

НОВАЯ ТЕОРИЯ ОЖИРЕНИЯ
Винновны ли в нем переработанные продукты?

ОБРАТИМА ЛИ СМЕРТЬ?
Частичное оживление мозга ставит вопросы

В мире наук

12+

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

12 2019

КРЫЛЫ ТЕРРОРА

Как птерозаврам
удалось покорить
мезозойские
небеса

ПЛЮС

**150 ЛЕТ
ТАБЛИЦЕ МЕНДЕЛЕЕВА**

Остров стабильности академика Юрия Оганесяна

ДОШКОЛЬНАЯ ПЕДАГОГИКА

Почему умение сконцентрироваться
и языковые навыки — залог успеха

КРИЗИС В НАУКЕ

Бурные дебаты о значимости статистических методов





СОДЕРЖАНИЕ

Декабрь 2019

Темы номера

ЭВОЛЮЦИЯ

Исполины мезозойских небес

Майкл Хабиб

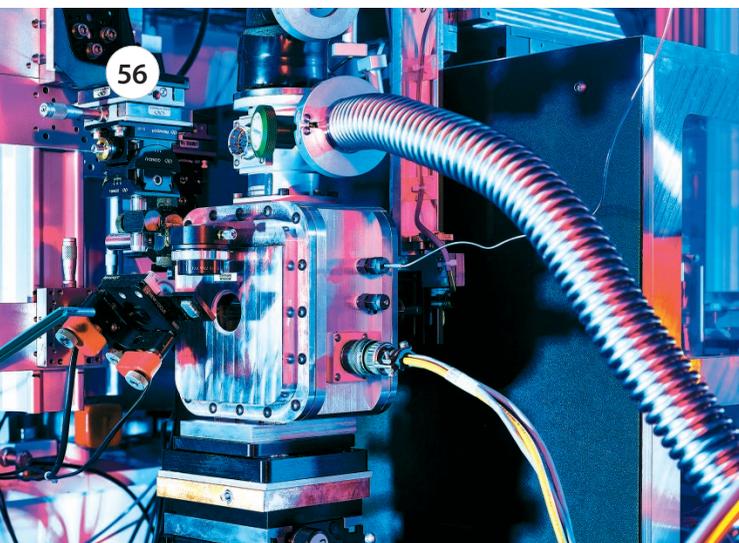
Недавние ископаемые находки и математическое моделирование проливают новый свет на некоторые вопросы о таинственной жизни древних летающих ящеров — птерозавров

АТОМНАЯ ФИЗИКА

Ядро пленительного счастья

Валерий Чумаков

О новых открытиях в Периодической системе химических элементов мы беседуем с академиком **Юрием Оганесяном**, именем которого назван последний на сегодня, 118-й, элемент — оганесон



НАУКА И ОБЩЕСТВО

Катрин Брешиньяк: «Рада, что связи между французскими и русскими учеными не прерываются»

24

Наталья Лескова

Одна из основателей кластерной физики, известный ученый **Катрин Брешиньяк** в ноябре этого года назначена представителем Французской академии наук в России

4

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Обратима ли смерть?

30

Кристоф Кох

В эксперименте удалось частично оживить мозг убитой свиньи, и теперь вновь встает вопрос о том, где конечная точка жизни

14

СОЦИАЛЬНАЯ НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Причины человеческой агрессии

36

Дуглас Филдс

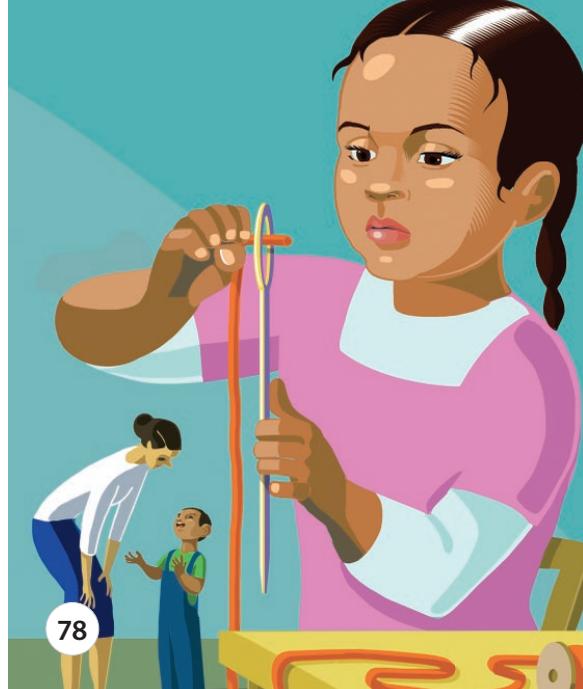
Эксперименты с участием людей и животных призваны выяснить, как агрессивное поведение формируется в мозге

4





14



78

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Возрождение биоразнообразия риса 46

Дебал Деб

Нужно вернуть к жизни исчезнувшие виды основной зерновой культуры стран Азии, что поможет пережить наводнение, засуху и другие бедствия

ФИЗИКА

Материал мечты 56

Боб Хендерсон

Приведут ли наконец новые успехи в теоретической физике и вычислительной технике к созданию сверхпроводника при комнатной температуре?

