениях сознания. Чаще всего это происходит при травмах головы или недостатке кислорода в мозге в результате инсульта или остановки сердца; при недостатке кислорода последствия обычно хуже, чем при травме. Состояние пациента может улучшаться или ухудшаться, но если мозг умирает, то это уже необратимо.

Смерть мозга. Вся работа ствола и полушарий мозга остановились навсегда.

Кома. Полная потеря сознания, исчезновение циклов «сон — бодрствование», глаза закрыты. Кома редко продолжается более двух-четырех недель, после этого обычно пациенты либо приходят в себя, либо переходят в одно из нижеперечисленных состояний.

Вегетативное состояние. Присутствует цикл «сон — бодрствование», глаза могут открываться спонтанно или в ответ на стимул, но все проявляемое поведение, как правило, чисто рефлекторное. Широко известные случаи: Терри Шайво (Terri Schiavo), Карен Энн Квинлен (Karen Ann Quinlan).

Состояние минимального сознания. Может казаться, что такие пациенты находятся в вегетативном состоянии, однако они проявляют признаки наличия сознания, могут схватить объект, выполнить команду или среагировать на окружающую обстановку. Широко известные случаи: Терри Уоллис (Terry Wallis), пришедший в сознание спустя 19 лет.

Синдром запертого человека. По своей сути это не расстройство сознания, т.к. пациент находится полностью в сознании, однако он не способен пошевелиться, и поэтому его состояние могут ошибочно считать вегетативным. У многих пациентов сохраняется способность к миганию и движениям глаз. Широко известные случаи: Жан-Доминик Боби (Jean-Dominique Bauby), который надиктовал книгу, мигая левым глазом.

предположительно находящихся в вегетативном состоянии, мы наблюдали такую же активность мозга, как и у здоровых испытуемых: участки, связанные с восприятием речи, активировались при прослушивании речи и не реагировали на шум. Но мы по-прежнему сомневались, была ли нормальная реакция мозга проявлением сознания или простой автоматической реакцией, не зависящей от процессов более высокого уровня.

Совместно с Дэвидом Меномом, нейробиологом Мэттом Дэвисом (Matt Davis) и другими коллегами из Кембриджа мы провели дополнительный контрольный эксперимент. Мы решили усыпить группу здоровых людей и дать им прослушать такие же записи речи и шума, вызывавшие нормальную активность мозга у некоторых вегетативных больных. Неожиданно оказалось, что у здоровых испытуемых, которые были без сознания благодаря пропону (анестетику кратковременного действия), области

мозга, отвечающие за восприятие речи, активировались так же сильно, как и у бодрствующих людей. Это было важным доказательством того, что «нормальная» реакция мозга вегетативных пациентов на речь — еще не показатель наличия сознания. Похоже, что мозг реагирует автоматически, даже когда мы находимся без сознания и не знаем, что происходит вокруг.

Пришлось начинать все сначала. Надо было посмотреть на неясное сознание по-другому. Насущным вопросом стало не то, как мы можем вызвать активность в мозге пациента, а то, какую активность надо увидеть, чтобы убедиться, что человек в сознании. Мы нашли решение на основе традиционного метода клинической оценки сознания: реакции на команду. Это хорошо известный тест «если ты слышишь меня, сожми мне руку», который так часто показывают в медицинских телесериалах. Конечно, наши пациенты имели слишком тяжелые повреждения, чтобы выполнить физическое действие в ответ на команду, но, может быть, возможно зарегистрировать ответ мозга, когда они будут об этом думать?

Совместно с Мелани Боли (Mélanie Boly), нейробиологом из Лаборатории Стивена Лориса (Steven Laureys) Льежского университета, мы начали регистрацию активности мозга здоровых испытуемых, в то время как они представляли себе выполнение различных заданий вроде пения рождественских колядок, хождения по дому из комнаты в комнату или энергичной игры в теннис. Для подобных сценариев мысленное выполнение задачи вызывало четкую конкретную картину активности мозга, похожую на ту, что возникает при реальном выполнении задания.

Используя функциональную магнитнорезонансную томографию (фМРТ), для проведения которой, в отличие от ПЭТ, не требуется специально вводить никаких химических веществ, мы обнаружили два наиболее подходящих задания: воображение игры в теннис и мысленное хождение по своему дому из комнаты в комнату. Действительно, у всех здоровых испытуемых, которых мы исследовали, задание с теннисом вызывало сильную активность в премоторной коре, структуре мозга, задействованной в планировании движений. Мысленное же путешествие по собственному дому сопровождалось активностью в теменной доле и в расположенной более глубоко парагиппокампальной извилине. Обе структуры участвуют в представлении пространства и ориентации в нем. Мы обнаружили, что, подобно врачу из телесериала, который говорит пациенту: «Сожмите мою руку, если вы меня слышите», мы можем получить четкий, видимый с помощью фМРТ ответ на команду, сказав испытуемым: «Если вы меня слышите, представьте себе игру в теннис».

К нашему изумлению, методика сработала сразу же в первый раз, когда мы попробовали применить ее к больному, казалось бы, находившемуся в вегетативном состоянии. Мы тестировали молодую женщину, получившую серьезные повреждения мозга в результате дорожно-транспортного происшествия. Перед тем

как мы провели фМРТ-исследование, она не проявляла никаких сознательных реакций на протяжении пяти месяцев и ее состояние полностью соответствовало международным критериям для диагноза «вегетативное состояние». Мы сканировали ее мозг, неоднократно и в определенной последовательности давая ей оба задания. Поразительно, что всякий раз, когда мы просили ее представить себе игру в теннис, в премоторной коре отмечалась та же активность, что и у здоровых добровольцев, которых мы исследовали ранее. А когда ее просили представить себе движение по дому, мы наблюдали активность в теменной доле и парагиппокампальной извилине. На основе полученных данных мы пришли к выводу, что женщина была в сознании, несмотря на неспособность физически реагировать на внешние стимулы. Такое открытие изменило отношение к ней врачей, медсестер и родственников. Оно побудило окружающих общаться, приходить, предаваться воспоминаниям, шутить и другими путями способствовать улучшению качества жизни больного.

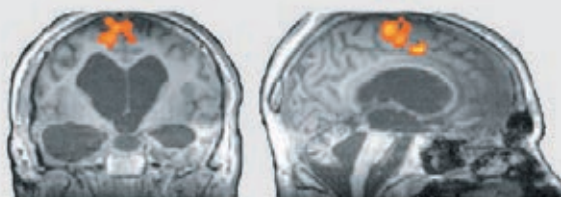
Тестирование с помощью нашей методики

В течение нескольких последующих лет мы опробовали нашу методику на многих пациентах и смогли оценить ее достоверность, а также найти пути ее улучшения. К 2010 г., вновь сотрудничая с Лорисом и его группой из Льежа, мы опубликовали в журнале *New England Journal of Medicine* сообщение о том, что из 23 пациентов, у которых было диагностировано вегетативное состояние, у четверых (17%) в томограмме были выявлены признаки сознания. Мы исследовали возможность задавать больным вопросы, на которые можно было ответить «да» или «нет». Один из них пять лет назад получил травматическое повреждение мозга, и с тех пор его состояние неоднократно диагностировали как вегетативное. Поместив больного в томограф, ему сказали, что будут задавать простые вопросы, и для ответа «да» надо представить себе игру в теннис, а для «нет» — перемещение по дому из комнаты в комнату. Поразительно, но таким образом он правильно ответил на пять вопросов. Например, он подтвердил, что у него есть братья, нет сестер и что его отца действительно зовут Александр. Кроме того, пациент правильно подтвердил информацию о том, где он отдышал до получения травмы. Мы получили

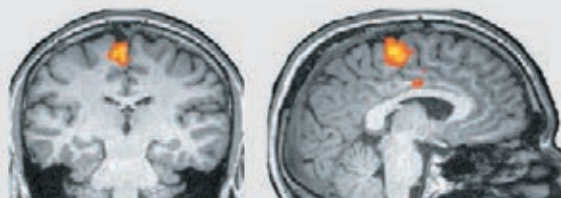
ЧТЕНИЕ МЫСЛЕЙ

Для того чтобы проверить возможность выявления сознания и взаимодействия с внешне не реагирующим пациентом, автор статьи вместе со своими коллегами провели томографию мозга человека, который на протяжении пяти лет считался пребывающим в вегетативном состоянии. Ему задавали разные вопросы и просили представлять себе игру в теннис, когда ответ был «да», и перемещение по дому, когда ответ был «нет». На основе фМРТ здоровых людей было известно, что мысленное наблюдение за игрой в теннис усиливает кровоток в области мозга, связанной с планированием движений, а мысленное движение по дому вызывает такое же усиление в области, отвечающей за восприятие пространства. Таким образом, эти реакции можно легко различить. Примечательно, что человек правильно ответил на пять вопросов, в том числе на нижеперечисленные.

Пациента спросили: «Вашего отца зовут Александр?» Он ответил: «Да», представив себе игру в теннис, что вызвало активацию в премоторной области (оранжевый и красный). Для соблюдения конфиденциальности имя отца здесь изменено. Томограмма больного была похожа на ту, что наблюдалась в контрольной группе у здоровых пациентов, когда они представляли себе игру в теннис.

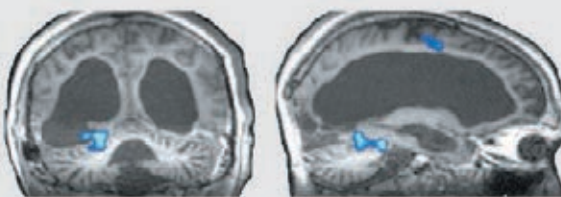


Пациент

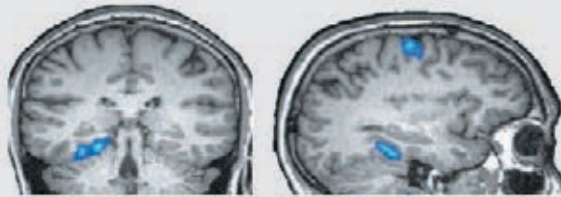


Человек из контрольной группы

Пациента спросили: «Вашего отца зовут Томас?» Он ответил: «Нет», представив себе перемещение из комнаты в комнату в своем доме, что вызвало активацию в области, связанной с восприятием пространства (синий). Его томограмма была поразительно похожа на ту, что наблюдалась у здорового человека из контрольной группы во время выполнения этого задания.



Пациент



Человек из контрольной группы

эту информацию от членов семьи, а исследователи, оценивавшие реакцию на фМРТ, не знали верного ответа на задаваемые вопросы.

С учетом сложности предложенных задач было очевидно, что пациент мыслит, а не просто реагирует на окружающее. У него сохранились некоторые высшие когнитивные способности: он мог поддерживать и переключать внимание, понимал речь, выбирал правильный вариант ответа, удерживал и обрабатывал информацию в рабочей памяти — так, например, получив новый вопрос, он помнил, как отвечать «да» или «нет», и мог вспомнить события, произошедшие до несчастного случая. Больной мог эффективно общаться с нами, находясь внутри томографа, хотя около его кровати с ним невозможно было установить какой-либо контакт. Тем не менее уже после того, как было выполнено фМРТ-тестирование, врачи провели тщательное повторное исследование стандартными методами и поменяли диагноз на «состояние минимального сознания», что в очередной раз подтвердило неоднозначность и изменчивость изначально поставленного диагноза.

В январе 2011 г. я вместе со своей исследовательской группой перебрался в Университет Западного Онтарио, поскольку там были лучше условия для работы, большая команда и щедрое финансирование по программе CERC. Все это позволило расширить и углубить наши исследования, чтобы получить ответ на ряд важных вопросов, в том числе о возможности использования нашей методики для улучшения качества ухода за пациентами. Так, одному молодому человеку, про которого на протяжении 12 лет думали, что он находится в вегетативном состоянии, мы смогли задать вопрос, который мог поменять всю его жизнь: «Болит ли у вас что-нибудь?». Пациент ответил «нет», и мы испытали большое облегчение. BBC проводила документальную съемку этого драматического момента.

Другой вопрос был в большей степени техническим. Можно ли найти метод тестирования, для которого не понадобится фМРТ? Проведение фМРТ для пациентов с серьезными повреждениями мозга связано с большими трудностями. Помимо проблем со стоимостью и доступностью аппарата это может быть еще и сильным физическим стрессом для больного, поскольку в большинстве случаев необходимо перевезти его на машине скорой помощи туда, где есть соответствующее оборудование. Некоторые пациенты не могут сохранять неподвижность в томографе, а наличие металлических имплантатов, в том числе пластин и стрежней, которые часто ставят при серьезных травмах, вообще исключает возможность проведения фМРТ.

В последнее время мы сконцентрировали наши усилия на создании портативного и менее дорогого способа оценки активности мозга и начали использовать электроэнцефалографию (ЭЭГ). Для ЭЭГ электроды прикрепляют к коже головы и записывают активность групп нейронов коры больших полушарий. В данном случае металлические имплантаты не мешают, а главное, процедуру можно провести прямо на больничной койке.

К сожалению, с помощью ЭЭГ сложно обнаружить изменения активности в нижележащих глубоких слоях мозга, кроме того, пространственное разрешение, т.е. возможность выявить ответ точно в конкретной области мозга, у данного метода значительно ниже, чем у фМРТ. Чтобы преодолеть подобные ограничения, мы взяли мысленные задачи, которые вызывают активность в поверхностных областях, контролирующих простые движения рук и ног. Мой сотрудник Дэмьян Круз (Damian Cruse) обнаружил, что ЭЭГ будет различаться, если попросить здоровых людей представить себе, что они сжимают пальцы на правой руке или ноге. Это срабатывает не во всех случаях, но к 2011 г. мы смогли начать тестирование пациентов прямо на больничной койке.

Мечта о том, что в один прекрасный день мы сможем общаться исключительно силой мысли, уже несколько десятилетий витает среди ученых и авторов научной фантастики. Использование фМРТ и ЭЭГ для выявления сознания и начала диалога с некоторыми внешне не реагирующими пациентами создало почву для развития интерфейсов «мозг — компьютер», которые смогут донести мысли таких людей до внешнего мира

Мы приобрели джип, оснастили его электродами, усилителями, самыми мощными ноутбуками и отправились в путь, чтобы доставить наше оборудование пациентам. В ноябре 2011 г. мы опубликовали полученные данные в журнале *Lancet*. Результаты оказались похожими на полученные с помощью фМРТ: трое из 16 (19%) «вегетативных» пациентов, которых мы протестировали с помощью ЭЭГ, оказались в сознании, если судить по тем ответам, которые они давали, воображая сжатие пальцев рук или ног. Не все коллеги благосклонно отнеслись к нашему исследованию. Как известно, анализ ЭЭГ достаточно сложен, и те статистические алгоритмы, которые мы использовали, были новыми и вызвали возражения у других исследовательских групп.

Используя наши фМРТ- или ЭЭГ-методы, уже можно напрямую спросить пациента, хочет ли он продолжать жить в сложившейся ситуации

К счастью, для большинства пациентов, хорошо реагирующих при тестировании с помощью ЭЭГ, мы смогли подтвердить наличие сознания, используя более общепринятую фМРТ-методику. Позже, с учетом возникших вопросов, мы протестировали и опубликовали пересмотренную версию ЭЭГ-методики. Мы занимаемся разработкой стандартных протоколов ЭЭГ- и фМРТ-тестирования с целью выявления скрытого сознания у вегетативных пациентов при финансовой поддержке Фонда Джеймса Макдонелла вместе с нашими коллегами в Льеже, а также исследовательскими группами в двух других странах.

Что дальше?

Каков будет следующий шаг? Мечта о том, что в один прекрасный день мы сможем общаться исключительно силой мысли, уже несколько десятилетий витает среди ученых и авторов научной фантастики. Использование фМРТ и ЭЭГ для выявления сознания и начала диалога с некоторыми внешне не реагирующими пациентами создало почву для развития интерфейсов «мозг — компьютер», которые смогут донести мысли таких людей до внешнего мира. Скорее всего, когда появятся подобные устройства, они будут работать, превращая конкретные мысли в слова «да»/«нет». Однако создание этих систем для людей, перенесших серьезные травмы мозга, — непростая задача. У пациентов редко сохраняется контроль над движениями глаз, что исключает возможность использования устройств, реагирующих на моргание или направление взгляда, а снижение когнитивных способностей, часто возникающее при повреждениях мозга, может препятствовать применению систем, требующих дополнительного обучения.

Но, несмотря на все сложности, по-видимому, фМРТ, ЭЭГ и новые технологии будут все больше использоваться для выявления сознания у внешне не реагирующих пациентов. При этом возникнет целый ряд моральных и юридических вопросов. В случаях, когда принимается решение о прекращении жизнеобеспечения, доказательство наличия неявного сознания, вероятно, может быть использовано для его отмены. Сейчас уже можно с помощью наших фМРТ- или ЭЭГ-методик спросить пациента, хочет ли он продолжать жить в такой ситуации. Но хватит ли ответа «да» или «нет», чтобы показать, что пациент сохранил достаточные когнитивные и эмоциональные способности для принятия такого важного решения? Как часто и как долго следует задавать этот вопрос? В 2011 г. обследование 65 пациентов с синдромом запертого человека, при котором сознание сохранено,

а тело парализовано, показало, что люди обладают удивительной способностью приспосабливаться к тяжелой инвалидности: большинство из них выразили удовлетворение качеством своей жизни. Очевидно, нужны будут новые этические и юридические правила относительно того, кто и каким образом должен принимать решение в такой ситуации.

Что касается Кейт, то с ней произошли замечательные события. В отличие от большинства из сотен встречавшихся мне вегетативных пациентов, она пошла на поправку через несколько месяцев после нашего обследования. Сейчас она живет дома со своей семьей. Кейт использует инвалидное кресло для передвижения и разговаривает с трудом, но ее когнитивные способности восстановились, в том числе и чувство юмора и способность понять, какую огромную роль она и ее мозг сыграли в научном открытии. Хотя она не помнит, как ей делали томографию, с тех пор как к ней полностью вернулось сознание, Кейт стала пылким сторонником таких исследований. «Страшно подумать, что было бы, если бы я не пришла в себя, — пишет она в недавнем письме. — Поэтому, пожалуйста, используйте мой случай, чтобы показать, как важны эти исследования. Мне хотелось бы, чтобы об этом узнало как можно больше людей, ведь это такое чудо — вновь обрести себя».

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Лорис С. Глаза открыты, мозг дремлет // ВМН, № 9. 2007.
- Willful Modulation of Brain Activity in Disorders of Consciousness. Martin M. Monti et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 362, No. 7, pages 579–589; February 18, 2010.
- Clinical Assessment of Patients with Disorders of Consciousness. Caroline Schnakers in *Archives Italiennes de Biologie*, Vol. 150, Nos. 2–3, pages 36–43; 2012.
- Detecting Consciousness: A Unique Role for Neuroimaging. Adrian M. Owen in *Annual Review of Psychology*, Vol. 64, pages 109–133; January 2013.
- Coma and Disorders of Consciousness. Marie-Aurélie Bruno, Steven Laureys and Athena Demertzi in *Handbook of Clinical Neurology*, Vol. 118, pages 205–213; 2013.
- Подробнее о том, чем занимается автор статьи, см. на сайте: www.owenlab.uwo.ca
- Видео о Кейт, пациентке, побывавшей в вегетативном состоянии, см. по адресу: ScientificAmerican.com/may2014/consciousness

МОЯ планета планета ЛЮДЕЙ

ФЕСТИВАЛЬ
ПУТЕШЕСТВИЙ

24-27 ИЮЛЯ

В ПАРКЕ ИСКУССТВ МУЗЕОН

Квест-пикник для
путешественников

Документальное кино о
жизни людей в разных
уголках земли

Встречи с ведущими
телеканала «Моя планета»

summertimes.ru
moya-planeta.ru/festival



Крымский Вал, вл. 2
м. Парк культуры,
Октябрьская
www.muzeon.ru

Реклама

Генеральный партнер:



Генеральный радио партнер:





Мир без свободной воли

Что происходит с обществом, считающим, что люди не могут сознательно контролировать свои действия?

В июле 2008 г. бывший металлург, а ныне пенсионер Брайан Томас вместе с женой Кристиной прибыл в своем автофургоне в маленькую деревушку на побережье Уэльса. Поскольку мотоциклисты, выполнявшие трюки неподалеку, очень шумели, супругам пришлось поменять место стоянки. Позднее, ночью, Томасу приснилось, что один из байкеров вломился в его фургон. Во сне он принял жену за воображаемого мотоциклиста и задушил ее до смерти. По крайней мере именно так он это рассказал.

На следующий год суд присяжных должен был решить, виновен ли Томас в убийстве. Присяжным стало известно, что он с детства был склонен к лунатизму. Эксперт-психиатр объяснил, что, когда Томас душил жену, он не понимал, что делал, и не принимал сознательного решения напасть на нее. Брайана Томаса оправдали.

Такие случаи заставляют людей размышлять о том, что значит «иметь свободную волю». При лунатизме мозг может точно управлять действиями человека, не включая полностью его сознание. В последнее время все больше и больше философов и нейробиологов утверждают, основываясь на современных представлениях о работе человеческого мозга, что мы все постоянно находимся в состоянии своеобразного лунатизма. Вместо того чтобы

самим преднамеренно творить свою жизнь, мы просто-напросто подчиняемся прошлым событиям и скрытым махинациям нашего бессознательного. Даже когда мы бодрствуем, свободная воля — всего лишь иллюзия.

Философы обосновывают свой взгляд, говоря, что все организмы связаны физическими законами Вселенной, согласно которым любое действие есть результат предыдущих событий. Люди — это живые организмы. Следовательно, поведение человека есть сложная последовательность причин и следствий, что находится целиком за пределами нашего контроля. В устройстве Вселенной просто нет места свободной воле. Масла в огонь добавили и недавние нейробиологические исследования, показавшие, что осознанность выбора — не причина, а следствие нейронных процессов, лежащих в основе принятия решения. Наш мозг определяет все наши действия без нашей помощи, это только кажется, что у нас есть право голоса.

Конечно, не все с этим согласны, и споры о существовании свободной воли не затихают. Однако нас интересует другой, не менее важный, связанный с этим вопрос. Что произойдет, когда вера людей в свободную волю (оправданная или нет) ослабнет? Каким тогда станет общество? Наше исследование позволило немного

приоткрыть завесу, и некоторые ответы выглядят пугающе. В частности, мы увидели признаки того, что отсутствие веры в свободную волю может привести к полному разрыву нашей социальной структуры.

Оправдание преступников

Однако некоторые из наших экспериментов свидетельствуют о возможности более мягкого исхода: общество, отказавшееся от веры в свободную волю, может стать менее жестоким, чем сегодня. Проводя исследование общественного мнения, мы показали, что чем сильнее человек сомневается в свободной воле, тем слабее он одобряет карательные наказания, которые назначаются в первую очередь для того, чтобы преступник пострадал за свой проступок, а не для предотвращения будущих преступлений. При этом что бы человек ни думал о свободной воле, это не снижает одобрения «результативного наказания», которое направлено не на возмездие, а на эффективное предотвращение преступности и перевоспитание преступников. По сути, скептики в отношении свободной воли воспринимают людей, нарушающих закон, как вирусное заболевание, разбушевавшееся наводнение или другое природное бедствие: они хотят защитить себя от дальнейшего ущерба, но не имеют никакого желания мстить.

Дальнейшее исследование привело к аналогичному выводу. Половина наших испытуемых прочитали отрывок из книги, утверждающий, что рациональный взгляд на человеческую природу не оставляет места для свободной воли, другая половина — отрывок из той же книги, не связанный с вопросами воли. Как и ожидалось, первая группа выразила большее сомнение в существовании свободной воли. Затем все испытуемые прочитали историю про гипотетического человека, осужденного за убийство во время драки в баре. История ясно давала понять, что тюремное заключение не исправит этого человека. Те, кто был знаком с аргументами против свободной воли, предлагали ему срок тюремного заключения в два раза короче, чем испытуемые из другой группы.

В последующих экспериментах мы обнаружили, что не обязательно даже явно упоминать свободную волю,

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В последнее десятилетие все больше и больше нейробиологов и философов утверждают, что свободной воли не существует. Правильнее было бы говорить, что нами управляет наше подсознание, создавая иллюзию сознательного контроля.
- Вместе с тем недавние исследования показали, что чем больше люди сомневаются в существовании свободной воли, тем меньше они поддерживают систему уголовных наказаний и тем менее этично относятся друг к другу.
- На самом деле, возникшие в результате научных исследований сомнения в существовании свободной воли могут способствовать улучшению правоохранительной системы, т.к. усилия будут направляться не на раздачу тюремных сроков исключительно ради заслуженного наказания, а на предотвращение совершения преступления в дальнейшем.

ОБ АВТОРАХ

Кэтлин Вос (Kathleen D. Vohs) — профессор в Школе менеджмента Карлсона в Миннесотском университете.



Азим Шариф (Azim F. Shariff) — доцент психологии, возглавляет Лабораторию культуры и морали в Университете Орегона.

чтобы изменить отношение людей к ней и, соответственно, к определению уместного наказания за преступление. Люди, читавшие статьи из модного научно-популярного журнала, посвященные нервным механизмам поведения человека (без упоминания свободной воли), были склонны оценивать воображаемое правонарушение как менее преступное по сравнению с теми, кто таких статей не читал. Испытуемые, читавшие про изучение мозга, также предлагали в два раза меньший срок за убийство. Такой же эффект вызывает и изучение мозга в колледже. В своих недавних экспериментах Лиза Аспинуолл (Lisa G. Aspinwall) и ее коллеги из Университета Юты дополнительно подтвердили этот эффект. Они показали, что, когда психическое расстройство подсудимого описывается на научном языке как нечто захватывающее власть над мозгом человека, судьи склонны назначать более короткий срок заключения.