Прочнее, чем кость 66

Наталья Лескова

Физики Томского политехнического института ведут прорывные исследования по разработке новых материалов для биомедицинского применения

ХИМИЯ

«У нас нет посредственностей» 72

Наталья Лескова

Чем химическая школа Томского политеха отличается от других, почему молодому ученому в России легче реализовать себя, чем за границей, и чем может удивить сегодня химическая наука

ОБРАЗОВАНИЕ

Умный старт 78

Лиза Герси

Дети, посещающие детские сады, где поощряются речевые игры и задания, связанные с концентрацией внимания, добиваются большего успеха в школе и в дальнейшей жизни

ПИТАНИЕ

Ожирение и мозг 86

Эллен Руппел Шелл

При потреблении ультрапереработанных продуктов в мозг поступают сигналы, заставляющие нас хотеть все больше калорий, тогда как обычная пища такого эффекта не дает

СТАТИСТИКА

Значимая проблема 96

Лидия Дэнурт

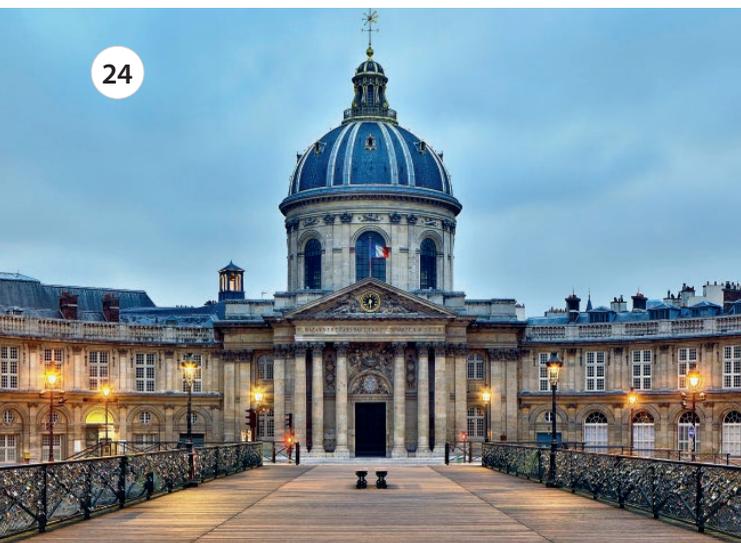
Стандартные научные методы служат мишенью для нападок. Изменится ли что-нибудь?

Разделы

От редакции 3

50, 100, 150 лет тому назад

104



24



46

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



nexign



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ



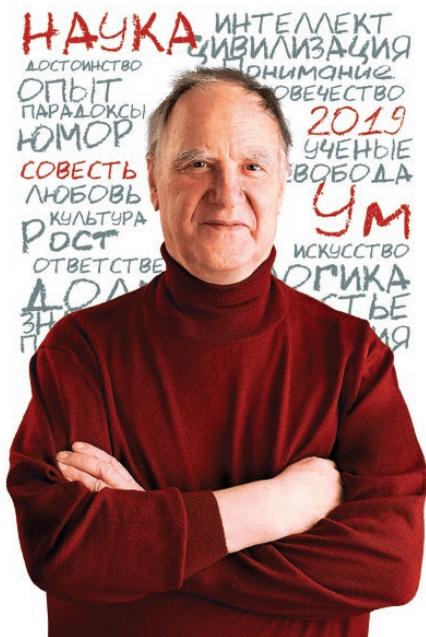
Сибирское отделение РАН



очевидное
невероятное



Основатель и первый главный редактор
журнала «В мире науки / Scientific American»
профессор Сергей Петрович Капица



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортв

Главный научный консультант:

президент РАН акад. А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

представитель Французской академии наук в РФ К. Брешиный; акад. Ю.Ц. Оганесян;
к.х.н. П.С. Постников; к.ф.-м.н. Р.А. Сурменев

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, Г.-Ж. Муллек,
А.И. Прокопенко, Н.Н. Шафрановская, А.В. Щеглов

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.Е. Фортв

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

Адрес редакции:

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

тел./факс: 8 (495) 939-42-66; e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:



ОАО «Можайский полиграфический комбинат», 143200, г. Можайск, ул. Мира, 93,
www.oaompk.ru, www.oaompk.pf, тел.: 8 (495) 745-84-28, 8 (4963) 82-06-85

Заказ № 0618

© 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.