Нарушения социума

Хотя снисходительность к подсудимым — это хороший во многих отношениях результат сомнения в свободной воле, полный отказ от уголовного наказания приведет к катастрофе. Такие пенитенциарные меры жизненно необходимы для нормального общества. Беттина Рокенбах (Bettina Rockenbach) из Кельнского университета в Германии провела экспериментальное исследование, которое показало, что в теории мало кому хочется принадлежать к группе, которая наказывает своих членов за правонарушения, но на практике подавляющее большинство предпочитает именно такой метод воздействия. Рокенбах со своими коллегами предложила испытуемым сыграть в игру на кооперацию и выбрать, в какой группе они хотят играть: в той, где наказывают, или в другой, где не наказывают за отказ от помощи. Вначале только треть игроков выбрала группу с наказанием, но после 30 раундов большинство перешло в наказывающую группу. Почему? Дело в том, что эти эксперименты подтвердили то, в чем человеческие общества убеждались раз за разом на протяжении всей своей истории: если нет установленных и принудительно применяемых законов, то у людей нет и мотивации работать вместе на всеобщее благо. Вместо этого они ставят себя выше всех, уклоняются от обязанностей, врут, мошенничают и вору, что приводит к полной дезорганизации общества.

Скептицизм в отношении свободной воли может быть опасен даже для обществ, где уже есть законы. Некоторые наши исследования показывают, что сомнения,

притупляющие чувство ответственности за свои действия, подстрекают людей отказываться от существующих правил. В экспериментах, которые мы провели вместе в Джонатаном Шулером (Jonathan W. Schooler) из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, было показано, что испытуемые, читавшие отрывок текста с аргументами против свободной воли, списывали при решении академического теста на 50% больше, чем испытуемые, читавшие нейтральный текст. Более того, в другом тесте, где платили за каждый правильный ответ, эти люди завышали число правильных ответов и получили большую сумму.

Снижение веры в свободную волю, похоже, высвобождает и желание причинить другим неприятности, что также подрывает сплоченность общества. Есть довольно необычный тест для измерения уровня агрессии при психологических исследованиях. Он заключается в том, что испытуемые получают возможность добавить острый соус (сальсу) в блюдо тому, кто, как им известно, ненавидит острую пищу. Рой Баумейстер (Roy F. Baumeister) из Университета штата Флорида вместе со своими коллегами попросил группу добровольцев прочитать текст за или против свободной воли, а затем приготовить тарелку кукурузных чипсов, на которой точно указать, насколько они острые. Эти чипсы предназначались для другого добровольца, который ранее довольно пренебрежительно отказался сотрудничать с каждым членом группы. Все хорошо знали, что этот сторонящийся человек — не любитель пряностей, но он будет обязан съесть всю предложенную еду. Те, кто читал текст, отрицающий свободную волю, положили острого соуса примерно в два раза больше.

Нейробиологи показали, что связь между скептическим отношением к свободе воли и неэтичным поведением можно объяснить ослаблением силы воли. Перед тем как человек совершит какое-либо движение, например потянется за чашкой, в моторной коре его головного мозга возникнет определенная электрическая активность, так называемый потенциал готовности, который помогает управлять движением. Давиде Ригони (Davide Rigoni) из Падуанского университета в Италии с помощью записи электрической активности мозга с поверхности головы испытуемого показал, что сомнения в свободной воле приводят к снижению потенциала готовности. В последующем исследовании было продемонстрировано, что людям с ослабленной верой в свободную волю было сложнее подавлять импульсивные реакции во время компьютерного теста на свободную волю. По-видимому, чем меньше мы верим в свободную волю, тем меньшая сила удерживает нас от лжи, мошенничества, воровства и кормления острым соусом невежливых людей.

Новое правосудие

Как же изменится общество, если исследования мозга так и будут снижать веру людей в наличие свободной воли?

Мы видим три варианта развития событий. История знает немало примеров, когда моральные нормы

эволюционировали вместе с новым знанием об устройстве мира. Психолог Гарвардского университета Стивен Пинкер (Steven Pinker) в своей недавней книге «Лучшие стороны нашей природы» (*The Better Angels of Our Nature*) документально обосновывает произошедшую за последние 300 лет «гуманистическую революцию», в результате которой поведение, считавшееся ранее нормой, такое как работорговля и пытки, стало широко осуждаемым и морально недопустимым. Пинкер считает, что отчасти эти изменения связаны с увеличением знаний о разных культурах и человеческом поведении благодаря массовому росту грамотности и усилению информационного обмена в эпоху Просвещения.

Новые исследования, открывающие биологические механизмы, лежащие в основе человеческого мышления и поведения, могут столь же значительно изменить и моральные представления. Это первый вариант. Как уже бывало ранее, изменения в морали могут повлечь за собой и улучшения пенитенциарной системы. Принцип возмездия «око за око», преимущественно определяющий в настоящее время систему уголовного наказания, одобряется сторонниками существования свободной воли, хотя, возможно, абсолютно неэффективен в предотвращении совершения будущих преступлений. Обществу следует прекратить наказывать людей только ради того, чтобы увидеть их страдания, а вместо этого сосредоточиться на эффективных способах профилактики преступлений и превращения бывших правонарушителей в благочестивых граждан. Именно такие стратегии развития становятся более привлекательными, когда люди начинают задаваться вопросами о существовании свободной воли. Хотя сомнения в ее наличии подчас неприятны, они могут способствовать развитию общества и подтянуть нашу мораль и правовые институты до уровня современных научных представлений, что в итоге сделает нас сильнее.

Однако все может пойти совсем не так. Как показывают наши исследования, чем больше люди сомневаются в свободной воле, тем мягче они относятся к преступникам и тем проще позволяют себе нарушать правила и причинять другим вред, если это нужно для достижения собственных целей. Поэтому второй вариант заключается в том, что возникший скептицизм в отношении свободной воли может оборвать назревающую «гуманистическую революцию», что потенциально закончится полной анархией.

Третий вариант наиболее вероятен. Вольтер в XVIII в. очень точно заметил, что «если бы Бога не существовало, его следовало бы выдумать», потому что идея Бога жизненно важна для сохранения закона и порядка в обществе. Параллель с верой в свободную волю, которая удерживает людей от проступков, расшатывающих общество, очевидна. Что будет делать наше общество, если откажется от понятия свободной воли? Возможно, тогда ее надо будет выдумать заново. ■

Перевод: М.С. Багоцкая



Школы для слепых помогли найти детей, которые подходят для операции по коррекции зрения

Паван Синха

ОНИ БЫЛИ СЛЕПЫ, А ТЕПЕРЬ ВИДЯТ!

ХИРУРГИЧЕСКИЕ
ОПЕРАЦИИ
ПОМОГАЮТ СЛЕПЫМ
ИНДИЙСКИМ
ДЕТЯМ ПРОЗРЕТЬ,
А УЧЕНЫМ ПОНЯТЬ,
КАК УСТРОЕНО
ЗРИТЕЛЬНОЕ
ВОСПРИЯТИЕ



ОБ АВТОРЕ

Паван Синха (Pawan Sinha) — профессор Массачусетского технологического института, специалист по зрительному восприятию и нейроинформатике. Он изучает механизмы распознавания мозгом мест и объектов.



Моя мать хранила мелочь в синей стеклянной миске недалеко от входной двери. Выходя из дома, она всегда брала оттуда несколько монеток для милостыни нищим, которые ей обязательно встречались на улицах. Я всегда восхищался неизменностью ее ритуала, поскольку при таком обилии человеческих страданий в Индии люди быстро становятся равнодушными.

Несколько месяцев миска стояла без дела — моя мать боролась с раковой опухолью. Я вернулся в Индию в 2002 г., через год после маминой смерти, и с удивлением заметил, что миска была одной из немногих ее вещей, которые сохранил мой отец. Мог ли я тогда подумать, что она изменит мою жизнь.

Зимой, во время той поездки, однажды после обеда я решил навестить друзей и прихватил несколько монет из той миски. Была холодная погода, и я был рад, когда нашел такси, в котором закрывались все окна (что не характерно для Дели). Через несколько минут машина остановилась на перекрестке. Движение было на удивление свободным, и я заметил небольшую семью, ютившуюся на обочине. Я вытащил несколько монеток, опустил стекло и подозвал их к себе.

Они медленно подошли, среди них было два ребенка, державшихся за сари женщины. Было горько смотреть на босоногих детей, одетых в тонкие лохмотья. Еще мучительнее было обнаружить, что они слепые. Семья стояла рядом с машиной, и я мог отчетливо разглядеть катаракту у них на глазах. Я удивился, поскольку раньше наблюдал катаракту только у стариков. Загорелся зеленый сигнал светофора, я сунул монеты в руку нищенки, и машина тронулась, оставляя семью позади. Лица детей преследовали меня еще несколько дней. Я попытался выяснить как можно больше о детской слепоте в Индии. То, что я узнавал, повергало меня в ужас.

В Индии очень высокая численность слепых детей — около 400 тыс. человек. Нарушение зрения в сочетании с крайней нищетой сильно снижает качество их жизни, и смертность среди них пугающе высока. Всемирная организация здравоохранения подсчитала, что 60% детей

гибнут в течение одного года после наступления слепоты. Менее 10% получают хоть какое-то образование. Перспективы слепых девочек еще более тяжелые. Многие из них заперты дома и подвергаются физическому или сексуальному насилию.

Как бы ни были ужасны эти цифры, меня особенно взволновало, когда я прочитал, что большинство страданий неоправданны: примерно в 40% случаях слепоту можно вылечить или предотвратить. Тем не менее большинство молодых людей никогда не получали медицинской помощи, поскольку лечебные учреждения существуют только в больших городах, а около 70% людей в Индии живут в деревнях. Значит, слепой ребенок из бедной крестьянской семьи обречен на темную и трагически короткую жизнь.

Я смотрел на эти цифры с некоторым недоверием. Я же вырос в Индии. Как я мог не знать об этой проблеме? И как такая ситуация сочетается с популярными разговорами об Индии как о сверхдержаве с экономическим ростом? Я посетил деревни вокруг Дели, южный штат Андхра-Прадеш и дельту Ганга в Западной Бенгалии. Встретив множество слепых детей, я убедился, что вся статистика основана на фактах. Безнадёжная нищета, которую я наблюдал в деревнях, помогла мне понять, почему большинство детей остаются без лечения.

С того случая в Дели начался мой внутренний путь, который еще далек от завершения. Я решил помочь слепым детям вернуть зрение. И как ученый понял, что получил беспрецедентную возможность ответить на один из самых сложных вопросов нейробиологии: как мозг научился видеть?

Ответ в вопросе

Этот вопрос одновременно и пленял и разочаровывал меня, еще когда я учился в аспирантуре Массачусетского технологического института (МИТ). Как постоянно падающий на сетчатку поток, в котором перемешаны цвет, яркость, текстура, превращается, например, в очертания рук и тела танцующей девушки и в ее юбку с синим и зеленым узором?

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В Индии проживает около 400 тыс. слепых детей. Большинство из них не получают никакого образования, а девочки часто становятся жертвами физического и сексуального насилия.
- Автор статьи — невролог, и он решил помочь детям и подросткам, страдающим от катаракты, увидеть мир в том возрасте, когда развитие зрения уже считалось невозможным.
- Операция часто оказывалась успешной, даже если пациент был старше 20 лет. Кроме того, эта процедура позволила группе ученых во главе с автором статьи по-новому взглянуть на работу зрительной системы.

Распознавание изображения

СОБРАТЬ НОВЫЙ ЗРИТЕЛЬНЫЙ МИР

Когда дети из проекта *Prakash* видят мир впервые, они не могут собрать отдельные детали в единый образ. Эту проблему можно проиллюстрировать с помощью фотографии танцующих девушек. Зрительная система должна организовать фрагменты разного цвета, яркости и фактуры в единый объект.

Фотография (в центре) показывает расположение разнородных элементов. Как только набор статичных элементов с определенными границами (илл. справа) начинает движение, мозг объединяет ритм шагов и взмахов в одну цельную фигуру — тело танцора.



Чаще всего развитие зрительной системы изучают с помощью экспериментов с младенцами. Однако, несмотря на то что таким образом были получены важные результаты, подход имеет и существенные недостатки. Подобные опыты проводить крайне сложно — у маленьких детей ограничены способности понимать и реагировать, им тяжело бодрствовать в темноте. Другой осложняющий фактор: в процессе роста ребенка происходят одновременные изменения в разных (но связанных между собой) отделах мозга, отвечающих за мотивацию, внимание и движение глаз.

Летом 2002 г. я оказался перед двумя, казалось, не связанными между собой вопросами. Как мозг учится осмысливать зрительную информацию? И как я могу помочь слепым от рождения детям восстановить зрение? До сих пор я вспоминаю трепет, охвативший меня, когда я понял, что эти два вопроса дополняют друг друга и один из них отвечает на другой. Наблюдения за прозревшими детьми помогут нам понять, как развивается зрение, а данный научный подход, в свою очередь, может подсказать эффективное лечение.

Вернувшись в МИТ, я изложил своим коллегам разработанный мною план проведения исследований, объединяющий научную и гуманистическую цели, и подал заявку в Национальный институт глаза, который входит в состав Национальных институтов здоровья. Я немного волновался, что правительственная организация США сразу отклонит просьбу финансировать операции в Индии. Кроме того, область деятельности была сложна технически и отсутствовали предварительные данные о практической пользе. Однако комиссия увидела научный и гуманистический потенциал работы и присудила мне исследовательский грант на выяснение технической выполнимости.

Далее надо было найти медицинскую организацию в Индии, где слепые дети могли получить хирургическую помощь мирового уровня. На общем фоне выделялся Благотворительный глазной госпиталь им. доктора Шроффа (*SCEH*) в Дели. Он был замечательно технически оборудован для лечения детей, а врачи одобряли проект, дававший им возможность помогать слепым ребятам и заниматься научными исследованиями.

Итак, все встало на свои места. Однако нужно было придумать название, которое отражало бы двойную миссию проекта: нести свет в жизни людей и проливать свет на научные вопросы. Я взял из санскрита слово *prakash*, обозначающее свет. Теперь мы получили название с легкой примесью аллитерации: проект *Prakash*.

Поможет ли хирургия?

Проект был разделен на несколько этапов. Во-первых, с помощью мобильных пунктов проверки зрения в сельских районах мы нашли детей, а в некоторых случаях и подростков, которым могло помочь лечение. Команда офтальмологов, оптиков и других медицинских специалистов обследовала их на предмет проблем зрения (аномалии рефракции), глазных инфекций и излечимой слепоты (в первую очередь от врожденной катаракты и рубцов на роговице). Отобранные дети были отправлены в госпиталь в Дели для более тщательного осмотра, включающего офтальмоскопию (осмотр глазного дна), УЗИ глаза, оценку общего состояния ребенка и его готовности к операции. Потом договаривались с опекунами и назначали дату операции.

Операция по удалению катаракты у детей гораздо сложнее, чем у взрослых. Требуется общая анестезия и более интенсивный послеоперационный уход.

Хирургическая процедура заключается в разрушении ороговевшего непрозрачного хрусталика, удалении его через маленький разрез на краю роговицы и замене его на новый искусственный хрусталик. На одну операцию *Prakash* тратит примерно \$300 и потом проводит еще послеоперационные осмотры ребенка.

Когда наш проект только начинался, меня тревожил один вопрос: не проводим ли мы операции (хоть и из лучших пробуждений) слишком поздно для действительной помощи? Что если критический период в начале жизни человека, в который особенно интенсивно используются глаз и зрительные отделы мозга, был у наших пациентов пропущен и способность к зрению никогда не разовьется? Это было вполне правдоподобно. Впервые позднее появление зрения описал английский хирург Уильям Чеселден (William Cheselden), он наблюдал 13-летнего мальчика, рожденного с катарактой на обоих глазах. Чеселден обратил внимание, что даже после устранения катаракты зрение у ребенка оставалось нарушенным.

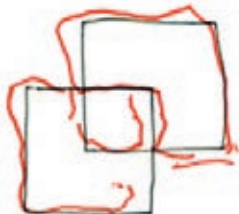
Лабораторные исследования по влиянию ограничения зрительной информации на животных рисуют такую же мрачную картину. Лауреаты Нобелевской премии 1981 г. Торстен Визел (Torsten Wiesel) и Дэвид Хьюбел (David Hubel) описали исключительно неблагоприятные последствия у кошек после раннего лишения их зрительной информации. На этом фоне естественно возникает вопрос, могут ли наши операции быть хоть сколько-то полезны в таком позднем возрасте.

Я чувствовал, что лечение необходимо. Рискованно полностью доверять старым отчетам, например Чеселдену. Неудачный результат операции мог быть вызван повреждением глаза в результате грубых методов, использовавшихся в старину для устранения катаракты. И в большинстве исследований на животных зашивали веки только на одном глазу, в то время как у детей, которых мы лечили, поражены были оба глаза. Удивительно, но если лишить зрительной информации только один глаз, последствия для него будут хуже, чем если не работают оба глаза. Однако вопрос, какие зрительные функции могут развиваться после операции по лечению слепоты у подростков, еще оставался открытым.

Первый взгляд

ТОЛЬКО ЧАСТЯМИ, НО НЕ ЦЕЛИКОМ

Тест показывает, что даже двухмерные фигуры прозревшие дети воспринимают фрагментарно. Красные линии на рисунке свидетельствуют, что каждая ограниченная линиями область воспринимается как самостоятельная фигура. Мальчик видел пятна на шкуре коровы или тень на мяче (на рисунке обведены зеленым) как отдельные фигуры. Следовательно, он не мог узнать ни одного из этих изображений.



Теперь мы видим

Великий американский психолог Уильям Джеймс писал, что младенец до созревания зрительной системы воспринимает мир как «шумную разноцветную смесь». Перед проектом *Prakash* встал вопрос, будут ли ощущения наших пациентов (а некоторые из них впервые открыли глаза в 20 лет) отражать ранние стадии зрительного развития, когда на нас обрушивается огромный комплекс цветов, форм и движений. Сможет ли их зрительная система преодолеть необходимый анархический этап и организовать входящие сигналы в осмысленный образ? У слова «организация» здесь два значения. Первое — интрамодальная организация: процесс объединения различных частей изображения в цельные объекты, то, что мы называем словом «видеть». Второе — интермодальная организация: то, как зрение взаимодействует с другими органами чувств.

Наша способность выделять из потока зрительной информации обособленные объекты работает так четко, что кажется элементарной. Мы открываем глаза, и все сразу встает на свои места, мир превращается в упорядоченный набор вещей. Однако оказалось, что ощущения детей из проекта *Prakash* сильно отличаются, у них наблюдаются значительные нарушения. Ребята не могут объединить области различного цвета и яркости в единое целое. Они воспринимают многие черты обычных вещей, например перекрывающийся участок на рисунке с двумя квадратами, половинки мяча, разделенные поло-

ской, как отдельные объекты, а не части одной большой структуры. Любая визуальная сцена воспринимается прозревшими людьми как коллаж не связанных между собой цветных пятен, наподобие абстрактной живописи. При такой чрезмерной фрагментации изображения почти невозможно обнаружить цельный объект.

В связи с подобными нарушениями у наших пациентов возникает важный вопрос, волнующий ученых уже на протяжении 100 лет: по каким признакам люди с нормальным зрением правильно интерпретируют сложное изображение? Похоже, ответ заключается в том, как мозг группирует входящие сигналы (в гештальтпсихологии, возникшей в начале XX в., это называется «законы группировки»). Например, в зрительной системе запрограммировано мысленное достраивание прерывистых линий в единый контур.

Сразу после операции у детей из проекта *Prakash* такой группировки сигналов не возникает, но с течением времени происходят интересные изменения. Я хорошо помню нашего первого пациента С.К. Мы встретили этого 29-летнего парня в тесном общежитии для слепых подростков на окраине Дели. Быстрое обследование показало, что у него была врожденная афаксия (от греч. *phakos* — «линза; хрусталик») — редкое заболевание, когда ребенок рождается без хрусталиков в глазах. Зримый мир С.К. был размытым сильнее, чем требуется для признания практической слепоты в США. Он ходил с белой тростью и учился по шрифту Брайля. Обратите внимание: чтобы скорректировать свою афаксию парой стеклянных линз, пациенту С.К. нужно было всего \$20, но он не мог себе это позволить.

Мы сделали очки для С.К. и сразу проверили его зрение. Нас поразило, что вопреки нашим наивным предположениям резкое улучшение зрения не вызвало у него особых эмоций. Как показали тесты, увиденный им мир состоял из запутанного множества фрагментов разного цвета и яркости, которые практически не собирались в цельный образ. Даже простые рисунки, такие как, например, круг, перекрывающий квадрат, представлялись как набор сцепленных фигур странной формы, при этом на ощупь он хорошо знал геометрические фигуры. С.К. пришлось немало потрудиться, выявляя границы объектов на фотографиях. Затемнение и тень, наложение и перекрывание были для него непреодолимы, каждый участок, отличающийся по тону или освещенности, казался ему отдельным объектом.

Любопытно, что такая каша из фрагментов стала собираться в осмысленную структуру, когда добавили одну специальную зрительную подсказку — движение. Статичные изображения, ранее безнадежно запутанные для С.К., вдруг стали распознаваться, когда составляющие их элементы начали двигаться. На видеозаписи с С.К. можно наблюдать, какое волшебное превращение происходит с ним, когда рассматриваемая картинка оживает.

В течение нескольких месяцев мы наблюдали, как С.К. учился видеть. Ему было по-прежнему тяжело понимать статичные изображения. Но все изменилось, когда мы уже смирились с тем, что С.К. всю жизнь будет испытывать сложности с распознаванием изображений. Улучшение наступило через полтора года, без всякого специального обучения, только за счет наблюдения за окружающим миром. Теперь С.К. уже мог правильно различать статичные изображения и был счастлив от улучшения зрения. Так замечательно завершилась эта история, из-за которой мы сильно переживали.

В последующих работах с более молодыми пациентами мы наблюдали аналогичную ситуацию. После многомесячных неудачных попыток анализировать изображения дети начинали успешно воспринимать цельные объекты. По-видимому, срок, необходимый для формирования данной способности, зависит от возраста, в котором сделали операцию: чем раньше, тем быстрее можно научиться.

На чем основано подобное улучшение? Можно предположить, что именно движение «учит» зрительную систему анализировать даже статичные изображения. Руководствуясь правилом «элементы, которые двигаются вместе, составляют единое целое», зрительная система постепенно может научиться группировать элементы изображения и по статичным признакам, таким как цвет или ориентация в пространстве.

Конечно, мозг не только разделяет зрительный образ на элементы. Кроме этого он присоединяет звуки, ощущения, запахи и вкус, т.е., используя интермодальную организацию, создает сенсорную панораму события. Философы и нейробиологи на протяжении столетий интересовались вопросом, как зрение связано со слухом и остальными чувствами. В 1688 г. ирландский ученый Уильям Молинье писал британскому философу Джону Локку: «Представим себе слепорожденного, уже взрослого и научившегося посредством осязания отличать куб от шара одного и того же металла и почти одной и той же величины, так что, ощупав тот и другой, он может сказать, который из них куб или шар. Предположим теперь, что тот и другой находятся на столе, а слепой прозрел. Спрашивается, может ли он теперь одним зрением, без прикосновения к ним, различить их и сказать, который шар и который куб?» (*цит. по: Локк Дж. Сочинения: в 3 т. / пер. с англ. А.Н. Савина под ред. И.С. Нарского. Т. 1. М.: Мысль, 1985. — Примеч. пер.*)

Локк включил вопрос Молинье в свой знаменитый труд «Опыт о человеческом разумении» (1692). Этим вопросом Молинье обозначил ряд важных фундаментальных проблем. Как связываются различные ощущения для формирования единого представления о реальности? Мы рождаемся с готовым набором понятий о мире, или они должны развиваться с опытом? Могут ли они сформироваться уже в старости? Размышления философов-эмпиристов, таких как Джон Локк, Джордж Беркли, Дэвид Юм, над данными вопросами чрезвычайно важны и для современной нейробиологии.

Наблюдая за тем, как дети из проекта *Prakash* связывают зрение с другими ощущениями, мы получили возможность ответить на вопрос Молинье. Сразу после глазной операции мы предложили ребятам пройти тест «выбор по соответствию с образцом». Ребенок осматривает или ощупывает простой предмет на однородном фоне, а затем либо зрительно, либо на ощупь должен выбрать точно такой же, но уже из двух различных объектов.

Характерно было поведение нашего пациента, обаятельного восьмилетнего мальчугана Ю.С. с плотной врожденной катарактой на обоих глазах. Как и большинство детей из проекта *Prakash*, Ю.С. прекрасно себя чувствовал уже на второй день после операции и был готов сотрудничать с нашими учеными.

При проведении теста мы поставили загородку так, чтобы Ю.С. не мог видеть своих рук. Сначала ему предложили ощупать первый объект (образец) и положить его на место. Затем мальчик получал два объекта (образец и новый), и ему требовалось указать образец. Выбор образца во всех парах не вызвал у Ю.С. никаких затруднений.



Мобильный пункт: детей, которым может помочь глазная операция, ищут по школам и деревням

Так же безошибочно он выбирал образец, когда мог только видеть объекты. Но точность ответов резко упала в решающем тесте на перенос, где образец надо было рассмотреть, а затем выбрать его только на ощупь. Схожие результаты были и у четырех других детей.

Такие исследования дают отрицательный ответ на вопрос Молинье: передачи информации от осязания к зрению сразу после появления способности видеть не происходит. Безусловно, результат интересен сам по себе, но у него есть еще и удивительное дополнение.

Когда мы повторно через неделю протестировали Ю.С., оказалось, что его уровень решения теста на перенос неожиданно вырос со случайного уровня практически до безошибочного выполнения. То же самое было и у двух других ребят. Всего за несколько недель у детей из проекта *Prakash* начали формироваться навыки зрительно узнавать объект, с которым их знакомили на ощупь, а значит, у них существовала скрытая способность быстро научиться связывать информацию от разных органов чувств. Данные исследования свидетельствуют о том, что многолетняя врожденная слепота не исключает возможности развития сложных зрительных способностей в достаточно позднем возрасте. Эта новость очень обрадовала нас как с научной точки зрения, так и с медицинской. Следовательно, зрительная система даже в подростковом и юношеском возрасте достаточно пластична, чтобы адаптироваться к новым ощущениям, а значит, глазные операции помогут детям.