Кертис Брейнард,
и.о. главного редактора
журнала *Scientific American*

Дракон в небесах

В своей первой редакционной статье исполняющий обязанности главного редактора журнала *Scientific American* Кертис Брейнард представляет главные темы этого номера.

Недавние ископаемые находки проливают свет на таинственную жизнь птерозавров. Это первые позвоночные, умевшие летать, и, хотя некоторые из них были совсем небольшими, другие — огромными, замысловатый набор механизмов физиологической адаптации, описанных в статье «Исполины мезозойских небес», позволил им взлететь. Они были четвероногими, с массивной шеей и очень напоминали зловещих драконов из «Игры престолов», что вдохновило палеонтологов, когда они искали имя для одного из видов птерозавров.

Птерозавры давно вымерли, как, к сожалению, погибла и большая часть 110 тыс. различных сортов риса, которые когда-то высаживали по всей Индии. Некоторые из них могли переносить паводки, засуху, засоленность почвы и болезни; некоторые обладали уникальной пищевой ценностью; некоторые были просто исключительно красивы и ароматны, поэтому использовались в ритуальных целях. О том, как специалисты пытаются исправить ситуацию, читайте в статье «Возрождение биоразнообразия риса».

Рынок в США и других странах в изобилии предлагает ультрапереработанные продукты, включая шоколадные батончики и картофельные чипсы, а также менее очевидные вещи вроде ароматизированного йогурта. Новые исследования дают основания предполагать, что эти ненатуральные концентраты нарушают прохождение сигналов от органов пищеварительного тракта в мозг таким образом, что это способствует перееданию. Подробнее — в статье «Ожирение и мозг».

Ученые недавно воспользовались небольшим устройством — ячейкой с алмазными наковаль-



нями, — чтобы приложить примерно половину давления в центре Земли к смеси лантана и водорода. Затем они обстреляли полученную массу лазером и синтезировали совершенно новый материал, гидрид лантана, в надежде обнаружить долгожданный сверхпроводник при комнатной температуре. Такое вещество, пишет автор статьи «Материал мечты», могло бы стать реализацией технологического чуда.

Будь то изучение ископаемых существ, биологическое разнообразие или что-то иное, всем научным исследованиям безусловно требуется доля озарения и счастливой случайности, но прежде всего — пылкий ум. Наличие этого подчас приводит к великим открытиям. Российский контент журнала включает материал под названием «Ядро пленительного счастья», интервью с выдающимся ученым академиком Ю.Ц. Оганесяном, именем которого назван последний на сегодня, 118-й, элемент Периодической таблицы химических элементов — оганесон.

В этом номере мы также представляем Катрин Брешиньяк, одну из основателей кластерной физики во Франции, которую в ноябре нынешнего года назначили представителем Французской академии наук в России. Примечательно, что отец Катрин, выдающийся физик Жан Тейяк, много лет работал с учеными из Объединенного института ядерных исследований, был большим другом Ю.Ц. Оганесяна. В Дубне открыта мемориальная аллея в честь французского ученого. ■

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

ЭВОЛЮЦИЯ

ИСПОЛИНЫ МЕЗО- ЗОЙСКИХ НЕБЕС





Недавние ископаемые находки
и математическое моделирование
проливают новый свет на некоторые
вопросы о таинственной жизни древних
летающих ящеров — птерозавров

Майкл Хабиб

ОБ АВТОРЕ

Майкл Хабиб (Michael B. Habib) — палеонтолог и биомеханик из Университета Южной Калифорнии. Изучает анатомию и двигательную активность птерозавров, птиц и оперенных динозавров.



М

езозойскую эру, продолжавшуюся примерно от 251 до 66 млн лет назад, часто называют веком динозавров. На суше тогда и в самом деле царствовали динозавры, но в небесах планеты безраздельно господствовала совершенно иная группа рептилий — птерозавры.