Эти данные заложили основу для дальнейшего углубленного изучения развития зрения у детей и подростков. Мы провели широкую оценку зрительных функций у участников проекта, которым было от шести до 20 лет. Наши исследования показали, что такие ключевые



Подготовка: ребенок проходит офтальмологическую проверку на готовность к операции

аспекты зрения, как острота (насколько точно может быть распознан зрительный образ), пространственная контрастная чувствительность (изменение остроты зрения при различном контрасте объекта и фона) и стабильность зрительного восприятия, сильно страдают при длительном ограничении визуальной информации. Похоже, что такие нарушения постоянны, поскольку даже через год эти способности не достигают нормального уровня.

Однако более сложные функции зрения, выходящие за пределы базовых аспектов, например способность различать отдельные объекты на изображении или связать зрение с информацией от других органов чувств, значительно улучшаются. Дети из проекта *Prakash* могут научиться распознавать лица и мысленно понимать пространственное расположение наблюдаемых объектов.

Новые перспективы

Данные исследования позволяют нам оценить, что можно, а чего невозможно достичь детям, прозревшим в позднем возрасте. С одной стороны, принятая раньше точка зрения не подтвердилась, оказалось, что зрительные функции не утрачиваются, если мозг и глаза не обрабатывают зрительные сигналы в течение критического периода (первые годы жизни). С другой стороны, ранний зрительный опыт критично важен для нормального развития ряда способностей, например острого зрения.

Эти первые исследования дают начало новым работам, и некоторые из них довольно далеко уходят от проблем слепоты. Так, основываясь на исследованиях проекта *Prakash*, мы разрабатываем программное обеспечение для распознавания различных объектов, например лиц на видеозаписи. Кроме того, проблемы группирования зрительной информации, похожие на те, которые



На операции: хирург аккуратно вырезает катаракту, чтобы впервые после рождения ребенок смог увидеть мир

в нашем случае испытывают дети сразу после операции, описаны и у детей с аутизмом. В моей лаборатории началась работа по выявлению причин нарушения обработки сенсорных сигналов при этом заболевании. А впереди нас ждут еще более захватывающие исследования. Недавно мы приступили к вопросу о связи структур мозга с его функциями: мы планируем с помощью метода функциональной магнитно-резонансной томографии сравнивать, что происходит с корой больших полушарий мозга детей, прозревших в разном возрасте, чтобы понять, как долго на протяжении жизни мозг способен реорганизоваться.

Перед проектом *Prakash* стоят важные задачи, главные из которых — расширить рамки проекта, увеличить число медицинских программ и создать возможность для интеграции наших пациентов в общество. У нас многообещающие планы по решению этих задач. Начать мы хотим с создания детского центра *Prakash*, в котором можно будет объединить медицинскую помощь, образование и научные исследования. Там будут педиатрическое отделение, нейробиологический центр первоклассного уровня и восстановительное отделение, чтобы прооперированные дети могли максимально использовать свои новые возможности.

На сегодня выездными офтальмологическими бригадами проекта осмотрено около 40 тыс. детей, проживающих в самых бедных и заброшенных деревнях Северной Индии. Около 450 детей прооперировано, более 1,4 тыс. получили фармакологическую и оптическую помощь. И это только начало, учитывая масштаб проблемы.

И я, и мои студенты получаем огромное удовлетворение от результатов проекта *Prakash*, кроме того, наша работа затрагивает каждого на более глубоком, личном уровне. У каждого слепого ребенка, попадающего к нам,



Готовность видеть: девочка пришла на послеоперационный осмотр, чтобы получить от окулиста рецепт на очки

своя история жизненных лишений и социальной изоляции. С.К. вернулся домой в свой штат и мечтает стать учителем. Дж.А., которого прооперировали в 14 лет, сейчас, спустя шесть лет, с легкостью самостоятельно ориентируется в безумном дорожном движении Дели. Женщина, трое детей которой родились с врожденной катарактой, больше не должна терпеть издевательства и насмешки соседей, что она якобы проклята. Два брата, которые только несколько месяцев назад начали видеть после восьми лет врожденной слепоты, страшно волнуются перед поступлением в школу для зрячих детей.

Все эти достижения свидетельствуют о больших возможностях сотрудничества: своим существованием проект *Prakash* обязан ученым, врачам, педагогам и спонсорам, объединившимся ради прогресса фундаментальной и прикладной науки. Что касается меня, то я в неоплатном долгу перед той синей стеклянной миской и перед тем замечательным человеком, которому она когда-то принадлежала. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Видео, где Паван Синха рассказывает о том, как мозг учится видеть, см: на сайте TED по адресу: www.ted.com/talks/pawan_sinha_on_how_brains_learn_to_see.html
- The Newly Sighted Fail to Match Seen with Felt. Richard Held et al. in *Nature Neuroscience*, Vol. 14, No. 5, pages 551–553; May 2011.
- Сайт проекта *Prakash*: www.projectprakash.org
- Увидеть детей из проекта *Prakash* можно по адресу: Scientific-American.com/jul2013/prakash



Салли Лерман

Злой ГЕНИЙ Человечества

Туберкулез, древний бич человечества,
перехитрил людей и стал эволюционировать
неожиданным образом

Сегодня большинство людей в развитых странах если и вспоминают о туберкулезе, то, скорее всего, как о призраке прошлого. С древних времен цепкие бактерии «пожирали» тела бесчисленного множества людей, наполняя их легкие кровавой мокротой. В последующие столетия туберкулез продолжал атаку, не считаясь с экономическими и классовыми барьерами, поражая как известных личностей, так и простых смертных. Среди наиболее известных его жертв поэт Мануэл Бандейра, писатели Джордж Оруэлл, Франц Кафка, Эмили и Энн Бронте, Антон Чехов, художник Амедео Модильяни, создатель статуи Свободы скульптор Фредерик-Огюст Бартольди, актриса Вивьен Ли. В начале XX в. человечество пошло в атаку на туберкулез, проводя санитарные мероприятия, повышая уровень жизни и, наконец, используя антибиотики и не вполне эффективные вакцины. В 2011 г. туберкулезом болели примерно 9 млн человек, из них умерли 1,4 млн, преимущественно из бедных регионов мира. По сравнению с 1990 г. смертность снизилась более чем на треть. Кажется, ситуация обнадеживающая.

Однако, как показывают последние генетические исследования, проведенные небольшой авторитетной группой генетиков, возбудитель туберкулеза *Mycobacterium tuberculosis*, по-видимому, вскоре станет гораздо опаснее, чем когда-либо прежде, и не только потому, что некоторые его штаммы приобретают устойчивость к стандартному набору антибиотиков. Ученые выяснили, что этот микроорганизм представлен семью группами генетически родственных штаммов и по крайней мере один из них чрезвычайно опасен, поскольку

становится все более резистентным к антибиотикам и особенно легко распространяется в нашем густонаселенном мире.

В то же время специалисты опасаются, что современные подходы к лечению и использование единственной недостаточно эффективной вакцины могут способствовать формированию трудноискоренимых форм бактерий. Давно известно, что незавершенное лечение способствует появлению штаммов, устойчивых к антибиотикам. Но даже успешная терапия может вызвать проблемы, если при этом преимущественно уничтожаются слабые, медленно растущие штаммы. Такая политика позволит надежнее утвердиться более агрессивным, быстрее распространяющимся группам бактерий. Если подобные опасения станут реальностью, то в какой-то момент туберкулез снова начнет распространяться повсеместно, но лечить его будет сложнее и поражать он будет разные слои населения, в том числе те, которые раньше страдали гораздо меньше.

Тем не менее надежда остается. Генетические исследования дают некоторые представления о том, как бороться с наиболее опасными разновидностями туберкулезных бактерий. Руководитель исследований туберкулеза в Национальном институте аллергии и инфекционных заболеваний Клифтон Барри (Clifton E. Barry III) предполагает, что не следует пытаться искоренить заболевание. Может быть, вместо уничтожения всех болезнетворных туберкулезных бактерий надо сохранить более мягкие формы, которые с большей вероятностью останутся в неактивном состоянии. Организовать такое мероприятие довольно сложно.

Таинственные вспышки

В 1986 г. работники здравоохранения в Нью-Йорке были застигнуты врасплох агрессивной вспышкой устойчивой к лечению формы туберкулеза. Потребовалось около десяти лет и сотни миллионов долларов, чтобы взять ее под контроль. Это удалось сделать в основном благодаря строгому отслеживанию пациентов с активной формой заболевания и проверке того, что шести- или девятимесячный курс лечения комплексом антибиотиков доведен до конца (в некоторых случаях для того, чтобы уничтожить всех возбудителей до единого, понадобилось два года).

В то время специалисты были настолько уверены в своей способности контролировать туберкулез, что большинство программ по диагностике были закрыты, а финансирование исследований свелось к минимуму. В 1985 г. Национальные институты здравоохранения сократили расходы на исследование заболевания до жалких \$300 тыс., и практически все занимавшиеся туберкулезом биологи могли бы уместиться в салоне одного минивэна. В Нью-Йорке к концу 1980-х гг. только восемь клиник специализировались на этом заболевании.

В течение нескольких лет снижение заболеваемости приостановилось, а потом без видимой причины процесс пошел в обратную сторону. Обычные противотуберкулезные препараты не могли больше гарантированно подавлять инфекцию даже у дисциплинированных пациентов, прилежно выполнявших все рекомендации.

Обеспокоенные работники здравоохранения рассмотрели все возможные причины явления. Многие случаи новой формы заболевания отмечались у недавно приехавших эмигрантов и некоторых пациентов с ВИЧ, что не удивительно. Примерно треть населения Земли — носители возбудителей туберкулеза, находящиеся в неактивной фазе. Заболевание переходит в активную стадию под действием внешних факторов, стресса или другого недуга. В легочной ткани начинается борьба иммунной системы с бактериями, и больной становится заразным для окружающих. Иммигранты прибывали из Юго-Восточной Азии, Восточной Азии и Мексики, где заболеваемость туберкулезом в 10–30 раз выше, чем в США. В середине 1980-х гг. казалась понятной и высокая заболеваемость у ВИЧ-инфицированных пациентов: нарушения в работе иммунной системы способствуют переходу латентной инфекции в активную форму.

И все же такие стандартные причины вспышки заболеваемости не объясняли всех имеющихся фактов. Туберкулез распространялся среди уязвимых слоев

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Ежегодно от туберкулеза умирает более миллиона людей на планете, а примерно треть населения Земли — скрытые носители инфекции.
- Туберкулез может превратиться в новое заболевание со значительно большей смертностью, более высокой скоростью распространения и устойчивостью к антибиотикам.
- Улучшение условий жизни, в частности качества жилья, может помочь решить проблему.

ОБ АВТОРЕ

Салли Лерман (Sally Lehrman) — журналист, пишет на медицинские темы и освещает политические аспекты науки. Сейчас она работает над книгой о неравенстве в области здравоохранения по заказу издательства Оксфордского университета.



населения Нью-Йорка быстрее, чем когда-либо, и люди умирали гораздо чаще. Было еще что-то, что способствовало возрождению туберкулеза, который быстро «оживал» во Флориде, на Гавайях, в Техасе и Калифорнии.

Новый взгляд

В итоге оказалось, что проблема отчасти обусловлена активностью ранее неизвестной группы быстро распространяющихся туберкулезных бактерий. В отличие от них обычные возбудители туберкулеза размножаются медленно и даже при отсутствии лечения долгое время находятся в покое после первичного заражения. В результате иммунного ответа организм как бы отгораживается от бактерий, но они сохраняются, и начинается шаткое перемирие, которое может длиться десятилетиями.

Новая группа туберкулезных микробов получила название пекинской, поскольку максимальное количество случаев заражения было выявлено в столице Китая. Выяснилось, что это подгруппа одной из шести больших групп туберкулезных бактерий. (Существует еще седьмая группа, которую обнаружили только шесть месяцев назад на полуострове Сомали.) До начала 1990-х гг. никто не предполагал, что есть несколько разновидностей *M. tuberculosis*. Первые намеки на существование различных групп штаммов возбудителей туберкулеза были получены в 1991 г. в Сан-Франциско во время вспышки заболевания в приюте для бездомных ВИЧ-инфицированных.

Питер Смолл (Peter Small), который в настоящее время руководит программой по борьбе с туберкулезом в Фонде Билла и Мелинды Гейтс, тогда проходил стажировку в Городской больнице Сан-Франциско, где работал с Филиппом Хоупвеллом (Philip Hopewell), известным специалистом по туберкулезу. К тому моменту Смолл только научился отслеживать распространение отдельных штаммов возбудителей туберкулеза, идентифицируя специфические нуклеотидные последовательности в их ДНК. Пока работники здравоохранения выполняли стандартную работу по выявлению всех, кто находился в контакте с инфицированным, Смоллу поручили идентифицировать и проследить пути распространения разных штаммов возбудителя.

Результаты оказались ужасающими: среди 14 обитателей приюта, заболевших в течение четырех месяцев, у 11 был один и тот же штамм, который определили по наличию в его ДНК уникальной нуклеотидной последовательности. Это означало, что имело место недавнее заражение, а не активация старых скрытых инфекций

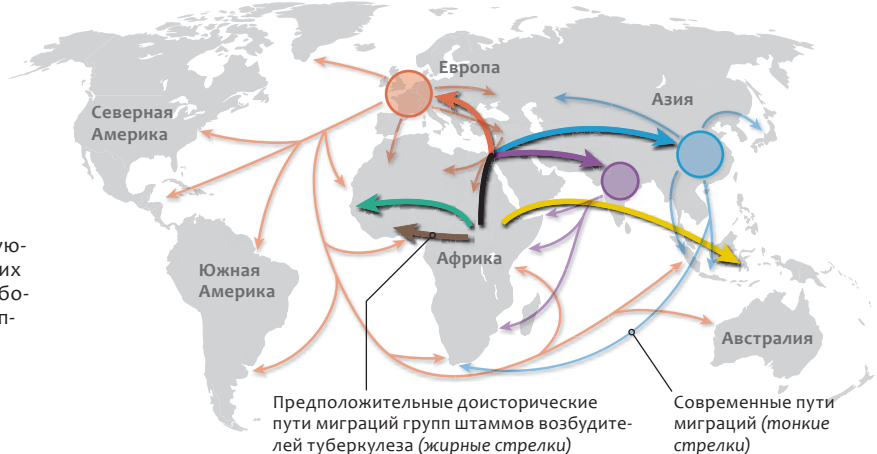
Эволюция

КАК ТУБЕРКУЛЕЗ ЗАВОЕВАЛ МИР

Ученые долгое время считали, что туберкулез появился примерно 10 тыс. лет назад, когда началось одомашнивание животных. Но результаты недавно проведенных генетических анализов показали, что произошло это еще до первого исхода человека из Африки 60-70 тыс. лет назад. Зараженные люди расселились по разным континентам, и в итоге образовалось как минимум семь групп штаммов.

Исход из Африки и возвращение обратно

Две старейшие группы штаммов появились в Западной Африке; их находят там и до сих пор. Еще четыре группы захватили побережье Индийского океана, Индию, Восточную Азию и Европу. Дальнейшему распространению инфекции способствовали последующие миграции и колонизация. До сих пор не ясно, почему во времена работорговли западноафриканские группы штаммов не попали в Америку.



Основные группы штаммов Древние

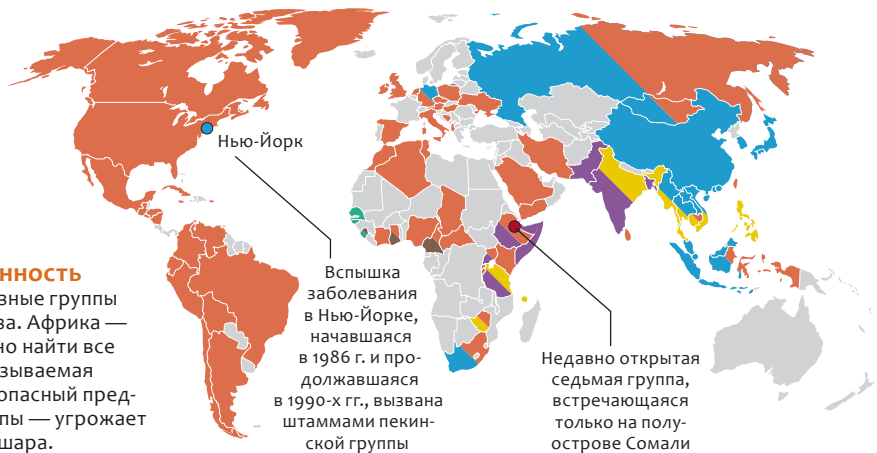
- Западноафриканская 1
- Западноафриканская 2
- С побережья Индийского океана
- Предполагаемый общий предок новых групп

Новые

- Евроамериканская
- Восточноафриканско-индийская
- Восточноазиатская

Современная распространенность

В разных регионах закрепились разные группы штаммов возбудителей туберкулеза. Африка — единственный континент, где можно найти все известные группы штаммов. Так называемая пекинская подгруппа — особенно опасный представитель восточноазиатской группы — угрожает сегодня населению всего земного шара.



SOURCE: "HIGH FUNCTIONAL DIVERSITY IN MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS DRIVEN BY GENETIC DIVERSITY" BY RUTHERSBERGET AL., IN PLOS BIOLOGY, VOL. 6, NO. 12, DECEMBER 16, 2008 (top); "VARIABLE HOST-PATHOGEN COMPATIBILITY IN MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS" BY SEBASTIEN GAUCHEUX ET AL., IN PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES USA, VOL. 105, NO. 8, FEBRUARY 21, 2008 (bottom)

(при которых наблюдалось бы разнообразие генетических профилей возбудителей). Кроме того, скорость развития от заражения до полномасштабного заболевания и передачи инфекции другим людям была молниеносной.

Это был очень тревожный звонок. Исследователи предполагали найти возобновление заболевания у лиц с ослабленной иммунной системой, но никак не новую инфекцию. Особенно поразило их то, насколько быстро распространялись бактерии и как стремительно прогрессировало заболевание. Казалось, что ВИЧ и туберкулез объединили свои усилия в нападении на иммунную систему человека. Инфекция проскакивала скрытую фазу развития быстрее и была заразнее, поэтому особенно сложно было взять заболевание под контроль.

Группа ученых расширила круг своих исследований и занялась иммигрантами. На этот раз генетические тесты показали, что заболевания вызваны активизацией скрытой инфекции. Не все обнаруженные штаммы распространялись с одинаковой скоростью, что было странно, поскольку в то время считали, что все штаммы ведут

себя более-менее схожим образом. Смолл вместе с коллегами могли найти следы туберкулеза одного из пациентов по всему городу, тогда как другой, очень похожий пациент нигде не оставлял таких следов. Смоллу не оставалось ничего другого, кроме как сделать вывод, что бактерии различаются.

Данные исследования имели большое значение для здравоохранения. Врачам необходимо было приложить усилия для предотвращения распространения заболевания и контроля того, чтобы пациенты проходили курс лечения полностью. Ученые должны были пересмотреть свои представления об этом микроорганизме и процессах, происходящих при первичном заражении человека. Если бы все штаммы туберкулеза принадлежали к одной группе и вызывали заболевание сходным образом (как считалось долгое время), тогда, вероятнее всего, *M. tuberculosis* возник относительно недавно, возможно, 10 тыс. лет назад. С другой стороны, если разные группы возбудителей туберкулеза развивались и распространялись по-разному, значит данные микроорганизмы

существовали значительно дольше, чем считалось ранее, и у них было время для формирования разнообразных групп штаммов. В 2005 г. ученые из Института Пастера в Париже провели генетический анализ, результаты которого подтвердили, что *M. tuberculosis* сформировался из предкового вида еще 3 млн лет назад.

Пугающие свидетельства

Побережье залива Сан-Франциско оказалось идеальным местом для проверки гипотезы, что штаммы *M. tuberculosis* можно разделить на отдельные группы микроорганизмов с привязкой к конкретным географическим областям. Здесь жили иммигранты из Африки, Латинской Америки, Восточной Европы и многочисленных азиатских регионов, и в результате получалось собрание представителей микрофлоры со всего света. В начале 2000-х гг. исследователи начали изучать пробы, взятые у различных пациентов, больных туберкулезом, и с помощью молекулярных маркеров сравнили геном бактерий.

Исследовав 875 штаммов, собранных в период с 1991 по 2001 г. у выходцев из 80 стран, ученые определили, какие фрагменты ДНК есть у одних штаммов, но отсутствуют у других. Благодаря таким различиям выяснилось, что все штаммы образуют шесть больших групп, которые, по-видимому, возникли в разных регионах мира и, скорее всего, до сих пор заражают людей, живущих в этих местах. Среди трех древних групп две встречаются только в Западной Африке, а третья, тоже появившаяся в Африке, мигрировала вместе с человеком через Индийский океан более 60 тыс. лет назад. Из трех более новых групп одна развивалась в Западной Европе (и попала в Америку в конце XIX в.), другая существовала в северной Индии, а третья — в Восточной Азии (пекинская подгруппа оказалась частью этой группы). Африка была единственным местом, где в большом количестве присутствовали штаммы всех шести групп, хотя евроамериканская группа к тому времени была уже широко распространена, а пекинские штаммы стремительно закреплялись по всему миру.

В сотрудничестве с популяционным генетиком Маркусом Фельдманом (Marcus Feldman) и другими коллегами из Стэнфордского университета Себастьян Ганьо (Sebastian Gagneux), работавший тогда в Институте системной биологии в Сиэтле, проследил предков каждой из групп штаммов. Сравнив их ДНК по 89 важным генам (большинство из них жизненно необходимы для существования бактерии), Ганьо вместе с коллегами смогли оценить возрастные различия между группами и их перемещение по миру. Эти так называемые гены домашнего хозяйства находятся под огромным эволюционным давлением, но сохраняются практически неизменными, поскольку любое их нарушение наносит микроорганизму неисправимый ущерб. Таким образом, чем более схожи данные гены у разных штаммов, тем ближе они друг другу, а максимальные генетические различия прослеживаются у более древних групп.

Исследователи предположили, что старейшие группы африканских штаммов обитали в организме небольших

разрозненных групп охотников и собирателей. При таких ограниченных возможностях передачи заболевания могла возникнуть характерная для туберкулеза скрытая стадия развития болезни. Микроб мог, например, заразить ребенка, подождать появления следующего поколения людей и тогда активизироваться, чтобы поразить и их. Ученые полагают, что когда начались миграции древних людей, микроб шел за ними по пятам, и группа штаммов, характерная для побережья Индийского океана, развивалась, пользуясь ростом численности населения. Позже миграции и увеличение численности создали благоприятную почву для развития трех более новых групп, которые адаптировались к условиям жизни своих хозяев. Теперь люди путешествовали, торговали, жили в многолюдных городах, уходили на войну и умирали, а туберкулез, в свою очередь, стал вызывать все более частые и тяжелые случаи заболевания.

Кластерный анализ генетических данных показал, что развитие микроорганизма шло в тесной связи с его жертвой. Ганьо подчеркивает, что это всего лишь осторожное предположение, основанное на гипотезах выхода из Африки и возвращения обратно. Он допускает, что возникшие позже группы штаммов появились во время первого исхода человечества из Африки, затем вернулись обратно и через какое-то время мигрировали оттуда снова. Например, евроамериканская группа штаммов вслед за колонизаторами распространилась по Африке, Азии и Ближнему Востоку; восточноазиатская группа проникла в Южную Африку в XVII и XVIII вв. вместе с невольниками из Юго-Восточной Азии, а позже с китайскими золотоискателями.

Расхождение бактериальных групп и характер их распределения по всему миру свидетельствуют о сложной совместной эволюции человека и микроорганизма, которая, вероятно, все еще продолжается. Когда люди задерживались в перенаселенных местах, агрессивные штаммы туберкулеза с более коротким скрытым периодом начинали быстро распространяться. В то время как более старые группы штаммов из Западной Африки и с побережья Индийского океана, хорошо приспособленные к жизни в менее населенных районах, вызывали вялотекущее заболевание. Ганьо, руководящий сейчас исследованиями туберкулеза в Швейцарском институте тропического и общественного здоровья, рассказывает, что, если хозяев мало, микроорганизму невыгодно быть слишком агрессивным, поскольку, убив всех своих носителей, он погибнет вслед за ними. Данная идея подтверждается одним двухлетним исследованием, проведенным в Гамбии: у пациентов — носителей туберкулезного штамма новой группы вероятность перехода заболевания в активную форму была в три раза выше. Фактически даже в Африке более агрессивные штаммы туберкулеза начали обгонять старые местные.

И что теперь?

Данные, полученные начиная с 1990 г., последовательно указывают на то, что пекинская группа штаммов вызывает особую тревогу. По-видимому, они легче

распространяются, провоцируют более серьезную форму заболевания и быстрее приобретают устойчивость к антибиотикам. В 1998 г. ученые определили, что агрессивные штаммы, вызвавшие вспышку заболевания в Нью-Йорке в 1980-х и 1990-х гг., тоже принадлежали к этой группе.

Важную роль в том, что туберкулез продолжает свою разрушительную деятельность по всему миру, играют условия, в которых вынуждены существовать люди. С 2011 г. Смолл работает в Индии, изучая то, как люди выживают в одном из самых страшных рассадников туберкулеза. Смолл подчеркивает, что возбудители болезни распространяются не в вакууме. Часто туберкулез сопровождается недоеданием, алкоголизмом или отказом от приема лекарств. С микробом объединяется не только ВИЧ, но и диабет, воздействуя на иммунную систему, так что туберкулез переходит в активную форму и становится заразным. Социальные условия — переполненные жилища, духота, голод, предрассудки — сильно усугубляют ситуацию.

Смолл говорит, что необходимо обратить внимание на взаимосвязь бактерий и условий жизни людей. Например, ученые подозревают, что некоторые штаммы возбудителей туберкулеза вызывают усиленный иммунный ответ, приводящий к быстрому разрушению легких и ускоренному переходу заболевания из латентной формы в активную. Другие штаммы, наоборот, подавляют иммунную систему и надолго поселяются в различных органах.

В результате подробного изучения молекулярной генетики различных штаммов Смолл и Ганьо пришли к выводу, что туберкулез в своей эволюции пошел нехарактерным для большинства человеческих инфекций путем. Обычно болезнетворные бактерии изменяют свои поверхностные белки (на которые реагирует иммунная система), иначе через несколько поколений человечеству удалось бы избавиться от инфекции. Но у возбудителя туберкулеза участки ДНК, отвечающие за синтез поверхностных белков, не меняются с течением времени. Такое странное открытие имеет большое значение для создания новых противотуберкулезных вакцин. Вакцины по определению должны повышать иммунный ответ организма, чтобы подавлять инфекцию. Но в случае с туберкулезом это может парадоксальным образом привести к повышению заразности заболевания. Тем группам бактерий, развитие которых шло по пути усиления иммунного ответа, вакцинация может быть выгодна, поскольку она активизирует иммунную систему привитых людей.

По словам Смолла, на самом деле все немного сложнее. Оказавшись внутри тела человека, сама бактерия почти не причиняет вреда. Главный ущерб организм наносит себе сам, когда пытается избавиться от инфекции. Например, клетки иммунной системы создают полости в легких, отгораживая организм от туберкулезного микроба. Таким образом, усиление иммунной реакции — помощь инфекции, а не человеку. Это всего лишь теория; возможно, в первую очередь мощный иммунный ответ не дает инфекции закрепиться в организме.

Пол Юалд (Paul W. Ewald), специалист по эволюционной биологии из Луисвиллского университета, разделяет опасения Смолла. Применяемая сегодня вакцина первоначально предназначалась для защиты детей из группы риска от развития таких тяжелых осложнений, как туберкулезный менингит. Она используется уже около 90 лет, и ею был вакцинирован примерно миллиард человек. Юалд предполагает, что прививки, основу которых составляет ослабленный штамм близкородственной бактерии, вызывающей заболевание у коров, ненадолго могут способствовать процветанию смертоносных штаммов туберкулеза. По его словам, становится все более ясно, что возбудитель туберкулеза — сложный организм, эволюционирующий параллельно человеку.

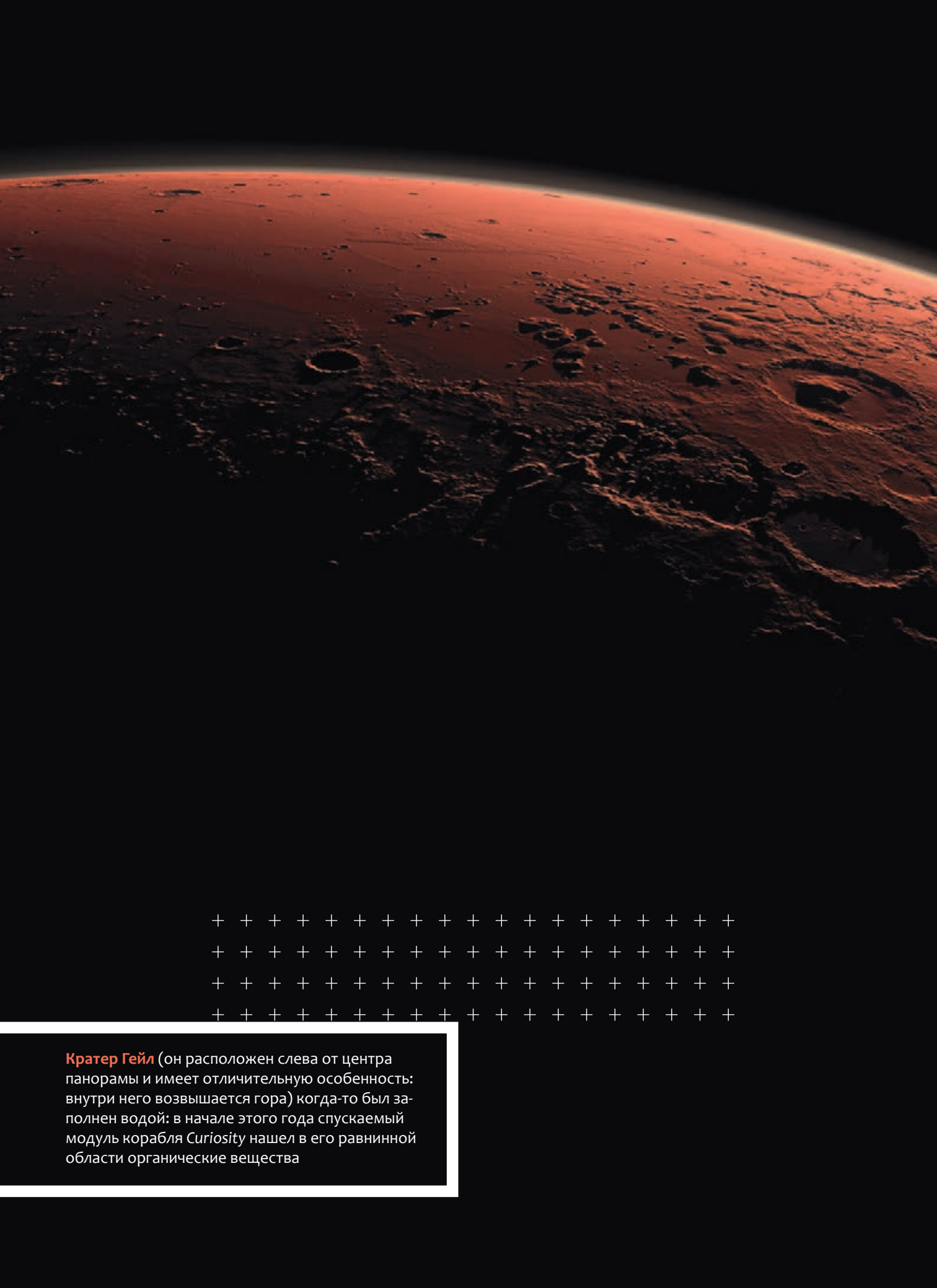
Необходимо понять, как и куда направляют эволюцию возбудителя туберкулеза стандартные меры здравоохранения, и искать более продвинутые способы борьбы с ним: например, улучшение качества жилья, понижение скученности людей и улучшение вентиляции воздуха даст преимущество менее агрессивным штаммам. Но улучшить жилищные условия для миллиарда людей, которые живут в трущобах по всему миру, намного сложнее, чем раздавать таблетки.

Ганьо считает необходимым организовать встречу иммунологов, экологов, специалистов по эволюционной биологии, популяционных генетиков и социологов, чтобы обсудить все аспекты распространения туберкулеза, его способности вызывать заболевание и приспосабливаться к различным условиям. Он понимает, что такое междисциплинарное сотрудничество обычно красиво выглядит на бумаге и гораздо хуже проявляет себя на практике, но, тем не менее, оно необходимо. Ганьо очень хотел бы, чтобы ученые, разрабатывающие новые методы диагностики, лекарственные препараты и вакцины, хотя бы задумались о том, чтобы протестировать их действенность в отношении разных штаммов из разных регионов мира. Сейчас большая часть таких работ проводится только со штаммами, которые растут в лабораториях уже на протяжении 60 лет и которые, вполне возможно, вообще уже не актуальны. Игнорируя тот факт, что некоторые группы штаммов обладают устойчивостью к новым лекарствам или не выявляются диагностическими тестами, мы выносим смертный приговор миллионам людей по всему миру. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Worldwide Occurrence of Beijing/W Strains of Mycobacterium tuberculosis: A Systematic Review. Judith R. Glynn et al. in *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 8, No. 8, pages 843–849; August 2002. http://wwwnc.cdc.gov/eid/article/8/8/02-0002_article.htm
- Host-Pathogen Coevolution in Human Tuberculosis. Sebastian Gagneux in *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, Vol. 367, No. 1590, pages 850–859; March 19, 2012. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/367/1590/850.long>



+ + + + + + + + + + + + + + + + + +
+ + + + + + + + + + + + + + + + + +
+ + + + + + + + + + + + + + + + + +
+ + + + + + + + + + + + + + + + + +

Кратер Гейл (он расположен слева от центра панорамы и имеет отличительную особенность: внутри него возвышается гора) когда-то был заполнен водой: в начале этого года спускаемый модуль корабля *Curiosity* нашел в его равнинной области органические вещества

Кристофер Маккей и Виктор Парро Гарсиа

В поисках жизни НА МАРСЕ

Экспедиции, подготовка к которым идет полным ходом, смогут наконец-то ответить на один из самых сложных и интересных вопросов: есть ли жизнь еще где-нибудь во Вселенной?

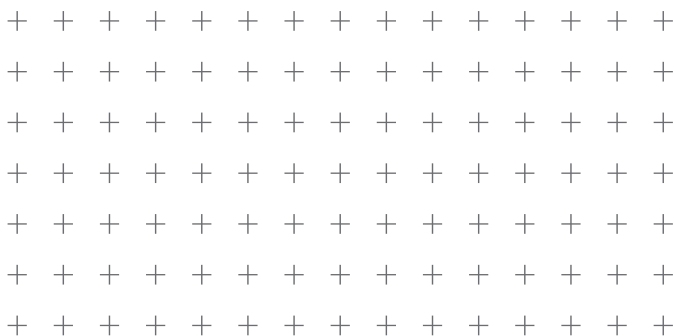


ОБ АВТОРАХ

Кристофер Маккей (Christopher P. McKay) работает в Научно-исследовательском центре им. Эймса в Моффит-Филде.



Виктор Парро Гарсиа (Victor Parro Garcia) — научный сотрудник Центра астробиологии в Испании.



С о времени посадки на Марс спускаемого модуля космического корабля *Viking 1* прошло без малого 40 лет. За этот период астрономы узнали о ближайшей к нам планете много нового. Установлено, что давным-давно по поверхности Марса текли потоки воды, а ранние периоды его эволюции сходны с земными. Когда 3,5 млрд лет назад на Земле появилась жизнь, на Марсе было теплее, чем сейчас, его покрывали океаны воды, у него было сильное магнитное поле и более плотная, чем сейчас, атмосфера. Все это наводит на мысль, что те процессы, которые привели к зарождению жизни на Земле, могли протекать и на Марсе.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

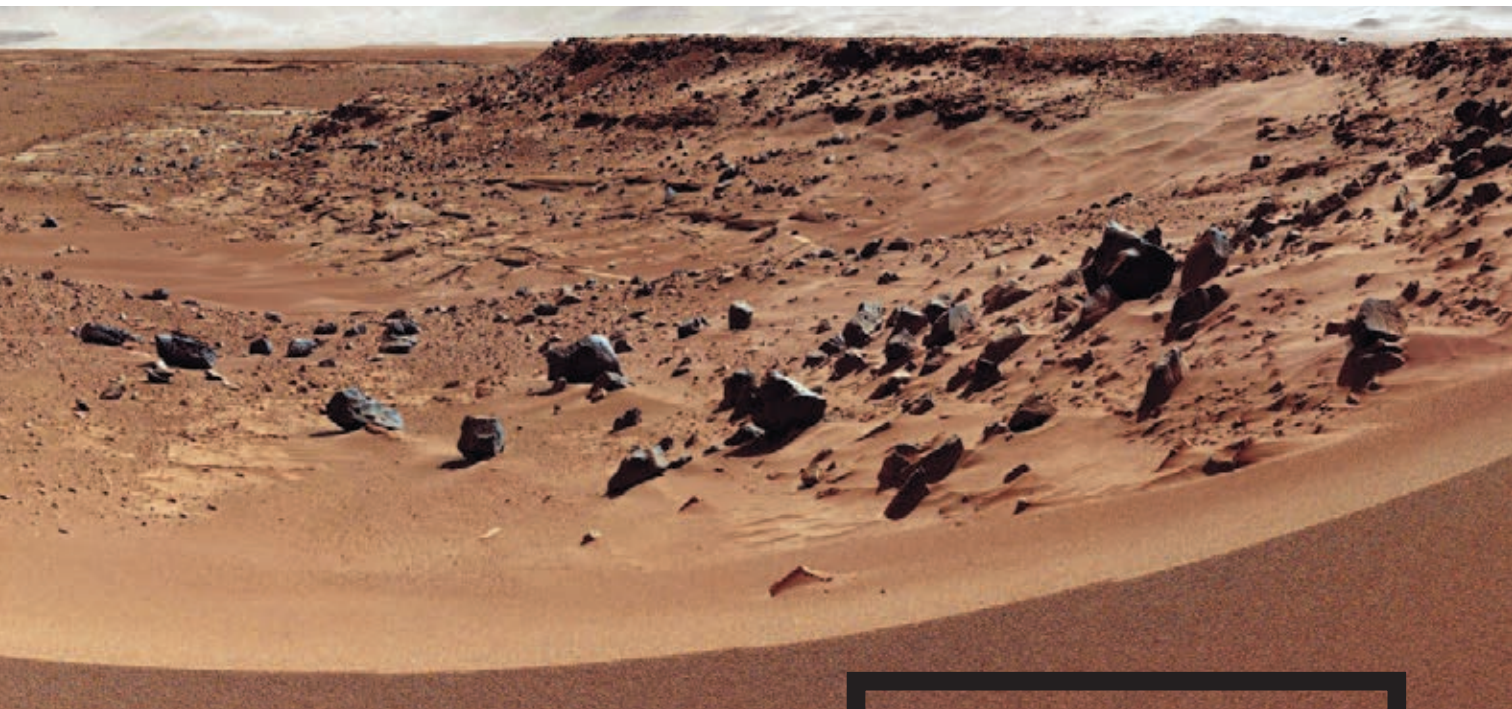
- Ни одна из экспедиций на Марс, организованных в 1970-х гг. в рамках программы «Викинг», не обнаружила никаких следов жизни на Красной планете. Сегодня мы понимаем, что все эти попытки были обречены на неудачу.
- Современные подходы к поискам следов жизни на Марсе основаны на использовании биологических тестов — таких же, какие давно применяются в земных условиях.
- Подобные тесты планируется использовать в экспедициях, которые должны отправиться на Марс в конце этого десятилетия.

PRECEDING PAGES: COURTESY OF NASA, JPL/CALTECH; THIS PAGE AND OPPOSITE PAGE: COURTESY OF NASA, JPL/CALTECH AND MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS

Пока мы можем говорить лишь о том, что существование микроскопических форм жизни на Красной планете исключить нельзя. Все полеты к Марсу, осуществленные за 35 лет, ставили своей целью изучение ее геологии, а не биологии. И лишь корабли-близнецы *Viking 1* и *Viking 2*, достигшие планеты в 1976 г., провели первое и пока единственное исследование, касающееся биологии. Каждый из этих кораблей был оснащен оборудованием для проведения четырех экспериментов по поиску признаков жизни, и ни один не дал однозначного ответа. Астрономы получили головоломку, а не разгадку. Сегодня мы понимаем, что «Викинги» в принципе

наличия микроорганизмов в марсианской почве. Однако в совокупности с другими исследованиями картина складывалась далеко не однозначная.

Целью второго эксперимента был поиск признаков фотосинтеза. Результаты получились противоречивыми. В третьем эксперименте к пробе грунта добавили воду. При наличии живых организмов из влажной почвы должен был выделяться диоксид углерода, но вместо него выделялся кислород, что было очень странно: ни с одним видом земного грунта этого не происходило. Ученые отнесли выделение кислорода на счет какой-то химической реакции.



не могли обнаружить живые формы на Марсе, даже если бы они там были, по причине непригодности используемых методов.

К счастью, за прошедшие десятилетия микробиологи разработали огромное число инструментов для обнаружения микроорганизмов. Сегодня они широко применяются и здесь, на Земле. И ближайшая экспедиция на Марс, мы убеждены, даст ответ на вопрос о существовании там жизни именно благодаря этим последним разработкам.

Первая попытка

Для поиска признаков жизни на Марсе «Викинги» использовали стандартные на то время методы. Первый спускаемый модуль взял пробу марсианского грунта и добавил к ней в качестве питательных веществ для гипотетических микроорганизмов соединения углерода. Если микробы присутствовали в пробе, они должны были поглотить «еду» и высвободить диоксид углерода.

По большому счету, так и произошло. Первый эксперимент, казалось, дал положительный ответ по поводу

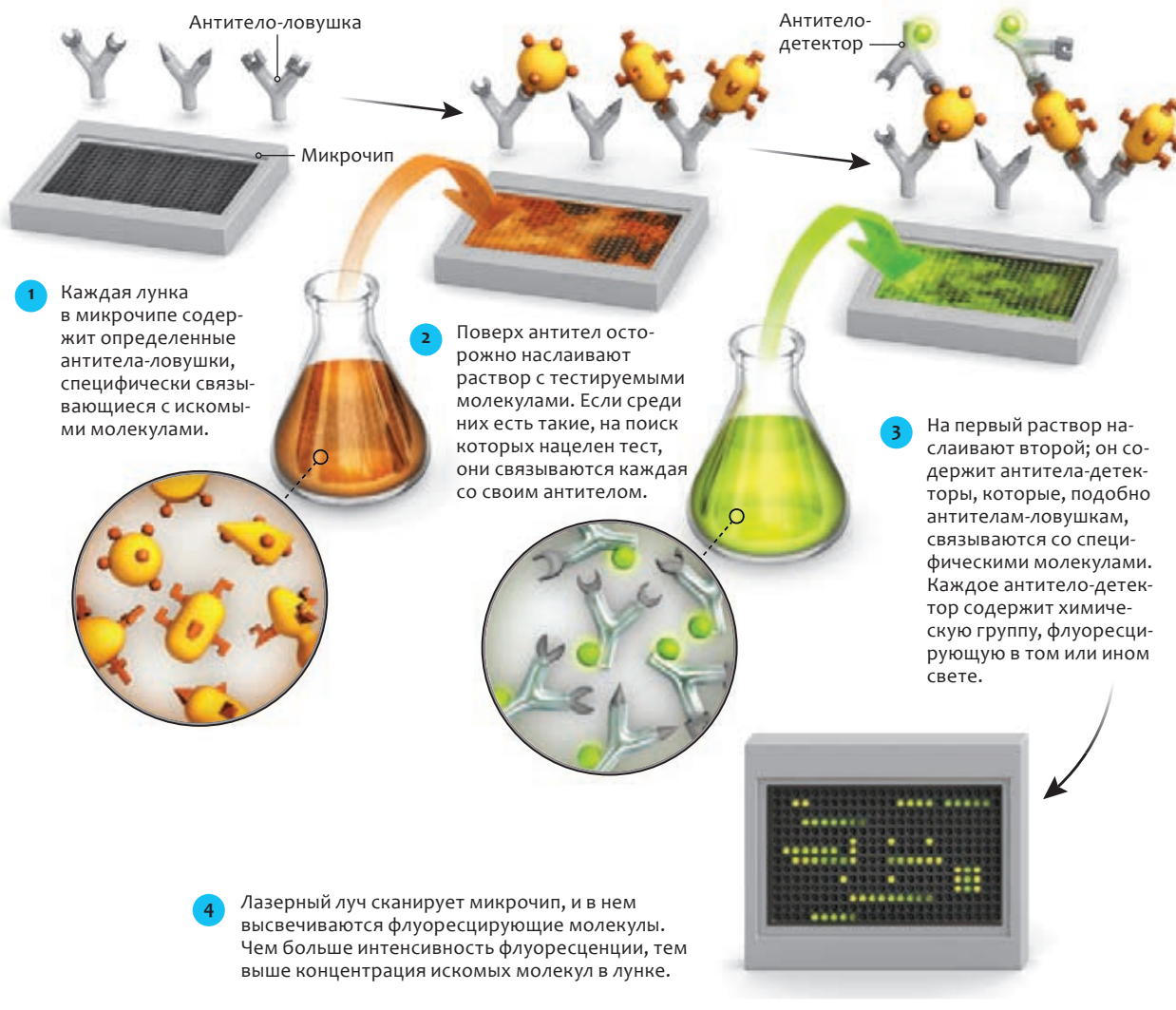
На безводных просторах кратера Гейл когда-то, возможно, находились озера с пресной водой, в которой могла существовать жизнь. Так ли это, помогут выяснить приборы, размещенные на вездеходе космического корабля Curiosity.

И, наконец, была предпринята попытка обнаружить в грунте органические вещества — углеродсодержащие соединения, строительные «кирпичики» жизни. При наличии на Марсе любой из ее форм там непременно должны присутствовать и эти вещества. Однако сами по себе они еще не дают четкого свидетельства обитаемости Красной планеты, поскольку могли попасть на нее с бесчисленными метеоритами и образовать целые залежи. Но, как ни удивительно, никаких органических веществ на Марсе не обнаружилось.

Что делать дальше, было непонятно. Большинство исследователей склонялись к мысли, что к результатам последних двух экспериментов причастны химические реакции, однако первый эксперимент в эти рамки не укладывался. Небольшая, но громко заявляющая

МАРСИАНСКИЙ ДЕТЕКТОР БЕЛКА

Иммунологический тест основан на липкости антител – белков, имеющих форму буквы Y; они действуют как прецизионные детекторы чужеродных молекул, буквально прилипая к ним, как репейники. Один такой тест может «выловить» сотни биологических молекул (например, белков) и их фрагментов.



о себе группа ученых считала, что он все-таки доказал существование жизни на Марсе. Но подавляющее большинство придерживалось мнения, что Марс — мертвая планета.

Какая-то определенность появилась в 2008 г., 32 года спустя после завершения миссии «Викингов». Тогда NASA направила на Марс корабль *Phoenix*, который совершил посадку в северной приполярной области планеты. Ко всеобщему изумлению, *Phoenix* обнаружил в пробах грунта перхлораты, редко встречающиеся на Земле соединения, молекулы которых содержат четыре атома кислорода, связанных с ионом хлора, и атом магния или кальция. Если нагреть перхлораты до 500° C, они разлагаются с высвобождением кислорода и хлора. Перхлораты настолько химически активны, что их включают в состав ракетного топлива. И они вполне могут быть

«стертыми» следами жизни. Дело в том, что метод поиска свидетельств жизни, используемый «Викингом», включал нагревание проб грунта до 500° C — температуры, при которой все органические вещества переходят в газообразное состояние, а детектор представлял собой газовый анализатор. Но в 2010 г. Рафаэль Наварро-Гонзалес (Rafael Navarro-Gonzalez) вместе с коллегами из Национального автономного университета Мексики и одним из нас (Кристофером Маккеем) показали, что при высоких температурах перхлораты полностью разрушают все органические вещества, содержащиеся в почве.

С обнаружением перхлоратов получили объяснение результаты первого и третьего экспериментов «Викингов». В первом при добавлении к пробе грунта питательных веществ выделялся диоксид углерода. Но перхлораты под действием космического излучения

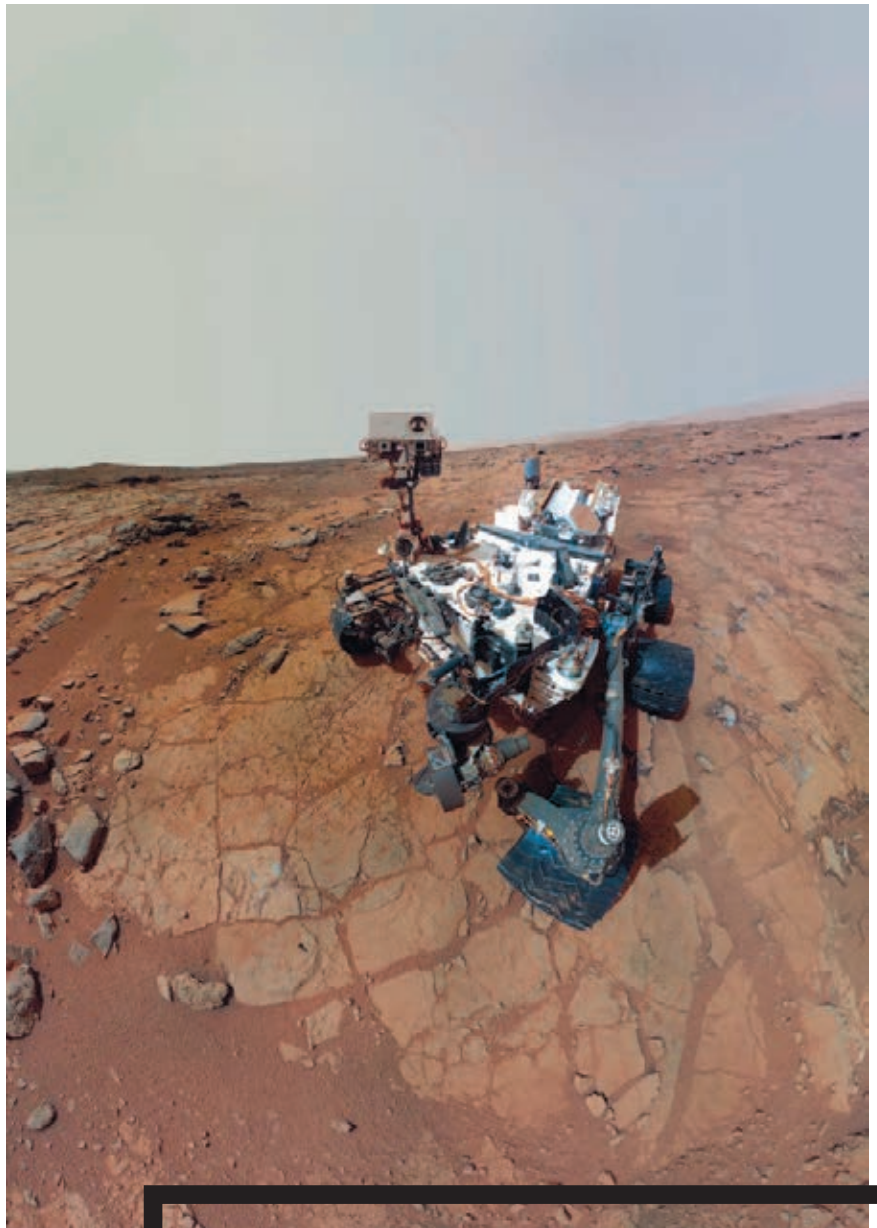
превращаются в подобие отбеливающих веществ, которые расщепляют органические молекулы (в частности, молекулы добавленных в пробы грунта питательных веществ) с высвобождением диоксида углерода. В третьем эксперименте из влажного грунта выделялся кислород. Но во время химических превращений перхлоратов тоже образуется кислород, и он частично поглощается грунтом, а при увлажнении высвобождается. Его и зарегистрировали приборы «Викинга». Итак, две загадки были разгаданы.