Птерозавры первыми из позвоночных животных освоили машущий (активный) полет и покорили воздушную стихию — задолго до того, как в небо поднялись птицы. Они царили в воздухе более 160 млн лет, а затем, в конце мелового периода (примерно 66 млн лет назад), вместе с динозаврами навсегда исчезли с лица земли. За время существования у птерозавров возникли одни из самых удивительных анатомических признаков из всех когда-либо обитавших на планете животных. Самые крошечные из этих воздушных хищников были не крупнее воробья, а самые большие могли поспорить размахом крыльев с истребителем *F-16*. У многих птерозавров голова была крупнее тела, что воистину делало их смертоносными летающими челюстями. Эти рептилии кружились над всеми океанами и континентами мезозойской планеты, высматривая зоркими глазами плавающих и сухопутных жертв.

В отличие от динозавров, чей род сегодня продолжают птицы, птерозавры не оставили после себя живых потомков. А потому все, что известно сегодня палеонтологам об этих древних рептилиях, — результат изучения их ископаемых останков. Эти окаменелости, однако, имеют крайне фрагментарный характер, что заставляет ученых лишь догадываться о былом величии их обладателей и вызывает массу вопросов об их причудливой анатомии и злой судьбе. Палеонтологи ломают головы над этими загадками уже многие десятилетия.

Недавние ископаемые находки и современные методы математического моделирования позволяют по-новому оценить силовые, летные, анатомические и прочие характеристики птерозавров и наконец-то пролить свет на некоторые из этих вопросов. Из исследований становится ясно, что птерозавры были гораздо более удивительными и необычными существами, чем считалось прежде.

Крылатые левиафаны

Одна из самых древних и головоломных загадок птерозавров связана со способностью к полету крупнейших представителей этой группы животных. Ростом с жирафа, такие великаны, как кецалькоатль (*Quetzalcoatlus*), впервые обнаруженный в Техасе, и найденный на территории современной Румынии хацегоптерикс (*Hatzegopteryx*), обладали размахом крыльев более 10 м. Нижняя челюсть этих животных была вдвое длиннее, чем у тираннозавра (*Tyrannosaurus rex*), а длина их черепа превышала 3 м. Вес этих исполинов достигал 300 кг! Для сравнения: масса тела аргентависа, самой большой птицы, когда-либо поднимавшейся в воздух, обитавшей 6 млн лет назад на территории современной Аргентины, вероятно, не превышала 75 кг.

Громадная разница в размерах крупнейших представителей этих двух групп крылатых позвоночных фактически заставила многих ученых предположить, что самые массивные птерозавры вообще не могли летать, — довольно дерзкая

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Птерозавры были первыми позвоночными животными, освоившими машущий (активный) полет, — примерно на 80 млн лет раньше птиц.
- В процессе своей долгой эволюции они выработали множество уникальных адаптаций, не известных ни у одной другой группы животных.
- Новые ископаемые находки и математическое моделирование проливают свет на некоторые вопросы о жизни летающих ящеров и причинах их вымирания, положившего начало господству птиц в воздушной стихии.

мысль, учитывая наличие у этих рептилий многочисленных адаптаций к полету. По мнению других исследователей, птерозавры могли летать лишь в определенных условиях (например, в случае если земная атмосфера во времена их существования была гораздо плотнее, чем сегодня). Как бы там ни было, вообразить, что птицы таких громадных размеров были способны к полету, просто невозможно. По сути дела, как показали недавние аэродинамические исследования ряда ученых (в том числе и автора настоящей статьи), у таких птиц просто-напросто не хватило бы сил поднять свое сверхгигантское тело в воздух.

Но птерозавры — не птицы. В последнее десятилетие ученые провели многочисленные расчеты взлетной мощности и мощности полета птерозавров, показывающие не только что исполинские крылатые ящеры могли подниматься в воздух и превосходно летать, но и что для этого им, по-видимому, не требовалось никаких особых условий среды. Кроме того, как явно свидетельствуют недавние геохимические анализы осадочных пород и микроанатомические анализы растительных окаменелостей, состояние атмосферы и земной суши в позднем меловом периоде не слишком сильно отличалось от современного. Зато анатомия птерозавров была поистине уникальной.

Животное гигантских размеров может летать при выполнении трех условий. Во-первых, очень высоким должно быть соотношение прочности и массы скелета; этому условию удовлетворяет скелет большого объема, но низкой плотности. Такой скелет характерен и для птерозавров, и для птиц: многие его кости внутри полые. Так, у кецалькоатля диаметр плечевой кости близ локтевого сустава составлял 26,5 см, а толщина ее стенки — всего 0,3 см (что сравнимо с толщиной страусиного яйца).

Во-вторых, для полета гигантским животным требуется высокий максимальный коэффициент подъемной силы. Эта величина показывает, какую подъемную силу создают крылья определенной площади при данной скорости движения. Если этот коэффициент высок, животное может быть тяжелее, так как его крылья будут поддерживать больший вес при более низкой скорости полета. А это в свою очередь означает, что животному требуется меньшая скорость разбега при взлете, следовательно и гораздо меньшая мышечная сила для подъема в воздух.