В 2012 г. на Марс совершил посадку вездеход корабля *Curiosity*, и с тех пор он собирает и анализирует пробы грунта. В самом начале этого года руководитель группы по изучению марсианского грунта (в эту группу входит и Маккей) Пол Махаффи (Paul Mahaffy) из Центра космических полетов им. Годдарда сообщил, что в древних аргиллитовых конгломератах, образовавшихся при уплотнении и затвердевании илистого осадка на дне кратера Гейл, содержатся соединения углерода — несмотря на присутствие перхлоратов. Итак, органические вещества на Марсе есть — просто «Викинг» в принципе не мог их обнаружить. Может быть, там есть и жизнь?

Современные подходы

За те почти 40 лет, которые прошли со времени посадки на Марс аппаратов серии «Викинг», в микробиологии произошли революционные изменения. Раньше для обнаружения микроорганизмов в марсианском грунте последний выдерживали в культуральной среде в чашках Петри, однако этот метод был слишком грубым и не давал однозначных результатов. К тому же известно, что в культуре растут очень немногие почвенные бактерии. Сегодня располагают широким спектром высокочувствительных методов, которые позволяют обнаруживать биологические молекулы — компоненты живых систем.

Самый распространенный из этих методов заключается в идентификации ДНК и определении ее нуклеотидной последовательности. При этом не нужно культивировать микроорганизмы, чтобы получить достаточное количество ДНК. Сегодня над разработкой технологии выделения ДНК и манипуляций с ней в условиях будущих экспедиций на Марс работают несколько научных коллективов.



Автомобиль Curiosity, показывающий, где им была пробурена первая скважина. Микроорганизмы на Марсе (если они вообще там есть) можно найти только на большой глубине.

Одно из препятствий на пути использования ДНК в качестве маркера, свидетельствующего о наличии жизни на Марсе, состоит в следующем. Общеизвестно, что ДНК (или ее «родственница» РНК) — непременный атрибут всех живых форм на Земле, но никто не знает, есть ли эти молекулы у инопланетных биологических систем (если таковые вообще существуют). Но даже если они есть, возможно, их отличие от земных ДНК-детекторов так велико, что они ничего не обнаружат.

К счастью, на Марсе могут быть и другие молекулы — маркеры жизни, например белки и полисахариды. Белки — это биополимеры, состоящие из 20 разных

аминокислот. Последние обнаружены в метеоритах и, по-видимому, выступают компонентами пребиотической среды во всей Вселенной. Полисахариды представляют собой длинные цепочки из сахаров, образуемые с помощью особых белков — ферментов (биологических катализаторов).

Обнаружение на Марсе таких сложных структур, как белки или полисахариды, стало бы веским доводом в пользу существования жизни в широком понимании — биологической системы, содержащей информацию и использующей ее для образования сложных молекул. Полисахариды выделяются на фоне простых пребиотических молекул подобно тому, как выделяется небоскреб на фоне одноэтажных домишек.

Один из нас (Виктор Парро Гарсиа) работает над созданием устройства, которое могло бы идентифицировать белки и полисахариды на Марсе. Принципиально оно аналогично прибору, уже сегодня используемому в земных условиях для одновременного выявления сотен разных типов белков, полисахаридов и других биологических молекул (в том числе ДНК).

При иммунологическом тестировании, которое лежит в основе действия этого прибора, используются антитела — белковые молекулы, имеющие форму буквы Y, — каждое из которых связывается с биомолекулой только одного типа. Раствор с тестируемыми молекулами наносит на слой антител, специфичных каждое к своей мишени. Если в растворе присутствует биомолекула, которая связывается с одним из антител, комплекс тем или иным способом идентифицируют и определяют, какая молекула входит в его состав.

Замечательная особенность иммунотестирования заключается в том, что антитела могут связываться с молекулами, более мелкими и не такими сложными, как полноразмерные белки. Например, это могут быть

Даже если в суровых климатических условиях Марса такие макромолекулы, как ДНК, или менее крупные белковые молекулы разрушаются, наличие их фрагментов тоже будет служить свидетельством существования жизни на планете. Есть еще одна зацепка: многие типы молекул химически эквивалентны друг другу, но могут иметь разную хиральность — одни поворачивают плоскость поляризации света вправо, другие влево

фрагменты белков, разрушенных по той или иной причине. Их наличие — не менее веское свидетельство существования жизни, чем наличие целых биомолекул.

Все живущие на Земле организмы в совокупности содержат многие миллионы различных белков. Как в таком случае выбрать для одного иммунологического теста несколько сотен из них? Однозначного ответа на этот вопрос не существует. Можно лишь сделать более или менее разумные предположения, руководствуясь двумя принципами. Во-первых, нужно искать те белки, которые необходимы или важны для существования марсианских организмов. Это могут быть ферменты, участвующие в превращениях перхлоратов, холодоустойчивые ферменты, которые обеспечивали бы выживание микроорганизмов в условиях Марса, или ферменты, устраняющие повреждения в ДНК, которые возникают под действием ионизирующего излучения. Во-вторых, следует делать ставку на молекулы, имеющиеся у всех представителей мира микробов, например на пептидогликаны — универсальные компоненты клеточных стенок бактерий, либо на аденозинтрифосфат (АТФ), который все живые существа на Земле используют в качестве источника энергии.

Даже если в суровых климатических условиях Марса такие макромолекулы, как ДНК, или менее крупные белковые молекулы разрушаются, наличие их фрагментов тоже будет служить свидетельством существования жизни на планете. Есть еще одна зацепка: многие типы молекул химически эквивалентны друг другу, но могут иметь разную хиральность — одни поворачивают плоскость поляризации света вправо, другие влево. Если среди обнаруженных на Марсе аминокислот найдется набор преимущественно лево- или правовращающих, то это будет серьезным аргументом в пользу существования жизни. Если же все они — в противоположность земным — будут правовращающими, значит жизнь на Марсе возникла независимо от жизни на Земле.

Планы на будущее

Космические корабли *Viking 1* и *Viking 2* выполнили три биологических исследования. Можно представить себе некую экспедицию с посадкой на Марс, в которой корабль был бы оснащен тремя инструментами для поиска биомаркеров — скажем, ДНК-детектором, иммунологическим микрочипом и прибором для поиска и идентификации аминокислот.

Технологически все для этого есть. Теперь нужно выбрать место посадки корабля — такое, чтобы шансы обнаружить биомаркеры были максимальными.

Подходящая среда для их существования — лед или соль; в таких условиях они имеют больше

шансов остаться в сохранности. Неблагоприятные факторы — ионизирующее излучение и высокие температуры. К счастью, Марс — холодная планета (средняя температура ее поверхности составляет $-30-40^{\circ}\text{C}$), поэтому термодеградация здесь вряд ли была возможна. В отличие от этого ионизирующее излучение за миллионы лет вполне могло разрушить все биомаркеры в пределах метра вглубь от поверхности. Следовательно, посадку корабля лучше всего совершать там, где есть лед или где сравнительно недавно произошла эрозия, обнажившая древние слои коры. Так или иначе, образцы грунта следует брать с глубины не менее метра.

Все это необходимо учитывать при подготовке любого полета на Марс. Планируемая в 2018 г. европейская экспедиция *ExoMars* предусматривает глубинное бурение для извлечения репрезентативных образцов грунта. Недавно NASA сообщило о планах посадки на Марс в 2020 г. копии вездехода *Curiosity*. Совместно с *ExoMars* он будет заниматься поисками биомаркеров в засоленных осадочных породах в засушливых экваториальных регионах Марса.

В полярных областях ни один вездеход работать не сможет, поэтому NASA планирует разработку недорогого посадочного модуля под названием *Icebreaker*, оснащенного буром длиной в один метр и прибором для проведения иммунологических тестов, который позволил бы обнаружить биомаркеры в вечной мерзлоте.

Любая из этих миссий — достойный кандидат на роль первопроходца на рубеже новой эры в исследовании Марса. Результаты изучения этой планеты в течение последних нескольких десятилетий не оставляют сомнений в том, что когда-то на Марсе воды в жидком состоянии было в избытке. Пришло время проверить, стала ли эта богатая водой планета колыбелью жизни в той или иной ее форме. Если на Марсе будут найдены биомолекулы и если их изучение покажет, что жизнь на этой планете возникла независимо от земной, мы сможем многое понять о процессах освоения живыми системами других космических тел. Пока мы знаем, что во Вселенной несметное число звезд с планетными системами. И, может быть, вскоре перед нами откроется все многообразие форм жизни с разной биологией. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Белл Д. Водное прошлое Красной планеты // ВМН, № 4, 2007.
- Смит П. Раскопки на Марсе // ВМН, № 1, 2012.
- Макьюэн А. Марс в движении // ВМН, № 7–8, 2013.
- Эксперимент SOLID (Signs of Life Detector, «детектор признаков жизни»): <http://auditore.cab.inta-csic.es/solid/en>
- Программа исследований Марса NASA: <http://mars.jpl.nasa.gov>

If we consider $a^x = \frac{1}{(1-x)^{-a}}$ + ... (5)

(A) And so $f(v)$ is a Mock θ function.

where $q = -e^{-t}$ and $t \rightarrow 0$

$$f(v) + \sqrt{\pi} e^{\frac{\pi^2}{4t}} - \frac{t}{24} \rightarrow 4.$$

The coefft of v^n in $f(v)$ is

$$(-1)^{n-1} \frac{e^{\pi \sqrt{\frac{2}{3}} - \frac{1}{24}}}{2\sqrt{n - \frac{1}{24}}} + O\left(\frac{e^{\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{2}{3}} - \frac{1}{24}}}{\sqrt{n - \frac{1}{24}}}\right)$$

It is inconceivable that a single θ function could be found to cut-out the singularities of $f(v)$.

Mock θ -functions

$$\phi(v) = 1 + \frac{v}{1+v} + \frac{v^4}{(1+v)(1+v^3)} + \dots$$

$$\psi(v) = \frac{v}{1-v} + \frac{v^4}{(1-v)(1-v^3)} + \frac{v^7}{(1-v)(1-v^3)(1-v^5)} + \dots$$

then we

$$\chi(v) = 1 + \frac{v}{1-v} + \frac{v^4}{(1-v)(1-v^3)} + \dots$$

then present a relation related to $f(v)$ as shown below.

$$2\phi(-v) - f(v) = f(v) + 4\psi(-v)$$

$$= \frac{1-2v+2v^4-v^7}{(1+v)(1+v^3)(1+v^5)}$$

Mock θ -functions (of 5th order)

$$f(v) = 1 + \frac{v}{1+v} + \frac{v^4}{(1+v)(1+v^3)} + \frac{v^7}{(1+v)(1+v^3)(1+v^5)} + \dots$$

$$\phi(v) = 1 + \frac{v}{(1+v)(1+v^3)} + \frac{v^4}{(1+v)(1+v^3)(1+v^5)} + \dots$$

$$\psi(v) = \frac{v}{1-v} + \frac{v^4}{(1-v)(1-v^3)} + \frac{v^7}{(1-v)(1-v^3)(1-v^5)} + \dots$$

$$\chi(v) = 1 + \frac{v}{1-v} + \frac{v^4}{(1-v^3)(1-v^5)} + \dots$$

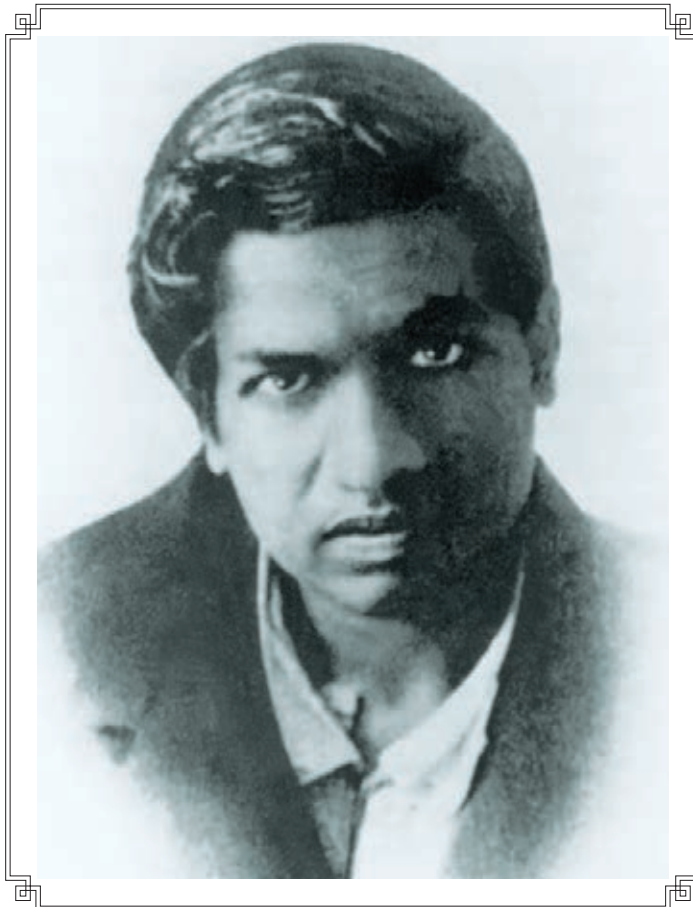
$$= 1 + \left\{ \frac{v}{1-v} + \frac{v^4}{(1-v^3)(1-v^5)} + \dots \right\}$$

like
ed n
above
never
when
(C) 1 +
= $\sqrt{\frac{15}{27}}$
when

Сриниваса Рамануджан (Srinivasa Ramanujan; на противоположной стр.) умер в 1920 г. в возрасте 32 лет. После себя он оставил несколько тетрадей, в которых содержится более 3 тыс. удивительных формул и утверждений о поведении чисел. Уже почти 100 лет эти записи (вверху) вдохновляют математиков на новые открытия.

Ариэль Блейчер

Оракул



Благодаря неопубликованным записям индийского гения
Сринивасы Рамануджана японскому математику Кену
Оно удалось найти ключ к нескольким классическим
нерешенным задачам

ОБ АВТОРЕ

Ариэль Блейчер (Ariel Bleicher) — свободная журналистка, живет в Нью-Йорке.



днажды субботним утром 1984 г. японский школьник Кен Оно (Ken Ono) открыл свой почтовый ящик в Балтиморе и нашел там тонкий, как рисовая бумага, конверт, усыпанный яркими цветными марками. Письмо было адресовано его отцу-математику. Когда мальчик протянул письмо Оно-старшему, тот оторвал взгляд от желтого блокнота, в котором всегда писал свои уравнения, отложил шариковую ручку, бережно вскрыл конверт и развернул письмо.

«Уважаемый господин, мне стало известно <...>, что вы внесли свой вклад в создание памятника моему покойному мужу <...>. Я счастлива». Подпись в конце письма гласила: «С. Джанаки Амал (S. Janaki Ammal)», а ниже красными чернилами фирменного бланка, на котором было написано письмо, значилось: «вдова (покойного) Сринивасы Рамануджана (математического гения)».

Так впервые молодой Оно узнал о легендарном Рамануджане — гении-самоучке из Индии, в чьи таинственные утверждения и математические формулы, выведенные столетие назад, по выражению его британского коллеги Годфри Харолда Харди (Godfray Harold Hardy), «едва ли можно было поверить». Несмотря на это, выводы и формулы Рамануджана послужили основой и вдохновением для развития совершенно новых областей математики, способствовали разработке теорий, которые в ряде случаев принесли своим авторам медали Филдса — аналог Нобелевской премии для математиков.

За все время своего математического обучения и работы Оно (сейчас он профессор теории чисел в Университете Эмори) никогда не придавал большого значения работам Рамануджана, считая, что «математический гений» не оставил после себя никаких сколько-нибудь значимых результатов в той области теории чисел, в которой специализировался японский ученый. Основным предметом исследований Оно были модулярные формы — абстрактные двумерные объекты, отличающиеся своей уникальной симметрией.

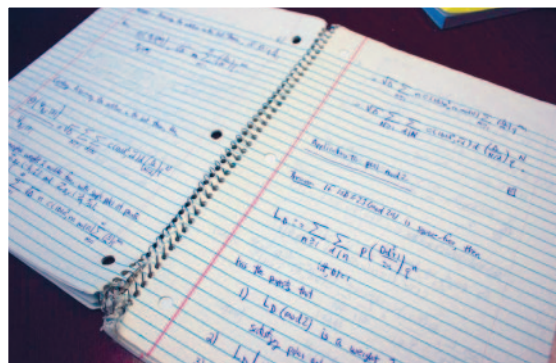
После письма, присланного вдовой Рамануджана, знаменитый индийский математик-самоучка вновь появился в жизни Оно только в 1998 г., когда ему было 29 лет. Работая над составлением антологии трудов Рамануджана, Брюс Берндт (Bruce C. Berndt), математик из Иллинойского университета в Эрбане и Шампейне, случайно наткнулся на одну его неопубликованную рукопись. Поскольку этот документ был связан

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Гений-самоучка Сриниваса Рамануджан исписал свои тетради загадочными формулами и теоремами, большинство из которых оказались верными. Эти записи послужили толчком для развития новых областей математики.
- Воспользовавшись прежде никому не известными рукописями Рамануджана, японский математик Кен Оно из Университета Эмори совместно со своими коллегами совершил удивительное открытие.
- Результаты, полученные группой Кена Оно, не просто вносят существенный вклад в фундаментальную науку, но и могут оказаться полезными в различных прикладных областях — от криптографии до изучения черных дыр.



Японский математик Кен Оно из университета Эмори (слева) и его записи (внизу). Кто знает, что будет с этими тетрадями через сто лет?



В них он излагал свои идеи, которые едва ли мог оценить кто-то из его ближайшего окружения. Рамануджан получил только один ответ. Он был от молодого и перспективного профессора Годфри Харолда Харди, который пригласил индийского математика в Кембридж для совместной работы. По прошествии всего трех лет жизни за границей Рамануджан заболел из-за нехватки продовольствия во время Первой мировой войны. Истощенный и страдающий лихорадкой, он вернулся в Индию, где и умер в 1920 г. Ему было 32 года.

В дополнение к 37 опубликованным работам Рамануджан оставил после себя небольшую библиотеку из писем и частично завершенных рукописей, а также три те-

с модулярными формами, Берндт немедленно отправил Оно отсканированную копию, рассчитывая на то, что японский математик поможет разобраться в этих загадочных утверждениях.

Прочитав две трети текста, Оно остановился. На листе бумаги аккуратным школьным почерком Рамануджана были выведены шесть смелых математических утверждений, касавшихся модулярных форм и показавшихся ошеломленному Оно совершенно абсурдными. «Я посмотрел на них и сказал: "Нет, это полная ерунда"». Первым порывом японского математика было доказать, что Рамануджан ошибался.

Тайны природы чисел

Остается загадкой, каким образом в голове Рамануджана рождались все те формулы и утверждения, которые дошли до нас благодаря его тетрадям. Он занимался самообразованием, используя старые английские книги позапрошлого века, и в 20 с лишним лет, будучи чиновником бухгалтерии Мадрасского управления почт, начал отправлять письма английским математикам.

тради в кожаном переплете. Исследуя их, Харди и другие ученые обнаружили, что он заново открыл множество классических теорем, которые впервые были доказаны лучшими математиками прошлого. Часто даже не пытаясь обобщить полученные результаты, Рамануджан просто разрабатывал огромное количество лаконичных примеров-формул. Любой профессиональный математик должен был бы доказать каждое такое открытие, приведя цепочку логических аргументов, которая убедила бы его коллег в правдивости исходного утверждения. Но Рамануджан словно и не утруждал себя этим. Он заполнял страницу за страницей длинным списком теорем и формул — своего рода итогом тех рассуждений, которые рождались либо в его голове, либо на грифельной доске. Как правило, он не считал нужным доверять бумаге все промежуточные выкладки. Только в трех его тетрадях содержится более 3 тыс. подобных заключений о природе чисел, которые и по сей день составляют предмет исследования многих математиков, пытающихся доказать или опровергнуть утверждения Рамануджана.

Свою работу над архивом Рамануджана Берндт начал в 1970-х гг., и только спустя более 20 лет ему в руки попал тот удивительный документ с шестью теоремами, обескуражившими Оно. Эти шесть утверждений проводили параллели между модулярными формами и так называемыми разбиениями чисел (представлениями натурального n в виде суммы положительных целых чисел, называемых его частями). С разбиениями чисел тесно связана функция $p(n)$ — число разбиений натурального n , фундаментальное понятие теории чисел. Например, все разбиения числа 4 можно записать в виде (1, 1, 1, 1), (2, 1, 1), (2, 2), (3, 1), (4), где предполагается, что разбиения, отличающиеся только порядком своих частей, совпадают. В этом случае число разбиений $p(4)$ будет равно 5.

На первый взгляд все это может показаться простым и достойным лишь школьной математики, однако на протяжении столетий теоретики бились над тем, чтобы найти закономерности между этими разбиениями чисел, между различными значениями функции $p(n)$, способы их вычисления и оценки; искали связи с другими теоремами теории чисел. Рамануджан совершил один из первых серьезных прорывов. Вместе с Харди они разработали метод быстрой аппроксимации числа разбиений, а для проверки правильности их метода пригласили Перси Александра Мак-Магона (Percy Alexander MacMahon) — майора британской артиллерии в отставке и гения вычислений, — предложив ему вручную найти числа разбиений для нуля и первых 200 чисел натурального ряда. Выяснилось, что предположения Харди и Рамануджана оказались поразительно точными. Однако, что представляется еще более важным, изучая записи Мак-Магона, Рамануджан сделал одно из самых знаменитых своих открытий. Начиная с $n = 0$ майор расположил значения $p(n)$ в пяти колонках, и индийский математик заметил, что каждое число в последнем столбце, т.е. каждое пятое число разбиений, начиная с $p(4) = 5$, делится на пять. Ему удалось доказать, что это правило выполняется всегда, т.е. для любого $n = 0, 1, 2, \dots$ число разбиений $p(5n + 4)$ делится на 5. Это было ошеломляющее открытие. Число разбиений $p(n)$, т.е. сумма некоторых натуральных чисел, оказалось тесно связано с признаками делимости. Позже, продолжив свои исследования, Рамануджан обнаружил и новые закономерности.

| | | | | |
|-----|-----|------|------|------|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| 7 | 11 | 15 | 22 | 30 |
| 42 | 56 | 77 | 101 | 135 |
| 176 | 231 | 297 | 385 | 490 |
| 627 | 792 | 1002 | 1255 | 1575 |

Рамануджан заметил, что каждое пятое число разбиений делится на 5 (правая колонка) и доказал, что это правило выполняется всегда. Это было ошеломляющее открытие

Ему удалось доказать, что каждое седьмое число разбиений, если считать начиная с $p(5)$, делится на 7, а каждое одиннадцатое, начиная с $p(6)$, — на 11. Однако на этом «магическая цепочка соответствий» Рамануджана закончилась. «Оказалось, что аналогичных простых свойств для чисел, отличных от названных, не существует» — записал Рамануджан в 1919 г., имея в виду найденные закономерности для чисел 5, 7 и 11.

После смерти Рамануджана математики долгое время изучали свойства чисел разбиений, пытались определить, обладают ли они пусть и более сложными, но аналогичными свойствами сохранения делимости (или так называемой конгруэнтности разбиений). К концу 1990-х гг. было обнаружено всего несколько таких чисел. Ими оказались кажущиеся случайными простые числа и их степени, включая 29, 17^3 и 23^6 . Это привело к предположениям о том, что подобные числа «непредсказуемы» и крайне «редки».

Однако после первых неудачных попыток каким-либо образом доказать или опровергнуть шесть утверждений из рукописи Рамануджана, Оно внезапно осознал, что эти самые предположения о «непредсказуемости» и «редкости» могут оказаться в корне неверными. Долгое время математики считали, что числа разбиений имеют связь лишь с небольшим подмножеством модулярных форм. Но, к удивлению японского ученого, оказалось, что шесть утверждений Рамануджана обнаружили глубокую и неожиданную связь между этими двумя областями.

Рамануджан никогда не записывал своих доказательств, и Оно не мог проследить логику рассуждений индийского гения с тем, чтобы обнаружить ошибки, в наличии которых он вначале не сомневался. Вместо этого Оно решил проверить эти формулы численно и подставил в них несколько конкретных значений параметров. Формулы оказались верны. Удивлению Оно не было границ. Казалось, Рамануджан не мог ошибиться — и формулы «должны быть верными, поскольку если бы они были неверны, то ни у кого не хватило бы воображения их изобрести»... Оно закрыл глаза и сосредоточился на том, что именно понял Рамануджан и чего не могли понять все остальные.

Оно знал, что модулярные формы буквально переполнены свойствами, аналогичными тем конгруэнтностям

разбиений, которые Рамануджан обнаружил у функции $p(n)$. Возможно, что Рамануджан, доказывая справедливость этих шести утверждений, рассуждал о числе разбиений как о видоизмененной модулярной форме. Вдруг Оно озарило: теории, разработанные им самим для модулярных форм, — это не только способ проверить гений Рамануджана, но и эффективный аппарат для исследования свойств чисел разбиений. «Это было похоже на чувство, будто вам подарили волшебный телескоп и вы впервые с его помощью взглянули на ночное небо, — вспоминает Оно. — Каждая звезда — это число разбиений... а там их целые галактики!»

Благодаря этому открытию Оно смог доказать, что свойства $p(n)$, аналогичные тем, что доказал Рамануджан, вовсе не редкость. До этого считалось, что есть лишь несколько чисел кроме 5, 7 и 11, удовлетворяющих свойствам делимости, а Оно доказал, что их бесконечно много.

Коллеги Оно посчитали его открытие новаторским, однако ему этого было недостаточно. Пока он мог лишь доказать существование бесконечного числа таких конгруэнтностей, но не мог явно указать способ их нахождения. Представьте, что перед вами выписаны подряд все значения функции $p(n)$. Как можно определить правило, аналогичное тому, например, что каждый пятый член этой последовательности делится на 5? Как можно описать общий закон возникновения в этом ряду таких чисел, обладающих свойством делимости? Оно не знал, эта проблема поставила его в тупик.

Однако вместо того чтобы вновь и вновь возвращаться к проблеме и пережевывать ее до тех пор, пока она не лишится вкуса, как старая жевательная резинка, японский математик отложил эту задачу на некоторое время, словно предчувствуя, что случай вновь приведет его к свойствам разбиений. Спустя пять лет, весной 2010 г., так и случилось: в Университет Эмори приехал научный сотрудник Закари Кент (Zachary A. Kent). Несколько его высказываний, в которых Кент коснулся заветной для Оно темы, было достаточно, чтобы два математика начали проводить все свое время в продолжительных и плодотворных беседах в своих офисах, за чашкой кофе и во время длительных прогулок по лесам к северу от Атланты.

Шаг за шагом они выстраивали цепочку рассуждений, и, казалось, числа разбиений выстраиваются в одну ясную и прозрачную структуру. Для создания такой структуры им понадобилось ввести так называемый оператор разбиения, который устроен следующим образом. Выбирается любое простое число (например, 13), а также все его степени (132, 133 и т.д.), и все они делятся на числа разбиений. Невероятно, но числа, получившиеся в результате, обладали фрактальной структурой: они повторялись в практически идентичных примерах на различных масштабах — как части снежинки. Этот результат доказал, что значения $p(n)$ чисел разбиений — не просто произвольная последовательность чисел со случайно возникающей в ней симметрией. Напротив, по выражению Оно, «эти

числа имеют прекрасную внутреннюю структуру», что делает их более предсказуемыми и крайне интересными для исследования.

На более детальную разработку теории у Оно, Кента и их коллеги из Йельского университета Аманды Фолсом (Amanda Folsom) ушло несколько месяцев. В конечном итоге они смогли доказать, что конгруэнтности в множестве значений $p(n)$ появляются вычисляемым образом и существуют для каждого простого числа и его степени. После простого числа 11 сложность разработанной модели резко возрастает, что отчасти объясняет тот факт, что Рамануджан в своих вычислениях остановился именно на нем.

Оно и его коллеги представили свое открытие на симпозиуме в Эмори в 2011 г., и после этого на счастливых математиков обрушилась лавина писем с поздравлениями. «Это волнующее и удивительное открытие, — сказал Джордж Эндрюс (George A. Andrews), эксперт и автор известной книги по теории разбиений из Университета штата Пенсильвания. — Я не думаю, что Рамануджан когда-либо мечтал о таком».

Прекрасные ответы

Исследование записей Рамануджана привело Оно и к другим открытиям, которые, возможно, однажды окажутся полезными в других областях математики. Соединив вместе идеи Рамануджана и методы современной математики, Оно и его коллеги разработали мощные вычислительные инструменты, которые помимо чисто теоретического интереса и расширения границ фундаментальной науки могут принести реальную пользу в различных областях знания — от разработки более надежных способов шифрования данных до изучения черных дыр.

Работая с Яном Бруйниром (Jan Bruinier) из Дармштадтского технического университета в Германии, Оно построил формулу для быстрого и точного вычисления чисел разбиений $p(n)$ для больших n — так и не сбывшаяся мечта Рамануджана. «Оракул» — так Оно назвал этот способ вычислений. По его словам, помимо алгоритма разбиения натуральных чисел оракул мог быть использован для исследования некоторых видов эллиптических кривых — геометрических объектов, по своей форме напоминающих поверхность бублика.

Криптографы используют эллиптические кривые для создания алгоритмов шифрования компьютерных данных. Успех, следовательно, и надежность этих схем зависят от их способности генерировать сложные математические задачи-головоломки, которые невозможно решить за довольно короткое время. Например, стандартный алгоритм RSA основан на сложности разложения на множители произведения двух очень больших простых чисел. Некоторые новые методы кодирования основаны на трудностях, связанных с разделением двух точек на эллиптической кривой. Вероятно, оракул или схожие открытия смогут пролить свет и на другие, более сложные математические задачи, которые впоследствии могут быть использованы в новых системах шифрования.

Помимо этого работы Оно смогли раскрыть одну из величайших тайн математического наследия Рамануджана. За три месяца до смерти, мучаясь лихорадкой и болями, Рамануджан написал свое последнее письмо Харди. «Я очень прошу меня извинить, что до сих пор не написал вам ни одного письма <...>. Я недавно открыл очень интересные функции, которые я называю симулирующими тета-функциями <...>. Они входят в математику так же красиво, как и обычные тета-функции».

По существу, тета-функции Рамануджана — это модулярные формы. Индийский математик предположил, что эти новые функции (внешне совершенно не похожие на модулярные формы, но схожие с ними по поведению) можно описать при помощи так называемых сингулярностей — особых точек, вблизи которых значения функций стремятся к бесконечности (как, например, функция $f(x) = 1/x$ стремится к бесконечности при стремлении x к 0). Модулярные формы имеют бесконечное число сингулярностей. Рамануджан интуитивно понимал, что для каждой функции, значения которой терпят разрыв в точке сингулярности, существует симулирующая тета-функция, которая не только обладает теми же сингулярностями, но еще и принимает значения в окрестностях этих точек, стремящиеся к бесконечности с той же скоростью, что и значения исходной функции.

Только в 2002 г., используя идеи, возникшие десятилетия спустя после смерти Рамануджана, датский математик Сандер Звегерс (Sander Zwegers) формально определил симулирующую тета-функцию. И все же до последнего времени математики не могли доказать утверждение Рамануджана о том, что эти функции «симулируют», т.е. ведут себя так же, как и модулярные формы в окрестностях сингулярностей.

Алгоритмы, основанные на оракуле Оно и Бруйнира, наконец разрешили эту загадку. Совместно с Аmandой Фолсом и Робертом Родесом (Robert Rhoades) из Стэнфордского университета Оно использовал оракул для получения формул вычисления значений симулирующих тета-функций в окрестностях сингулярностей. И действительно, они обнаружили, что гипотеза Рамануджана оказалась верной. Эти значения были очень схожи со значениями в окрестностях соответствующих сингулярностей модулярных форм. В одном случае математики обнаружили, что разница между ними близка к 4 — удивительно незначительное расхождение во Вселенной бесконечных чисел.

Совсем недавно физики стали использовать симулирующие тета-функции для изучения свойства черных дыр, называемого энтропией, — меры того, насколько близка система к идеальному состоянию

Математические открытия начинают занимать важное место в науке только через несколько десятилетий. И едва ли можно предугадать, какую роль сыграет в будущем то или иное открытие

энергетического баланса. Некоторые ученые считают, что формулы Оно помогут им исследовать этот феномен с более высокой точностью.

Оно предупреждает, что не следует искать все новые и новые возможные приложения к его работе. Как и многие теоретики, он считает, что не практическое применение делает подобные открытия великими. По его словам, великие открытия прекрасны как картины или сонаты. Джордж Эндрюс согласен с коллегой: «Теоремы Кена не будут снабжать нас бесконечным количеством альтернативной энергии, лечить раковые опухоли или что-то подобное».

Математические открытия начинают занимать важное место в науке и технологиях только через несколько десятилетий. И едва ли можно предугадать, какую роль будет играть в будущем то или иное открытие.

Кен Оно до сих пор получает большое удовольствие при виде конгруэнтностей Рамануджана, записанных впервые его отцом непонятными символами в желтом блокноте. «Почему просто три?» — спрашивал он. — «Ничего не знает» — отвечал отец.

Когда Оно рассказывает мне эту историю, он сидит в гостиной своего семейного дома в штате Джорджия, а позади него — фотография бронзового бюста Рамануджана, который был заказан его вдовой на пожертвованные деньги: по \$25 от сотен математиков со всех концов света, включая и отца Оно. «Я никогда, даже в смелых своих мечтах, не мог представить, что однажды смогу сказать: "Знаешь, пап, эти конгруэнтности — отнюдь не единственные"».

Перевод: Д.С. Хованский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Борвейн Д, Борвейн П. Рамануджан и число π // ВМН, № 4, 1988.
- Левин В.И. Жизнь и творчество индийского математика С. Рамануджана. Историко-математические исследования. Т. XIII. М.: Физматгиз, 1960.
- Харди Г. Двенадцать лекций о Рамануджане. М.: Институт компьютерных исследований, 2002.
- 1-Adic Properties of the Partition Function. Amanda Folsom, Zachary A. Kent and Ken Ono in Advances in Mathematics, Vol. 229, No. 3, pages 1586–1609; February 15, 2012.
- Ramanujan's Mock Theta Functions. Michael Griffin, Ken Ono and Larry Rolen in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 110, No. 15, pages 5765–5768; April 9, 2013. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3625272

| | | | |
|---|---|--|---|
| Senior Vice President and Editor in Chief: | Mariette DiChristina | Contributing editors: | Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna, John Rennie, Sarah Simpson |
| Executive Editor: | Fred Guterl | Art director: | Ian Brown |
| Managing Editor: | Ricki L. Rusting | President: | Steven Inchcoombe |
| Managing Editor, Online: | Philip M. Yam | Executive Vice President: | Michael Florek |
| Design Director: | Michael Mrak | Vice President and Associate Publisher, | |
| News Editor: | Robin Lloyd | Marketing and Business Development: | Michael Voss |
| Senior Editors: | Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Gary Stix, Kate Wong | Vice President, Digital Solutions: | Wendy Elman |
| Associate Editors: | David Biello, Larry Greenemeier, Katherine Harmon, Ferris Jabr, John Matson | Adviser, Publishing and Business Development: | Bruce Brandonf |
| Podcast Editor: | Steve Mirsky | | |

© 2014 by Scientific American, Inc.

Читайте в следующем номере:



Экстрасенсорное восприятие

Большее количество данных, производимых электронными сенсорами, подключенными к Сети, пока невидимы для нас, накапливаются, чтобы потом быть использованными специальными приложениями. Но если мы «выведем их из сумрака» и откроем к ним доступ для любого устройства, выходящего в Интернет, то наконец действительно настанет эра тотальной компьютеризации. Хотя пока невозможно предсказать точно, каким образом это изменит нашу

жизнь, но уже можно предположить, что все эти сенсоры станут своеобразным продолжением человеческой нервной системы. Это позволит, например, путешествовать виртуально, при этом ощущая себя «в реальном времени», что должно серьезно повлиять на наши представления о приватности и физическом присутствии.

Гигантские пузыри Млечного пути

При помощи Космического гамма-телескопа Ферми были открыты массивные структуры, возвышающиеся на десятки тысяч световых лет над галактическим центром; их назвали пузырями Ферми. Астрономы пока не понимают, какие причины привели к их возникновению, но считают, что эти структуры — свидетельство интересных и бурных процессов в нашей Галактике.

Вкусные плоды без генной инженерии

Выведение овощей и фруктов больших размеров лишило их и большей части их вкуса, так что современные супермаркеты стали буквально царством зрительной иллюзии. Исследователи придумали способ вернуть плодам вкус, не прибегая к генным модификациям.

Не пей из унитаза?

Нехватка питьевой воды — одно из бедствий современного мира. Новые технологии многоступенчатой очистки воды способны сделать пригодными для питья даже канализационные стоки. Систему пурификации, разработанную в Сан-Диего, легко применять во многих городах и странах. Но главная проблема заключается в том, как люди смогут преодолеть отвращение к употреблению воды, которая была сточной, даже если будет доказано, что после обработки она стала гораздо чище, чем обычная.

Дело тела

Нобелевские лауреаты опубликовали 245 статей на страницах *Scientific American*. В этом году на традиционную встречу в Линдау съехались 38 обладателей Нобелевских премий по физиологии и медицине, чтобы поделиться опытом с молодыми учеными. Участникам встречи мы посвящаем выдержки из наших архивных статей о новых открытиях в области функционирования человеческого тела.

Каушик Басу

ЭКОНОМИКА

ПО СХЕМЕ ПОНЦИ



*Обычная практика ведения
бизнеса нередко напоминает
печально известный вид
мошенничества*



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Вид мошенничества, где жулик «грабит Питера, чтобы заплатить Полу», существует в экономической жизни по меньшей мере со времен Чарльза Диккенса.
- Оказалось, что жульнические схемы Понци более распространены в экономике разных стран, чем считалось ранее, — и что финансовые регуляторы плохо подготовлены для борьбы с ними.
- Такие схемы Понци приобретают свойства финансовых пузырей с эффектом «бума и краха». Обычная практика ведения бизнеса — предоставление акционерных опционов — может использоваться для маскировки разных пирамидальных схем.



ОБ АВТОРЕ

Каушик Басу (Kaushik Basu) — старший вице-президент и главный экономист Всемирного банка, а также профессор экономики Корнеллского университета. Помимо работы над схемами Понци занимался обширными исследованиями во многих областях, включая законодательство по взяточничеству и по экономике этого явления.



ачиная с XIX в. схема Понци то и дело возникает в экономической жизни богатых и бедных стран, создавая горстку миллионеров и разрушая жизнь миллионов. Тем не менее большинство людей имеют смутное представление о сути этой схемы, что может объяснить, почему столь многие продолжают поддаваться ее удивительной, почти мистической привлекательности. Данная проблема, естественно, приобрела особую актуальность в связи с недавним финансовым кризисом и случившимся в самый его разгар скандалом Мэдоффа. Причиной этого скандала, широко освещавшегося в прессе, стало крупнейшее в истории мошенничество по данной схеме.

Любой следивший за провалом американского финансиста Бернарда Мэдоффа (Bernard Madoff) мог, вероятно, расценить случаи применения схемы Понци как тщательно продуманный обман. Вместо вложения средств в какое-нибудь эффективное коммерческое предприятие мошенник-виртуоз попросту направлял деньги новых инвесторов на выплату годовых процентов своим прежним инвесторам. Однако сегодня экономисты начинают осознавать, что подобного рода действия могут совершаться человеком и совершенно спонтанно, подчас бессознательно, когда одна надежда в его сознании питает другую, рождая сумбурные рассуждения, а в итоге возникает растущий экономический «мыльный пузырь», который позднее неизбежно лопнет.

Исследователи финансовых рынков и экономисты-бихевиористы уже понимают, что действовать таким образом, как Понци, может быть столь же естественным для быстро меняющихся глобальных финансовых рынков, как если бы речь шла о неких природных явлениях вроде океанических приливов или лунного затмения. Поэтому дело здесь не в злодеях типа Мэдоффа.

В принципе, жульнические схемы Понци могут принимать самые разные обличья, что затрудняет их выявление и обособление для принятия по ним четких регулятивных решений или возбуждения судебных исков. В центре внимания моего исследования было трудно обнаруживаемое средство манипуляции коммерческой

деятельностью предприятия; его цель состоит в том, чтобы хоть на какое-то время сохранить такое предприятие на плаву, — это так называемая замаскированная схема Понци, которая не нарушает никаких законов, однако может привести к экономическому разорению.

В основе сегодняшнего повышенного интереса к жульническим схемам Понци лежит не только широкое освещение этой темы в прессе, но и выводы нового исследования. По этим выводам подобные схемы могут быть объяснены отчасти через научный анализ, выявляющий заложенную в них математическую закономерность, а отчасти — через психологию мошенника-виртуоза, успешно пользующегося нашей природной доверчивостью. Важность этого исследования заключается в том, что оно дает надежду на появление у нас возможности выявлять зловредные финансовые продукты на ранней стадии, еще до того как тысячи людей поддадутся их загадочной притягательности, поплатившись финансовым крахом и глубоким эмоциональным расстройством.

Базовое мошенничество

В сущности, жульническая схема Понци старше самого Карло (Чарльза) Понци (Carlo Ponzì) (1882–1949). Он впервые начал свою аферу в Новой Англии в 1920 г., однако тот же вид мошенничества был, вероятно, распространен и до него, как можно судить по сомнительным литературным персонажам в книгах Чарльза Диккенса,

изображенным на фоне всевозможных мошенничеств с инвестированием средств в условиях Лондона викторианской эпохи. В самом деле, какая-то форма решения типа «огрбить Питера, чтобы заплатить Полу» существует, должно быть, столь же долго, как и крупные человеческие поселения.

Как хорошо продемонстрировал Мэдофф, базовая жульническая схема Понци предусматривала быстрое обогащение, а затем, посредством искусной рыночной магии, на протяжении некоторого времени — до момента разоблачения — успешно поддерживала свое финансовое процветание. По классическому варианту схемы Понци мошенник-виртуоз может пообещать инвестору феноменальную ежемесячную доходность в 10% при условии, что тот убедит кого-то также вложить в дело \$100. В следующий месяц каждый из этих двух людей инвестирует по \$100, из которых \$10 возвращаются к первому инвестору, а остальные \$190 достаются мошеннику-предпринимателю. Таким путем происходит рост финансовой пирамиды из вложенных финансовых средств. Начавшись с поступивших в первый месяц \$100, при ежемесячном удвоении числа инвесторов уже через десять месяцев доходы такого мошенника-предпринимателя достигнут \$46 090. Именно поэтому те, кто успешно работает по таким жульническим схемам, получают в свое распоряжение огромные средства. Ловушка состоит в отсутствии благополучного способа остановить этот процесс: как только прекращается поступление новых инвестиций, все дело разваливается.

Непреодолимой такую жульническую схему инвестирования средств делает отсутствие какого-то четко определенного момента, когда должно произойти такое разрушение. Если бы этот заранее установленный момент существовал, жульнические схемы Понци не наносили бы столь большого ущерба — поскольку, своевременно получая информацию на этот счет, никто не пожелал бы инвестировать финансовые средства за месяц, два или более до краха. Впрочем, в силу непреклонной логики, известной как «обратная индукция», маловероятно, чтобы такого рода афера вдруг сама прекратилась бы свое развитие.

Отсутствие определенного момента разрушения создает сложную психологическую проблему. Участие в такой жульнической схеме Понци может быть впоследствии расценено как коллективная неосмотрительность, тогда как для отдельного человека инвестирование средств в подобную схему, по существу, не есть нечто нерациональное, поскольку может пройти какое-то время, прежде чем созданная непрочная структура начнет по настоящему разваливаться.

Естественные схемы Понци

Так называемые финансовые пузыри — нечто относительно новое в пестром собрании схем Понци. Признание их в этом статусе произошло после того, как стало понятно, что психология инвестора остается неизменной вне зависимости, поступают ли его деньги к риелтору, биржевому маклеру или обещавшему золотые горы мошеннику-виртуозу. В любом случае устойчивое повышение курса ценных бумаг — точнее говоря, ожидание экономического подъема — поддерживает весь этот процесс. Именно это обстоятельство побудило лауреата Нобелевской премии по экономике Роберта Шиллера (Robert J. Shiller) назвать подобное явление «естественно возникающей схемой Понци» — т.е. финансовым пузырем, образующимся не путем какой-то манипуляции, а благодаря естественным рыночным силам, когда ожидания одного человека дополняются ожиданиями следующего.

Мы видим, как это происходит на рынке недвижимости и столетиями происходило на рынках золота, когда кому-то хочется купить какой-то товар лишь только потому, что у других возникает то же желание, а в результате растут цены. Недавно произошел обвал цен на золото — следствие стадного поведения людей, которые сами создали естественную схему Понци. В период с 2009 по 2011 г. эти цены резко выросли. Инвесторы ожидали, что вливания в экономику ликвидных средств, произведенные центральными банками для противодействия финансовому кризису, вызовут продолжение роста цен на золото, поскольку люди захотят обменять на него теряющие



Карло Понци:

специальный помощник начальника тюрьмы

Карло Пьетро Джованни Гильермо Тебальдо Понци родился 3 марта 1882 г. в городке Луго, Италия. Проучившись короткое время в университете в Риме и назвав это «платными каникулами», он эмигрировал в США и в конце 1903 г. оказался в Бостоне. Неразборчивость в средствах вскоре проявила себя: во-первых, когда он попал в канадскую тюрьму за подделку подписи, во-вторых, когда написал из тюрьмы дорогой маме, объяснив свой новый адрес тем, что нашел прекрасную работу «специального помощника» начальника тюрьмы.

Вернувшись после освобождения в Бостон, Понци принялся изобретать одну искусную финансовую схему за другой, стараясь завлечь доверчивых представителей среднего класса и вознести искусный финансового мошенничества на должную высоту. Крах одной из его больших схем не только разорил многие семьи, но и обанкротил шесть бостонских банков.

После отбытия очередного тюремного срока он был депортирован в Италию, а оттуда эмигрировал в Бразилию. Сломленный и почти ослепший, он умер в нищете в Рио-де-Жанейро 18 января 1949 г.

стоимость деньги. Чтобы воспользоваться ожидаемым повышением уровня активности, рынок наводнили денежные средства — в итоге за эти два года цена тройской унции золота выросла примерно с \$900 до \$1800. В апреле 2013 г. была произведена небольшая коррекция этой цены, вызвавшая панику на рынке, массовую продажу драгоценного металла и обвал цен на него. За какие-то два дня эти цены упали больше, чем в предыдущие 30 лет, опрокинув все расчеты биржевиков и аналитиков.

Если некоторые жульнические схемы Понци возникают сами собой, без постороннего вмешательства, то кажущиеся естественными финансовые пузыри и банкротства могут организовываться искусственно. Один из таких наиболее известных в истории финансового дела случаев связан с акционерной компанией *Mississippi Company* шотландского финансиста Джона Ло (John Law) во Франции. В начале XVIII в. эта компания начала крупномасштабную эмиссию невероятно быстро растущих в цене акций работ по освоению французской колонии Луизианы в Северной Америке. Данная афера привлекала все большее и большее число инвесторов, пока массовое изъятие вкладов из связанного с этой компанией банка не привело к краху всей тщательно продуманной жульнической схемы.

Скрытые аферы

Некоторые финансовые сделки, внешне не похожие на схемы Понци, могут вдруг оказаться замаскированной формой какой-то финансовой пирамиды. Такие сделки полностью легальны и часто совершаются, когда компании манипулируют своими операциями ради того, чтобы остаться на плаву в трудные времена. Замаскированная схема Понци представляет определенную трудность для регулирующих органов, поскольку бывает переплетена с абсолютно законными видами финансовой деятельности. Чересчур жесткое регулирование таких схем для их устранения может повредить окружающие «здоровые ткани», а оставлять их без контроля означает рисковать развитием «злокачественности». Кроме того, подобные замаскированные пирамидальные схемы могут принимать различные формы.

В качестве примера можно вспомнить, к чему время от времени прибегают компании и правительства и что именуется «жонглированием займами», — практика, которая сама по себе не вредна. Компания может не захотеть реализовывать часть своих активов, поскольку это может повлечь необходимость возвратить значительные средства кредиторам. В этом случае заемщик — физическое лицо, компания или страна — совершает своего рода акт «жонглирования»: занимает деньги у следующего кредитора, чтобы вернуть долг предыдущему. Если в процессе такой операции способность выплатить заем сокращается или ожидавшийся высокий доход не реализуется, все это лишь ускоряет наступление краха.

Кризис задолженности, случившийся в начале 1980-х гг. в Перу, когда правительство привлекло новые займы для выплаты старых, считается некоторыми экономистами типичной формой такого «жонглирования».

Ограбить Харшу, чтобы расплатиться с Гобаром

В коротком рассказе «Если нужно — то путем долга» (*Rnam Krttva*) известного бенгальского писателя середины XX в. Шибрама Чакраборти (Shibram Chakraborty) фактически описана основа схемы Понци. Рассказчик повествует, как однажды утром в среду, остро нуждаясь в сумме в 500 рупий, он решает обратиться к своему доверчивому школьному другу Харшабардхану и собирается с духом, чтобы нанести ему визит. Он убеждает друга одолжить ему деньги до субботы. Однако когда наступает суббота, у него, конечно, проблема. К счастью, он вспоминает о втором наивном друге детства, Гобардхане, и вскоре, подольстившись, получает от него 500 рупий в долг, обещая вернуть эту сумму в среду. Он отдает эти 500 рупий Харшабардхану, однако в среду нужно возвращать долг Гобардхану, и он вновь приходит к Харше. Напомнив тому о своей честности, он опять берет займы 500 рупий и возвращает их Гобару. Вскоре эта процедура повторяется каждую неделю.

Жизнь рассказчика идет своим чередом — от субботы до среды и от среды до субботы. А затем вдруг происходит совершенная неожиданность: рассказчик видит, как с двух сторон перекрестка одновременно к нему приближаются и Гобар, и Харша. Он испытывает головокружение, но вовремя приходит в себя, чтобы сказать, как он рад встретить сразу двух лучших своих друзей. После короткой непринужденной беседы он объявляет, что у него есть план, который, по его заверениям, никак не изменит их жизнь, зато избавит его от ненужных хлопот. «Каждую среду, — говорит он Харше, — прошу тебя отдавать 500 рупий Гобару, а ты каждую субботу, — он оборачивается к Гобару, — отдавай 500 рупий Харше. И помните: вы никогда не должны останавливаться». Пока его озадаченные друзья пытались разобраться в этом, рассказчик попрощался и ушел.

Из рассказа *Rnam Krttva* в книге Каушики Басу «Альманах экономиста» (*An Economist's Miscellany*, 2011)

Ожидания правительства, что состояние экономики страны улучшится и позволит выплатить процент и основную сумму займа, не оправдались. Эти надежды разрушило сильное землетрясение, за которым последовали сокращение экспорта картофеля и сахара, а также общий долговой кризис, охвативший всю Латинскую Америку. Все вместе привело к сокращению величины валового внутреннего продукта (ВВП) страны.

Многие формы законного бизнеса способны обеспечить маскировку жульнической схемы Понци. Вспомните о широко распространенной и совершенно легальной практике предоставления персоналу компании права покупать акции по льготной цене. Это вполне может быть способом получения доходов, даже если компания производит какую-то дешевую и малоценную продукцию.

Классическим примером может служить созданная в штате Калифорния зона исследований Кремниевая долина, куда привлекают для работы способных выпускников университетов, предлагая им относительно

невысокую, ниже существующего рыночного уровня, заработную плату, однако в дополнение предоставляют акционерный опцион (т.е. право покупать акции компании по льготной цене), что обещает получение в будущем высоких доходов. Скромные зарплаты работников гарантируют, что компания все равно сможет получать доход, даже если будет продавать свою продукцию покупателям по сниженным ценам. Владелец между тем будет оставлять себе часть разницы между стоимостью дешевых товаров и еще более мизерными зарплатами работников, а часть отдавать старшему персоналу в качестве дополнительного заработка.

С развитием такой компании и использованием все большего числа работников ее владелец может получать очень высокие доходы, хотя, как и все жульнические схемы Понци, эту впоследствии ожидает крах, который оставит всех сотрудников компании без работы и с бесполезными акционерными опционами на руках.

Рассмотрим простой пример, иллюстрирующий, как работает подобный механизм — каким образом он может приобретать характерные признаки схемы Понци. Вновь созданная компания предлагает работникам низкую заработную плату, которая фактически меньше того, что эти работники создают своим трудом. Таким образом, с каждого своего работника компания получает определенный доход. Трудиться на эту компанию невзирая на невысокую зарплату людей побуждает обещанный акционерный опцион, который компания дает своим работникам. Таким образом, в первом квартале работы новой компании она использует одного работника и предоставляет ему акционерный опцион, эквивалентный 1/2 всех ее доходов за этот период. В следующем квартале эта компания удваивает рабочую силу, нанимая еще одного работника, и ему предлагается акционерный опцион, равный 1/4 будущих доходов. В третьем квартале компания вновь удваивает численность персонала, нанимая двух новых работников и предоставляя им пакет опционов, соответствующий 1/8 всех доходов за будущий период. Это означает, что каждому вновь нанятому работнику предлагается 1/16 всех доходов. Так продолжается и в последующие кварталы.

Иначе говоря, каждый квартал подобная схема будет обеспечивать удвоение доходов компании. Поскольку работники получают фиксированную долю доходов, средства, поступающие им от акционерных опционов, также будут ежеквартально удваиваться. В свою очередь, доход самого владельца компании складывается из разницы между стоимостью произведенных работниками товаров и суммой выплачиваемой им невысокой заработной платы — при этом владелец получает лишь часть этой разницы, тогда как другая ее часть поступает персоналу компании в виде доходов по акциям.

Благодаря экспоненциальному (т.е. чрезвычайно быстрому) росту стоимости приобретаемых по льготной цене акций, несмотря на невысокий уровень зарплаты, работа в этой компании становится привлекательной даже для высококвалифицированных специалистов, которые при иных условиях отказались бы от нее. Впрочем,

использование такой замаскированной схемы Понци все равно в конечном итоге приведет эту компанию к краху и банкротству, поскольку подобный способ развития бизнеса предполагает непрерывное увеличение числа работающих, что невозможно в нашем мире с определенными пределами численности населения.

Случай разрушения замаскированной схемы Понци имел место в бразильской нефтяной компании OGX, контролировавшейся яркой личностью — бывшим на сегодня миллиардером Эйке Батиста (Eike Batista). Стремительное развитие OGX было впечатляющим, и столь же эффективным оказался ее крах. Когда в октябре 2013 г. эта компания признала себя банкротом, это стало крупнейшим корпоративным дефолтом в истории Латинской Америки. Стратегия OGX заключалась в том, что она переманивала из других компаний способных работников, предоставляя им чрезмерно щедрые акционерные опционы. Такая раздача опционов продолжалась, несмотря на растущие долги, напоминая собой перевернутую пирамиду. А потом вдруг компания объявила дефолт, от которого пострадали и ее работники, и инвесторы.

Трудность регулирования подобных случаев объясняется тем, что в процессе использования замаскированная схема Понци может менять свой характер и в конце концов сделать деятельность коммерческого предприятия абсолютно законной. При наличии здорового экономического климата и капли везения занимавшаяся этим прежде компания может переключиться на инновационную деятельность и начать выпуск более ценной продукции, что позволит ей нанять большее число работников, не пытаясь заинтересовывать их акционерными опционами. В этом случае она может замедлить свое расширение и постепенно стать вполне жизнеспособной, избавленная от необходимости бесконечно развиваться и раздавать все большее количество акционерных опционов. Именно это обстоятельство существенно усложняет регулирование. Ведь излишнее усердие в этом вопросе может подавить законные виды бизнеса, отбивая у людей желание создавать новые компании. С другой стороны, отсутствие регулирования будет способствовать распространению пирамидальных схем и разного рода аналогичных афер, которые могут приносить большой вред.

Слишком большая для банкротства

Серьезная трудность при разработке положений регулирования на этот счет связана с существованием таких видов коммерческой деятельности, где законные финансовые средства перемешаны со средствами, полученными путем мошенничества. Если кто-то дурачит инвестора, изображая выгодное вложение средств (текущие прибыли сопоставимы лишь с последующими убытками будущих инвесторов), такому мошеннику может быть предъявлено обвинение в преступном обмане. Тем не менее, как и в случае с другими схемами Понци, открывается возможность заниматься такой деятельностью открыто, выманивая деньги у неосведомленных людей.

Отчасти источником данной проблемы становится также глубинная человеческая неразумность. Как выразительно сказано по поводу экономической ортодоксальности, требуются целый раздел науки — бихевиористская экономика — и масса лабораторных экспериментов, чтобы показать, что люди часто вопреки ожиданиям ведут себя как неразумные создания. Одновременно с этим признанием возникает потребность разрабатывать законы для защиты уязвимых.

Благодаря годам накопления и анализа данных многие сегодняшние законы стараются предотвратить образование таких схем Понци, которые квалифицируются как откровенные аферы, нацеленные на доверчивых людей. В США обязанность прекращать действие жульнических схем Понци возложена на Комиссию по ценным бумагам и биржевым операциям. Все более совершенные законы — такие как Закон Додда — Франка,

Требуются целый раздел науки — бихевиористская экономика — и масса лабораторных экспериментов, чтобы показать, что люди часто вопреки ожиданиям ведут себя как неразумные создания

принятый Конгрессом США в 2010 г., — направляются на борьбу с бесчисленными формами подобных пирамидальных схем. Изобилие вариантов, напоминающих классическую жульническую схему Понци, вызвало недавние дискуссии в Индии относительно внесения исправлений в Закон о Совете по ценным бумагам и биржам 1992 г., чтобы сделать его эффективным в борьбе с финансовыми аферами.

Серьезная трудность в регулировании деятельности схем Понци — законных и всех остальных — связана с особенностями государственной политики. Правительства многих стран, особенно экономически развитых, считают для себя правилом вмешиваться и спасать очень крупные корпорации, когда те оказываются на грани банкротства. Принцип «слишком большая для банкротства» (распространенный настолько, что уже удостоился аббревиатуры СБДБ) может привлекать инвесторов в компанию, где используется схема Понци: расчет таких инвесторов строится на том, что после приобретения этой компанией достаточно больших размеров в случае угрозы банкротства правительство окажет ей помощь деньгами налогоплательщиков и тем самым в полной мере или хотя бы отчасти защитит интересы этих инвесторов.

Рациональное объяснение принципа СБДБ строится на убеждении, что при банкротстве крупной инвестиционной компании дополнительный ущерб простым

гражданам окажется настолько значительным, что правительству проще заранее начать спасать эту компанию. Сейчас, впрочем, стало очевидно, что исполненная благих намерений политика СБДБ (или не столько благих, сколько хорошо скрывааемых) может лишь обострять кризис, гарантируя финансовым боссам, что полученный доход они точно оставят себе, а свалившиеся на них убытки будут компенсированы за счет денег налогоплательщиков. Это, безусловно, сыграло свою роль и в недавнем глобальном экономическом кризисе.

Подобные ситуации уже приводили к неоправданному риску и безответственным финансовым авантюрам. Понятно, что нам сегодня нужна политика, которая в особых случаях может предусматривать государственное вмешательство для спасения частной компании от разорения, однако такая политика не должна спасать людей, управлявших этой компанией и принимавших решения. Понимая это, многие страны стараются сегодня выработать руководящие положения, которые будут играть роль защиты для финансовых компаний и гарантировать от необходимости тратить деньги налогоплательщиков на спасение огромных корпораций от разорения.

Среди других родившихся в прошедшее десятилетие новых идей жульнических афер и финансовых кризисов можно выделить систему назначения финансовых продуктов. Как и в случае с врачом-терапевтом, выписывающим рецепт на опасное лекарство, эта система предполагает «подпись» финансового специалиста на новом финансовом продукте, гарантируя соблюдение интересов покупателя еще до отправки ему товара. Даже если компании примут все возможные меры, реальность такова, что схемы Понци и сопутствующие им финансовые пузыри все равно будут иногда возникать в любой национальной экономике в качестве некоей токсичной добавки. В ответ на каждое новое правило будет появляться еще один гениально состряпанный финансовый продукт, пытающийся лишить людей их денег, как и необходимость новой реакции со стороны регулирующих органов. ■

Перевод: А.Н. Божко

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Irrational Exuberance. Robert J. Shiller. Princeton University Press 2000.
- Ponzi's Scheme: The True Story of a Financial Legend. Mitchell Zuckoff. Random House, 2005.
- Animal Spirits: How Human Psychology Drives the Global Economy, and Why It Matters for Global Capitalism. George A. Akerlof and Robert J. Shiller. Princeton University Press, 2009.
- A Marketing Scheme for Making Money Off Innocent People: A User's Manual. Kaushik Basu in Economic Letters, Vol. 107, No. 2, pages 122–124; May 2010.



«Кеплер»: жизнь после смерти

Данные от поврежденного космического телескопа открывают новые миры

Космический телескоп «Кеплер» NASA был запущен в 2009 г., но в прошлом году перестал передавать данные из-за механического повреждения. Однако за свою недолгую жизнь он сделал немало открытий. В феврале ученые обнаружили новые данные, согласно которым число открытых им новых планет достигло почти 1,7 тыс. «Это самый большой улов за всю историю», — сказал Джейсон Роу (Jason Rowe) из Эймсовского исследовательского центра NASA, один из руководителей исследований. Специалисты изучили 1,2 тыс. планетных систем и подтвердили открытие 715 планет. Все новооткрытые планеты входят в многопланетные системы, т. е. в системы, где вокруг звезды обращается больше одного спутника.

Ученые использовали новый метод отделения ложных сигналов. «Кеплер» искал планеты путем измерения провалов яркости звезды, которые возникают, когда планета проходит перед ней. Этот метод, называемый методом прохождения, очень точен, но иногда сигнал получают от объекта, отличного от планеты. Чаще всего такие «ложно позитивные» сигналы дают затменно-двойные звезды — двойные звезды, периодически проходящие одна перед другой при наблюдении с нашей стороны.

Звезды с единственной планетой трудно отличить от затменно-двойных, однако в отношении многопланетных систем ошибки гораздо менее вероятны. «Это случается, но вероятность того, что вы имеете две затменно-двойные на фоне одной и той же звезды, очень мала», — говорит Франсуа Фрессен (Francois Fressin) из Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики, принимавший участие в исследованиях. Возможно также, хоть и с крайне малой вероятностью, что наблюдаются затменно-двойная звезда и звезда с планетой, «лежащие» друг на друге.

Роу с коллегами пытались отделить ложные сигналы путем изучения света от предполагаемых планет. Они искали определенную особенность, называемую подвижной центроидой, — смещенную от центра светящуюся точку, какую может создавать только затменно-двойная звезда, но не планета.

В обширной коллекции новых открытий остаются потенциально каменистые миры; необычные двойные звездные системы, в которых каждая звезда имеет собственные планеты; сложные системы, в которых многочисленные планеты гравитационно связаны друг с другом. «В нашем подтвержденном наборе открытий есть все мыслимые типы планетных систем кроме точного аналога Земли» — говорит Роу. Именно его поиск остается заветной целью «Кеплера».

Клара Москович





ДЕРЕВНЯ

ИННОВАЦИИ

В подмосковном Сколково прошел фестиваль Startup Village — своеобразный смотр лучших новых инновационных предприятий страны, на который собрались ведущие предприниматели, ученые и инвесторы. Где лежит долина смерти стартапов, как не стоять в очередях в поликлинике и почему Сколково так хочет быть похожим на деревню, читайте в репортаже нашего корреспондента

«Добрый день, меня зовут Александр Бородич и я бизнес-ангел». «Гиперкуб», питч-сессия ведущих российских инвесторов, где они рассказывают о своих принципах отбора стартап-проектов. Лет пять-десять назад мы бы не поняли и половины написанных выше слов, но теперь уже почти усвоили: стартап — это молодая бизнес-компания. Бизнес-ангел — частный инвестор, который может вложить в нее деньги. Питч — короткая презентация с описанием компании, а «Гиперкуб» — это первое построенное здание инновационного парка «Сколково», который должен стать настоящей Меккой всех российских стартаперов.

Питч-сессия проходит в переполненном зале. На сцене — те самые инвесторы, гуру нового и такого заманчивого мира инноваций, чьим словам почти благоговейно внимают притихшие зрители. «Отдам свою визитку вот этому мужчине», — шепчут где-то сзади. «О нет, только не это! Я ее забыла». Засветиться, рассказать о своем проекте нужным людям, попасть, наконец, в инновационную струю: мечты образца начала XXI в. буквально витают в переполненном зале.

Сами инвесторы, напротив, предельно спокойны. Сидят расслабленно, главное — уложиться в отведенное для речи время и четко рассказать, какие проекты и команды ты ищешь. Дальше остается только ждать. Мир — большая деревня, и нужные люди сами найдут тебя.

Спускаюсь с четвертого этажа «Гиперкуба». На лестнице по стенам развешаны таблички с «деревенскими» цитатами русских классиков — Есенина, Гоголя, Бунина, Пушкина, Тургенева. Загадочным образом в их компании оказался и Рабиндранат Тагор, индийский писатель начала XX в., лауреат Нобелевской премии по литературе: «В той же я живу деревне, что она. Только в этом повезло нам — мне и ей. Лишь зальется свистом дрозд у их жилья — сердце в пляс пойдет в груди моей».

Наверное, есть в романтике этих слов что-то символическое. Ведь что такое Сколково? Большая деревня, где собрались люди, которые с таким искренним наслаждением произносят непривычные английские слова, будто перебирают сокровенные воспоминания детства и юности. Перебирают и надеются, что они прорастут на подмосковной земле новым городом, новыми стартапами и идеями.



Стартап-базар

По замыслу организаторов *Startup Village* разбит на три большие части. Первая из них — это стартап-базар: большой открытый павильон, стены которого выложены соломой, а среди березовых пеньков и корзин с овощами выставлены инновационные достижения многих российских компаний.

Например, здесь можно найти лекарственные препараты на основе белка неолактоферрина — аналога природного белка, содержащегося в грудном молоке и помогающего в становлении иммунитета маленьких детей. Компания ООО «Трансгенфарм» прошла долгий путь, прежде чем вывела трансгенных коз, из молока которых они и получают неолактоферрин.

«Наше исследование длится уже несколько лет, — рассказывает Елена Садчикова, заместитель директора Института биологии гена РАН и генеральный директор ООО «Трансгенфарм». — За это время у нас было целое мышиное стадо в 10 тыс. голов. Из поколения в поколение мы смотрели, как ведет себя белок неолактоферрин в их организмах, пока не перешли к опытам на козах. Кстати, их молоко ничем не отличается от молока обычных коз, кроме того что в нем содержится неолактоферрин, который мы выделяем, проверяем на многих тестах и потом используем в качестве уникального лекарства».

Неподалеку располагался стенд небольшой московской компании ООО «ПФС-Диагностика», на котором был представлен прибор *Stop Sleep*, способный сохранить жизни тысячам водителей.

«Проводимость кожи человека постоянно меняется, — рассказывает Александр Левенштейн, основатель и руководитель проекта. — В этом процессе есть медленная динамика, связанная, например, с изменениями погоды или накоплением усталости, и есть динамика быстрая — резкие скачки проводимости, однозначно связанные с изменением психологического состояния. Поэтому сначала мы создали, основываясь на этой идее, специальные браслеты от засыпания, которые фиксируют характерные при потере внимания изменения проводимости

кожи и при необходимости будят водителя, диспетчера или того же охранника. Но сейчас наши задачи расширились: ведь можно создать аппаратный комплекс, который будет тренировать людей фокусироваться. Знаете такое выражение — состояние потока? Когда все внимание человека сконцентрировано на одной задаче и у него все получается. Такого можно натренировать с помощью нашего прибора. Или, наоборот, можно научиться релаксировать и вместе с этим избавиться от многих проблем. Ведь, как известно, все болезни от нервов, правильно?»

Перечислять все разработки, представленные на стартап-базаре, можно очень долго. Здесь и долгопрудненская компания «РосГенДиагностика», занимающаяся персонализированной медициной онкологических заболеваний, и московская «РобоСиВи», создавшая систему автопилотирования складской техники, и дубненская «МИРП-ИС», разработавшая обучающегося домашнего робота, и мировой флагман на рынке приборов атомной силовой микроскопии — зеленоградская «НТ-МДТ». Все они и многие другие приехали в Сколково в поисках новых инвестиций и советов, способных сделать их инновационный бизнес еще лучше.

Экосреда Сколково

Многие из компаний, выставившихся на стартап-базаре, — это резиденты сколковских технологических кластеров. И поэтому для их сотрудников, наверное, была особенно интересна сессия «Я знаю, город есть», посвященная будущему Сколково. По плану градостроителей, город будет достроен к 2020 г., когда вокруг одинокого «Гиперкуба» вырастут лабораторные корпуса, офисы стартаперов, университет Сколтех с его общежитиями и многие другие здания.

Интересно, что на территории города не будет предусмотрено церквей, ларьков и, судя по недоуменному молчанию организаторов сессии после вопроса об анти-табачном законе, курилок. Ничто не должно отвлекать

изобретателей и бизнесменов, для которых даже будет разработан специальный кодекс поведения горожанина, от их идиллической работы в инновационной деревне.

Впрочем, все это еще неясные детали плана, по которому из зала звучали и куда более серьезные вопросы: «Я человек семейный, а федеральный закон о Сколково не предусматривает возможности покупки здесь жилья, только аренда на два-три года. И как мне быть с детьми? Отдавать их в школу и знать, что скоро будет переезд?»

Успокоить спрашивающего поспешил Юрий Шамилов, член Совета учредителей Негосударственного образовательного учреждения — гимназии «Московская экономическая школа»: «В этом зале уже называлось шесть причин, чтобы переехать в Сколково. Но есть еще одна, самая главная — у нас будет очень хорошая школа. Например, я сегодня с радостью слышу, как легко участники переходят с русского на английский. В нашей школе такое свободное владение языком будет нормой. А со второго класса для всех появится еще один дополнительный язык. Кроме того, высококвалифицированные педагоги, отличный коллектив учеников. Это будет идеальная школа».

Смысл загадочного федерального закона нам разъяснил Александр Лаптев, заместитель сити-менеджера и директор Департамента планирования территории фонда «Сколково»: «Посмотрим на советские академгородки. Это тоже были полные жизни инновационные центры, но что сейчас? Просто дети ученых не всегда становятся учеными, поэтому мы сразу рассчитываем работать по-другому. Хотим притягивать людей, которые умеют создавать компании и добиваться успеха, для которых это главная жизненная цель. По закону, созданная компания может находиться на территории центра до десяти лет — за такой срок человек может придумать десять новых компаний и остаться жить в Сколково с ними дальше. Или, например, переехать в Калифорнию, Гонконг, Париж. И кстати, если Сколково окажется успешным, то мы планируем создать два-три аналогичных проекта и в других регионах России».

Удивительно, но на сессии не было задано ни одного вопроса о медицинской инфраструктуре города — вот они, молодость и горящие глаза изобретателей. Впрочем, здесь на помощь будущим горожанам всегда могут прийти современные технологии. Так, среди экспонатов выставки, расположенной на первом этаже «Гиперкуба», был образец модуля для удаленной медицинской консультации и диагностики, разработанный в Московском институте кибернетической медицины.

Выглядит это следующим образом: пациент усаживается за большой стол и по каналу видеосвязи попадает на прием к терапевту. Врач назначает ему необходимые анализы, большинство из которых можно сдать буквально не вставая с места. Анализы крови и мочи, ЭКГ, биохимия — по команде врача на монитор пациента выводится необходимая инструкция, а все полученные

приборами данные автоматически и мгновенно пересылаются по зашифрованному каналу связи. В результате без всяких очередей и бумаг можно дистанционно осуществить полноценную диагностику и определиться с дальнейшим лечением.

Ожившие страницы

Вторая большая часть *Startup Village* — это конференция, на которой проходили лекции, дискуссии и мастер-классы ведущих специалистов со всего мира. Многие из них были посвящены стратегии развития и философии стартапа, но некоторые имели практически фундаментальный научный характер — ведь именно из науки и только в контакте с ней рождаются большие идеи для современного инновационного бизнеса.

Так, например, 3 июня на главной сцене фестиваля прошла сессия «Мозг и творчество», на которой подробно обсуждались вопросы психогенетики, связи между генами, когнитивными функциями человека и различными нейродегенеративными заболеваниями. Например, Владимир Шкловер, представитель ЦКП «Микроанализ», одной из первых лабораторий, открытых в Сколково, рассказал о международном проекте, в котором проводится изучение мозга католических монахинь: «У них очень высокая продолжительность жизни, но почти отсутствует процесс старческого угасания. Они общительны, контактны, восприимчивы. Жизнь с высокой физической и духовной активностью позволяет им практически избежать дегенеративных изменений».



«Гиперкуб» — первое здание инновационного центра «Сколково»

Одним из участников сессии стал также знаменитый российский и американский врач Владимир Лазаревич Зельман, который представил уникальную разработку своей группы — прибор, способный соединить мозг парализованного больного с искусственными конечностями. «Когда мозг человека свыкается, срабатывается с компьютером, то он уже может посредством мыслей управлять работой протезов».

Кажется, такие слова можно встретить только на страницах научно-фантастических романов или желтых газет. Но именно здесь, когда, развалившись в кресле-мешке, слушаешь под открытым небом лектора, врача с мировым именем, понимаешь: все это правда. Все, что еще вчера казалось смелой выдумкой, уже сегодня воплощается в жизнь. Иначе почему десятки людей вокруг с таким воодушевлением записывают каждое слово выступающего в свои блокноты?

Фестиваль посетили многие знаменитые российские ученые, среди которых и председатель Сибирского отделения РАН Александр Леонидович Асеев, который явно был доволен происходящим: «В Сколково я ощущаю себя очень хорошо, и приятно поражает обилие молодежи. Похоже на наш Новосибирский Академгородок — сибирское Сколково советского периода. В воздухе носится чувство нового, такие здоровые амбиции. А молодежь сегодня безусловно заточивается на инновационный бизнес — каждый понимает, что он кузнец своего счастья и поэтому проект “Сколково”, который создает среду для инноваторов, — это здорово. Теперь каждый человек может выбрать. Можно заниматься фундаментальной наукой и работать в ней успешно по индексам цитируемости, ездить на конференции и получать государственные премии, но если в тебе жив дух предпринимательства, то можно пробовать силы и в развитии высокотехнологичного бизнеса».

Поколение стартапа

К вечеру 3 июня все павильоны, залы и кафе понемногу пустеют. Пропадает даже народ с вечно занятых шезлонгов, уютно установленных на берегу пруда. Все стягиваются к главной сцене, где проходит кульминация третьей, может быть, самой броской части *Startup Village* — соревнования молодых бизнес-команд.

«Отбор конкурсных проектов происходил на нашем сайте», — рассказывает старший вице-президент по инновациям фонда «Сколково» Василий Белов. — Экспертная панель фонда, состоящая в основном из внешних экспертов, отобрала 247 проектов-участников. Это в среднем каждый из пяти-шести проектов, который оценивали не только по основной идее, но и по силе команды, проработанности бизнес-стратегии, ее отдаленных целей, возможности масштабирования. Без понимания того, как пройти весь путь, так называемую “долину смерти” стартапа от лабораторного прототипа до выхода на рынок и получения первого рубля выручки, удача не наступит. А это главная беда всех российских инноваторов. В этом году на площадке присутствует

более 200 профессиональных инвесторов, и каждый из них готов инвестировать в стартап. Более того, кроме основного соревнования параллельно проходят еще более 20 конкурсов, поддержанных ключевыми партнерами Сколково».

Всего в главном финальном конкурсе участвовала 21 команда, каждая из которых должна была за четыре минуты представить свой проект. «Два дня. 30 градусов жары. Около \$100 млрд суммарно в управлении инвесторов, которые здесь сидят», — разогревает зрителей и окончательно разнервничавшихся участников Александр Чернов, вице-президент Сколково и ведущий мероприятия. Некоторые из них не укладываются во время и разочарованные уходят со сцены — новая жизнь рушится на глазах.

Но самое волнительное еще впереди. Финал конкурса решил посетить сам Дмитрий Анатольевич Медведев, председатель правительства Российской Федерации: «*Startup Village* — это прекрасная идея. К финалу отобран 21 участник, они производят впечатление. Надеюсь, те, кто сегодня докладывают, добьются успеха, смогут коммерциализовать свои идеи, смогут зарабатывать деньги и помогать людям. Пока здесь вокруг стройка — это Сколково, о котором уже знают во всем мире. Здесь будет инновационный центр, будет университет Сколтех. Мы доведем наш сколковский проект до конца».

Со временем выступления участников входят в более спокойное русло. Стартаперы свыкаются со своеобразными ролями рок-звезд инновационного мира. Уверенной походкой выходят на сцену, выступают, а после еще долго, уже под сценой, раздают автографы и визитки пораженным фанатам. Не отстают и вечные критики среди зрителей: «Понимаешь, когда выходит собственник, всегда такая история получается. Слишком много знает о проекте, идея уже не удивляет. А человек должен жечь!». Что поделаешь? Новое зрелище — старые правила.

После всех выступлений жюри удаляется на совещание, и через два часа все участники под фанфары появляются на сцене. Каждому из них вручают огромную табличку — сертификат на 150 тыс. руб. Но кто победители? Решение нестандартное: одно первое место, которое достается проекту «*EXOATLET* Экзороботикс», посвященному разработке спасательных и медицинских экзоскелетов для расширения физических возможностей человека за счет внешнего механического каркаса, два вторых места — проектам «Радио Гигабит» и «Нанооптика», и, наконец, утешительный приз компании *Ivideon*, создающей облачный сервер удаленного доступа к видеокameraм наблюдения.

Праздник закончился. Участники начинают разъезжаться по домам, но и в автобусах не стихает обсуждение. Неподалеку от меня сидит одна из финалисток конкурса, прижимая к себе внушительную табличку с цифрами 150 000. Пусть в городе знают — неподалеку есть деревня, которая скоро изменит их жизнь. ■

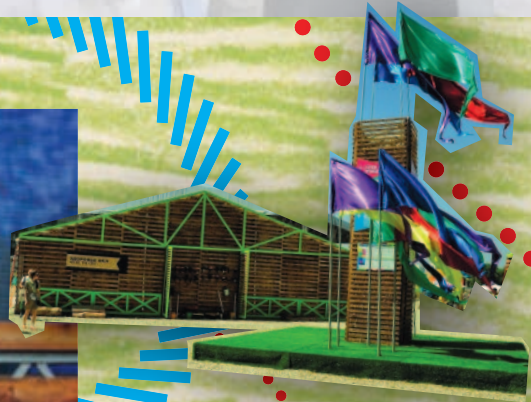
Подготовил Михаил Петров



Премьер-министр Дмитрий Медведев знакомится с инновационными разработками



Председатель СО РАН А.Л. Асеев и президент фонда «Сколково» В.Ф. Вексельберг



Анна Урманцева,
ведущая Международной конференции
Startup Village



СЕКРЕТНЫЙ

КОД

МЕДИЦИНЫ

БУДУЩЕГО

Кулуары Сколковской ярмарки изобретений Startup Village 2014 — это, безусловно, отдельное очень яркое событие. На короткий срок сюда съезжается настоящее созвездие мировых знаменитостей науки и бизнеса. Эти люди сразу безошибочно находят друг друга в пестрой толпе, у них нет проблемы общего языка. Здесь завязываются партнерские отношения и дружеские контакты, здесь мгновенно и спонтанно возникают мозговые штурмы, рождаются новые идеи, становящиеся трендами.

Из Университета Южной Калифорнии в Сколково приехал прочитать лекции и выступить экспертом проектов **Владимир Лазаревич Зельман** — нейроанестезиолог, российский врач, 37 лет назад уехавший работать в США. Он знаменит не только как практик-клиницист, но и как специалист в области нейрогенетики. К этим фундаментальным исследованиям его привела именно практическая работа, и Владимир Зельман считает, что врачам нового поколения в самом скором времени предстоит формулировать диагнозы на основе генетического кода пациентов.

Владимир Зельман представил нам своего коллегу доктора Пола Томпсона, директора института, название которого по-английски звучит как *Institute for*

Neuroimaging and Informatics, — места, где исследователи пытаются построить подробную карту человеческого мозга и генетической основы его деятельности, и доктора Казиму Багдадовну Булаеву — главного специалиста Института общей генетики РАН. Они давно знакомы по работе, публикуют совместные статьи, но здесь, в Сколково, встретились впервые.

— **Владимир Лазаревич, вы практикующий врач. И все-таки здесь вы представляете новые проекты из области фундаментальной науки. Как вам удается успешно сочетать эту работу?**

— Когда я 37 лет назад уехал в США, я сначала был занят клинической практикой, но позже нашел контакты в университете, и это создало мне возможность вновь вернуться к исследованиям. Сейчас фундаментальная

наука — с одной стороны, насущная потребность современных клиницистов, с другой, для тех, кто занимается фундаментальной наукой, клиническая практика исключительно важна. Это огромный стимул для нас, врачей: мы находим все больше объяснений состояниям наших пациентов. Практикующий врач работает с живым мозгом, понимает процессы его функционирования. Многие вещи мы понимаем теперь на молекулярном уровне. О том, как поменялся уровень понимания процессов, происходящих в мозге человека, о том, насколько важны для нас генетические исследования, я буду рассказывать на днях своим коллегам в Новосибирском Академгородке, в НИИ патологии кровообращения им. Е.Н. Мешалкина. Я полечу туда после встречи в Сколково. Моя лекция называется «От медицинской генетики к геномной медицине. Люди, годы, жизнь». 6 июня мы отмечаем 55-летие окончания института, моего выпуска 1953 г. Там соберутся мои однокурсники, сотрудники института, студенты и аспиранты. Лекция будет посвящена вопросам нейрогенетики и генетической медицины. Весь мой врачебный стаж — это одно поколение. И на протяжении этого поколения произошли по-настоящему революционные изменения!

— **Какова роль нейроанестезиолога во время операции?**

— Если нейроанестезиолог выйдет из операционной — это хуже, чем если бы из операционной вышел врач-хирург. Анестезиолог обеспечивает

безопасность всей операции, следит за всеми нюансами состояния, отслеживает практически все жизненные функции пациента — дыхательные, сосудистые, обеспечивает безболезненность операции, стабильную гемодинамику и т.д. Он — важнейший участник операционной бригады, действующий слаженно вместе со всеми. И, конечно, очень важно, что именно анестезиолог готовит больного к операции, выясняет, есть ли у него какие-то проблемы, в том числе и не относящиеся к причине вмешательства. Ведь у того, кому предстоит удаление аппендицита, могут оказаться порок сердца или опухоль головного мозга. Именно мы делаем все возможное для того, чтобы он наилучшим образом перенес операцию. Мы работаем с пациентом и после окончания операции, облегчая ему выход из этого трудного для организма испытания.

— **А бывает ли так, что во время операции мозг пациента выдает какие-то неожиданные реакции — как ответ на состояние глубокого наркоза?**

— Во время операции обычно речь идет не о глубоком, а о так называемом адекватном наркозе. Есть прибор, по которому мы определяем уровень наркоза, необходимого пациенту для того, чтобы полностью обезболить операцию и обеспечить бессознательное состояние. Вы знаете, иногда, очень редко, бывают случаи, когда, проснувшись, больной частично помнит то, что происходило с ним на операционном столе, например что он слышал что-то. Это означает судебный процесс против



Премьер-министр Д.А. Медведев и профессор В.Л. Зельман

анестезиолога. Но вместе с тем у человеческого мозга есть еще множество секретов. Я сам встречался с совершенно удивительными случаями, когда мы, врачи, констатировали «смерть мозга», состояние глубокой комы, но проходили месяцы — и больной просыпался. Сейчас мы вплотную занимаемся исследованием генетической регуляции работы мозга.

— **Нейрогенетика — новая наука, дающая все больше ответов на вопросы о природе многих болезней мозга. Какова роль генов, например, в развитии нейродегенеративных заболеваний?**

— Я прекрасно помню те времена, мои студенческие годы, когда генетику называли лженаукой, клеймили вейсманистов и морганистов. И для меня это уже тогда было каким-то стимулом думать, стремиться понять и разобраться. Сейчас исследования генома лежат в самой основе практически любых фундаментальных исследований в биологии и медицине. Имеются 6 млрд «букв» генетического кода, которые создают нас. Представьте: нарушение лишь одного нуклеотида из 6 млрд может вызвать тяжелейшие патологии. Я интересуюсь этим именно потому, что я в тесном контакте с практикой. Нынешнее поколение врачей-практиков просто не может быть оторвано от этих уникальных исследований, от новых знаний о природе заболеваний. Я хочу попросить прокомментировать это своих коллег — Казиму Булаеву и Пола Томпсона.

— **Казима Багдадовна, с чем работает ваша группа в Институте общей генетики?**

— Были времена, когда считали, что нейрогенетика — это вообще не наука. Но если говорить серьезно, человек выделяется из всего органического мира развитием мозга, разумом и сознанием. И, как любая другая живая материя, мозг подчиняется законам наследственности. Сейчас создан и начал действовать проект всемирного масштаба: ученые более чем из 80 стран объединяют усилия в поисках генетических закономерностей работы мозга человека. Консолидировал их проект, придуманный доктором Полом Томпсоном и получивший название *ENIGMA* (*Enhancing NeuroImaging Genetics through Meta-Analysis*, «улучшение нейровизуализации генетики посредством метаанализа»). Это поистине уникальный проект, и исследования, ведущиеся нашей группой в нашем институте, очень хорошо в него вписываются. Начиная от исследования

макроструктуры и морфологии мозга и заканчивая исследованием функциональных нарушений — неврологических и психических заболеваний — все это возможно объединить единой программой работы. Начальный, самый «глубокий» уровень этих исследований — исследования на уровне нуклеотидов. Слипс — так генетики называют явление, когда мутация изменяет лишь один нуклеотид в паре. Такие мутации не приводят к немедленной гибели организма и накапливаются в поколениях. Однако через несколько поколений они дают тяжелейшие патологии. Знания об этих нарушениях способны заново выстроить весь подход к диагностике и лечению тяжелых заболеваний мозга. Это позволяет сделать ДНК-тест-системы нового поколения.

— **Доктор Томпсон, расскажите, пожалуйста, подробнее о вашем проекте.**



Директор Института нейровизуализации и информатики (Institute for Neuroimaging and Informatics) Пол Томпсон

— Есть немало известных очень давно тяжелых болезней, о природе которых мы до сих пор знаем не слишком много. Депрессия, шизофрения, биполярное расстройство, аутизм, задержки развития у детей — этот список можно продолжить. Мы не умеем лечить ни одно из этих заболеваний, потому что не знаем, какова истинная причина их возникновения. Представьте: нынешний подход к лечению, например, депрессии, был разработан еще в 1950-х гг., а врачи пользуются им до сих пор. Очевидно, что нам необходимо найти новые способы

лечения этих болезней. А теперь мы имеем техническую возможность расшифровывать миллионы букв генетического кода.

Наша программа носит имя *ENIGMA*. Так назывались секретные шифровальные машины времен Второй мировой войны. С их помощью особым кодом зашифровывали и расшифровывали информацию. Мы создали международный проект, в котором собираем данные о строении головного мозга человека со всего мира. На сегодня в проекте участвуют 307 ученых из 85 стран. Мы сравниваем магнитно-резонансные сканы мозга и сопоставляем их с геномными особенностями каждого человека. У нас собрана самая крупная в мире база, более 29 тыс. пациентов. Так мы пытаемся найти генетические причины заболеваний. Важная задача — на основе сравнения этих сканов понять, чем обусловлена разница между здоровыми и больными людьми. У одних имеются нарушения памяти, у других диагностирована болезнь Альцгеймера, у третьих имеются потери ткани головного мозга. Основной вопрос программы *ENIGMA* — можем ли мы выявить именно те буквы генетического кода, которые пагубно влияют на мозг? Если у вас есть вся последовательность букв, записанных в генетический код, вы можете задаться вопросом: которая из них может что-то нам сказать о состоянии головного мозга.

Накапливая результаты исследований, вскоре можно достичь того момента, когда можно будет с уверенностью сказать, что та или иная «ошибка» в написании генетического кода найдена — и именно она отвечает за развитие патологии. Один из хороших примеров этому — недавно открытый ген, обуславливающий болезнь Альцгеймера. При этой болезни МРТ показывает потери, полости в ткани мозга. Как нам известно, каждый сотый человек теряет ткань головного мозга вдвое быстрее остальных, и причина этого — в наличии «ошибочного» гена.

Нам крайне важно, чтобы эти исследования охватили максимальное количество стран и территорий: ведь болезни не знают границ. Доктор Казима Булаева провела замечательное исследование в горном Дагестане, которое помогло выявить очень опасные гены, обуславливающие разрушение памяти.

— **Казима Багдадовна, и ваши исследования привели к сходному результату?**

— Мы уже много лет собираем родословные жителей изолированных горных районов Дагестана. На них видно, когда, в каких семьях и поколениях появляются генетически обусловленные нарушения функций мозга. А Пол, как выяснилось, в тех же самых местах проводил

исследования МРТ мозга и нашел изменения в гипоталамусе — той структуре, что отвечает за когнитивные способности, сопоставляя эти изменения с исследованиями генома, находя снипы в генах, жестко ассоциированные с этими нарушениями. Его статья появилась в *Nature*, а у меня статья была опубликована в *American Journal of Genetic*. Я написала ему, и мы стали сотрудничать, опубликовали вместе несколько статей. А здесь впервые встретились.

— **Владимир Лазаревич, работы ваших коллег уже сейчас могут дать успешный выход в медицинскую практику?**

— Нейрогенетические исследования крайне важны для реаниматологии, анестезиологии и предоперационной диагностики. Есть, например, особый синдром, когда введение анестезирующих препаратов вызывает у пациента острое состояние с высокой температурой, от которого он может погибнуть. Мы нашли ген, который за это отвечает. Поэтому если вернуться к теме сотрудничества между фундаментальной наукой и нами, то это исключительно важно. В Америке более 100 тыс. человек в год погибают от врачебных ошибок. И лишь половина этих смертей — действительно неправильные действия врача. Другая половина — это неожиданное действие лекарств, парадоксальная реакция на наркоз организма пациента. Она имеет генетическую природу. Вся классификация заболеваний в будущем изменится полностью. Не будет таких диагнозов, как шизофрения или, скажем, гепатит. Будет некий цифро-буквенный код, обозначающий, в каком гене имеются те или иные нарушения. Вся медицина будет звучать совершенно по-другому. Поэтому мы, практикующие врачи, клиницисты, считаем генетические исследования проводником в медицину будущего.

— **Планируете ли вы работать с российскими исследовательскими центрами?**

— Конечно. Ведь наука и медицина, как и болезни, не признают ни границ, ни политики. Как вы видите, у нас есть совместные результаты с группой из Института общей генетики РАН, мы планируем сотрудничать с НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко — провели переговоры с его директором академиком А.Н. Коноваловым. Будем работать также и вместе со специалистами Научного центра здоровья детей РАМН, планируем переговоры с Новосибирским Академгородком. ■

Беседовала Екатерина Головина

ОБ АВТОРЕ

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



Бойся худшего

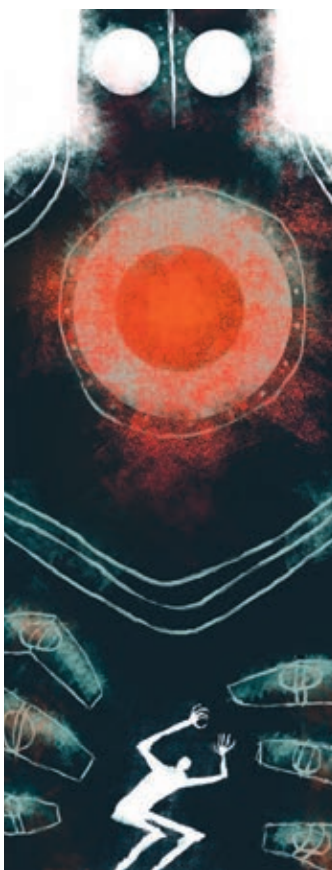
И все-таки иногда полезно немного повозмущаться новыми технологиями

Человек вообще по природе своей побаивается всяких технологических новшеств. Он инстинктивно поеживается от страха перед всем неизведанным — так уж, видно, было предопределено эволюцией. И если бы ученым захотелось исследовать в какой-нибудь спецлаборатории феномен страха перед неведомым и неизведанным, то боязнь технологий оказалась бы, вероятно, самым распространенным из расстройств.

Здесь я не сказал ничего нового. Помните, еще в 1970-х гг. считалось, что микроволновые печи будто бы испускают радиацию, якобы становясь причиной всяких уродств и аномалий у детей? В 1950-х гг. все думали, что телевидение разрушает человеческий мозг. В 1930-х гг. люди беспокоились по поводу того, мол, радио будет слишком сильно воздействовать на неокрепший мозг ребенка, выступая помехой школьной успеваемости. А в XIX в. стоило лишь первому трактору выйти на фермерские поля, как его тут же назвали изобретением дьявола.

В наше время новые технологии появляются (и исчезают) как никогда быстро — только приспособишься к изменившейся реальности, а она, глядишь, снова меняется. Поэтому совсем не удивительно, что очень быстро растет число тех, кто страшится будущего.

И вот мы уже боимся, что всяческие электронные девайсы будут отрицательно воздействовать на детский мозг, мешая ребенку адаптироваться в обществе. Мы трясемся за нашу частную жизнь, осознавая, что крупные компании и государственная власть



несанкционированно собирают наши личные данные. Мы пугаемся сотовых телефонов, потому что они якобы вызывают рак мозга. Мы приходим в ужас от одной только мысли, что пробуренные в США 82 тыс. скважин, в которых применяется технология гидроразрыва пласта для добычи сланцевого газа, приведут к экологической катастрофе.

Но зачастую для страха нет никаких оснований. Оказалось, что трактор — это обычная, совсем даже безвредная сельскохозяйственная машина. В наше время некоторые страхи подчас бывают излишни, в то время как другие действительно сигнализируют о реальной опасности. В какую сторону истолковать наши страхи, мы порой не знаем, поскольку не обладаем всей полной информацией. Но иногда всеобщий страх перед некоторыми технологическими новшествами вполне оправдан. Так, считается, что в результате приема беременными препарата под названием талидомид, который предназначен для

предотвращения утренней тошноты, на свет стали появляться дети с врожденными уродствами. Водители, которые используют головную гарнитуру, действительно ежегодно убивают тысячи пешеходов. Агентство национальной безопасности (АНБ) действительно следило за американцами.

Так, может быть, пора остановиться? Быть может, пока мы пытаемся разобраться с тем, что делаем, нужно объявить пятилетний мораторий на научно-технический прогресс? Должны ли мы отказаться от новых технологий ради более примитивной жизни?

Что ж, кто-то, вероятно, с этим и согласится. Однако, размышляя о природе обоснованных страхов, приходишь к неожиданному выводу: страх может оказаться вполне здоровым и полезным в том случае, когда вслед за ним приходят возмущение и недовольство. Так уж исторически сложилось, что мы всегда испытываем страх перед новыми технологиями; но кроме него у нас имеется еще одна давняя и славная традиция — корректировка курса.

Дайте только время, и мы без колебаний займемся корректировкой траектории, стремясь выйти на правильный путь.

Иногда отклонения от верного курса были незначительными: например, *Facebook* нарушал конфиденциальность пользователей; *Verizon* брала с клиентов ежемесячно по \$2 за проведение онлайн-платежей; *Netflix* объявила о намерении создать собственную DVD-компанию; Федеральное управление гражданской авиации США запрещало такие совершенно безвредные гаджеты, как электронные книги. Но в каждом из перечисленных случаев возмущение общества заставляло нарушителей отступить.

Иногда возникают и более серьезные проблемы. Но, как правило, с помощью науки удается постепенно избавляться от всего того, что губит человека (например, талидомида и трансжиров). В конце концов можно будет постепенно ликвидировать и все то, что несет гибель нашей планете (выбросы серы, хлорфторуглероды).

Многие уверены, что скандал вокруг АНБ нанес удар по репутации властей США. Не спорю. Но кроме того он породил еще и неслыханные возмущение и недовольство. Пока что мы не знаем, какого рода ограничения будут наложены на АНБ, но я уверен, что времена, когда это ведомство было полностью неподконтрольно и независимо, ушли в прошлое.

Между тем дискуссия о конфиденциальности стала шириться в национальном масштабе. После появления компромата о деятельности АНБ передовые высокотехнологические компании (*Google*, *Yahoo*, *Facebook* и т.д.) принялись шифровать всю пользовательскую информацию — и входящую, и исходящую. Но общество желает знать, что именно эти компании делают с нашей конфиденциальной информацией, и потому начинает пристально за ними следить, дабы убедиться в том, что они говорят правду.

Высокие технологии всегда будут изменять человека, а он постоянно будет этого пугаться и при случае готов будет оказать сопротивление — пусть не всегда своевременно и быстро. Однако в целом люди всегда могут ради своего блага использовать недовольство, методы корректировки курса — и, конечно же, человеческий страх. ■

Перевод: И.В. Ногаев



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Хотя никто не заказывал Александру Флемингу открытие пенициллина, а Ван Гог — «Подсолнухи», это не помешало российским чиновникам отнести науку к сфере услуг наряду с живописью и кинематографией

За последние полвека человечество использовало вдвое больше энергетических ресурсов, чем за всю историю своего существования

Искусственные молекулярные системы, созданные по образу и подобию бактериальных, способны вносить изменения в «святая святых» живой клетки — ее геном

Организации торговых рейсов между Владивостоком и Колымой во многом способствовала Чукотская экспедиция И. П. Толмачева 1909—1910 гг.

ПОДПИСКА на 2014 г.

«Роспечать», индекс **46495**

«Пресса России», индекс **42272**

На сайте журнала:

www.sciencefirsthand.ru

В редакции: zakaz@info-press.ru

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

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

Стоимость подписки на первое полугодие 2014 г. составит:

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

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

Стоимость одного номера журнала: за 2010 г. — **30 руб. 00 коп.**, за 2011 г. — **40 руб. 00 коп.**, за 2012 г. — **60 руб. 00 коп.**; за 2013 г. — **100 руб. 00 коп.**

(без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **70 руб** заказной бандеролью, **50 руб.** — простым письмом.

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

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

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

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

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

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---------------------|---|---|----|---------------------|----|
| 2014 г. | | | | | | | | | | | | |
| 2013 г. | | | | | | | объединенный выпуск | | | | | |
| 2012 г. | | | | | | | | | | | | |
| 2011 г. | | | | | | | | | | | | |
| 2010 г. | | | | | | | | | | | объединенный выпуск | |

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





Министерство
образования
и науки
Российской
Федерации



Московский
государственный
университет
имени
М.В. Ломоносова



Департамент науки,
промышленной
политики
и предпринимательства
города Москвы



некоммерческий партнер



информационные партнеры



стратегический партнер



интеллектуальный партнер



официальный партнер



официальный партнер



официальный спонсор



при поддержке



официальный партнер



ПЛАНЕТОЛОГИЯ

Новые поиски
жизни на Марсе

МЕДИЦИНА

Злой гений
человечества

ЭКОНОМИКА

Мошенничество
в бизнесе

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

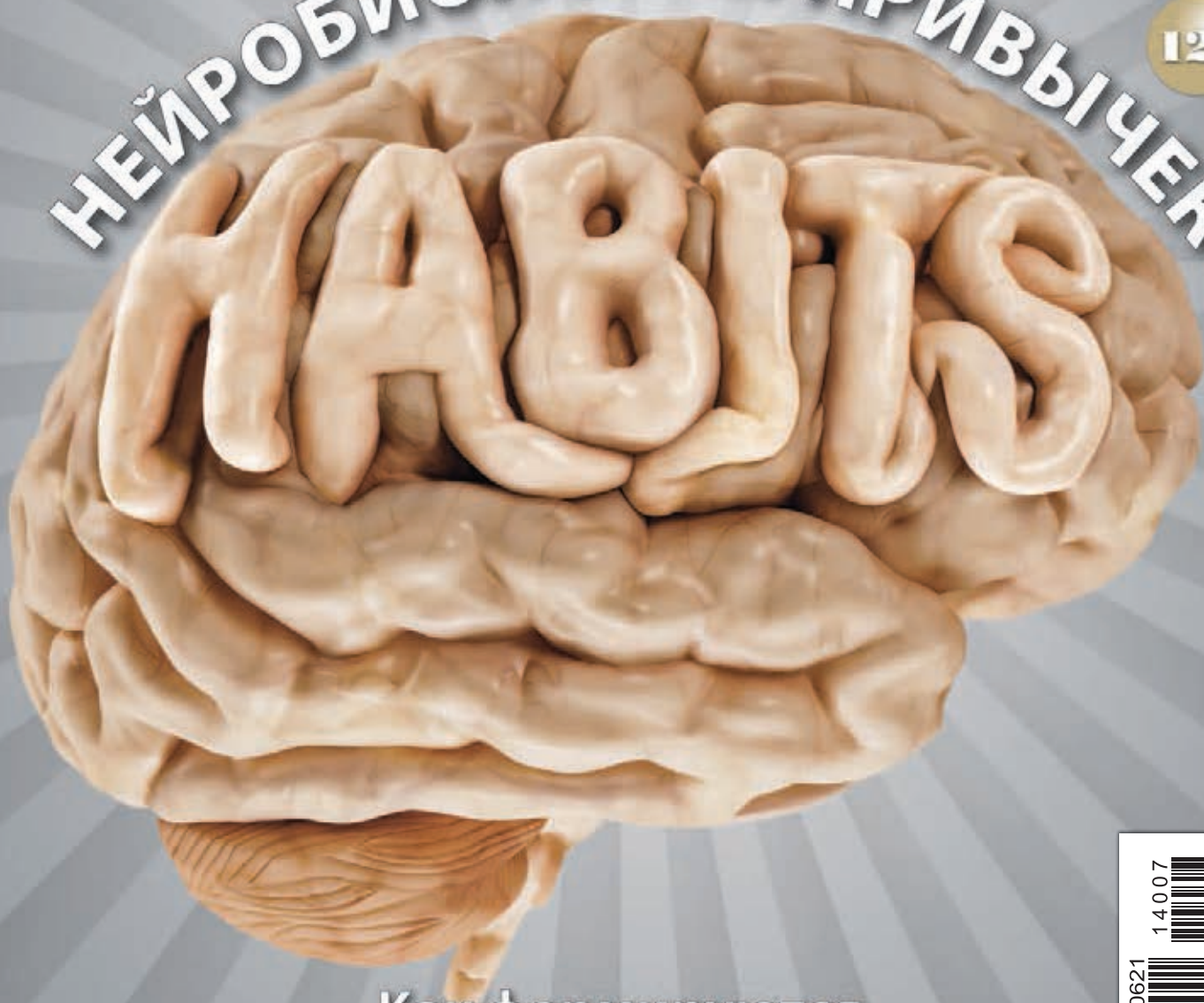
В мире науки

www.sci-ru.org

№7-8 2014

НЕЙРОБИОЛОГИЯ ПРИВЫЧЕК

12+



Как формируются
привычки и почему
так трудно их менять



ISSN 0208-0621

14007

9 770208 062001