Мембраны крыльев птерозавров (как и летательные перепонки летучих мышей) создавали более высокую подъемную силу в пересчете на единицу скорости и площади крыла, чем оперенные крылья птиц. Это улучшает низкоскоростную маневренность, что помогает мелким животным совершать более крутые повороты во время полета, а крупным существам облегчает взлет и посадку.

И, наконец, третье и наиболее важное условие — высокая взлетная мощность. Чтобы подняться в воздух, крупное летающее существо, даже снабженное большими, эффективными для полета крыльями, должно развивать значительную мощность во время прыжков. При низкой скорости бега крылья неспособны создать достаточно большую подъемную силу; мощный прыжок позволяет животному и развить критическую скорость, и оторваться от земли на достаточную для начала полета высоту. Более высокая прыжковая мощность обеспечивает более эффективный взлет. А потому крупные летающие существа в первую очередь должны быть хорошими прыгунами.

Впечатляющие прыжки могут совершать многие птицы. Как и их предки, хищные ящеротазовые динозавры-тероподы, все птицы — двуногие существа, а значит, используют для совершения прыжков лишь две ноги. Напротив, птерозавры передвигались по суше на четырех конечностях. Они могли складывать крылья и использовать их и для ходьбы, и для прыганья.

Эту необычную анатомическую особенность птерозавров подтверждают многочисленные прекрасно сохранившиеся окаменевшие следы, оставленные птерозаврами на земле. Благодаря квадрупедальности (передвижению на четырех конечностях) эти летающие животные смогли достичь гораздо более значительных размеров, чем двуногие существа. Вероятно, птерозавры использовали для взлета не только задние ноги, но и гораздо более крупные передние конечности, что позволяло им более чем в два раза увеличивать взлетную мощность. Обладая поистине идеальным сочетанием уникальных адаптаций, эти рептилии превратились в настоящих летающих тяжеловесов.

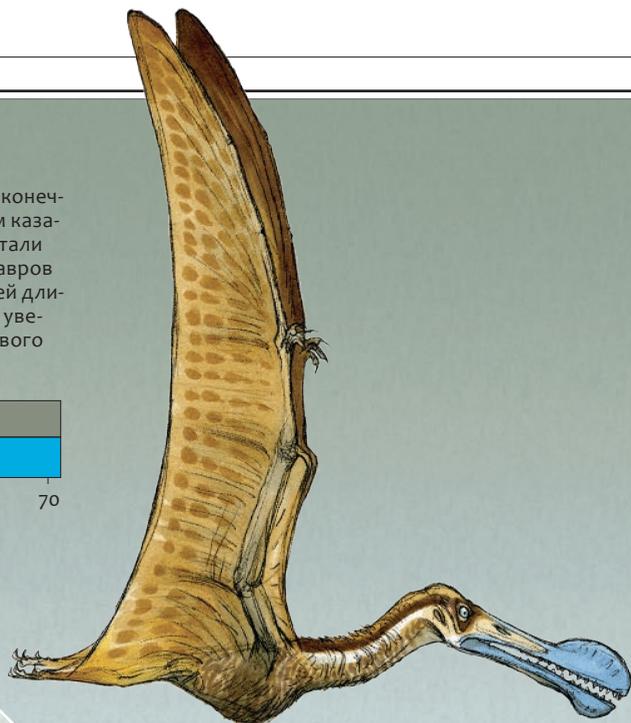
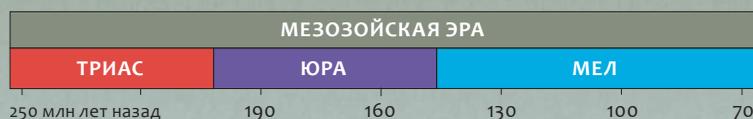
Ученые не раз пытались смоделировать бипедальный (двуногий) взлет гигантских птерозавров. Так, в 2004 г. палеонтолог Санкар Чаттерджи (Sankar Chatterjee) и его сотрудники из Техасского технологического университета попытались выяснить, каким образом мог бы подниматься в воздух кецалькоатль с помощью одних только задних конечностей. Исследователи показали, что животное в этом случае не могло весить более 75 кг, кроме того, оно должно было мчаться вниз по склону против ветра. Четвероногие животные способны совершать взлет, обладая куда более значительным весом тела, и им не требуется для этого особых условий окружающей среды.

Головастые исполины

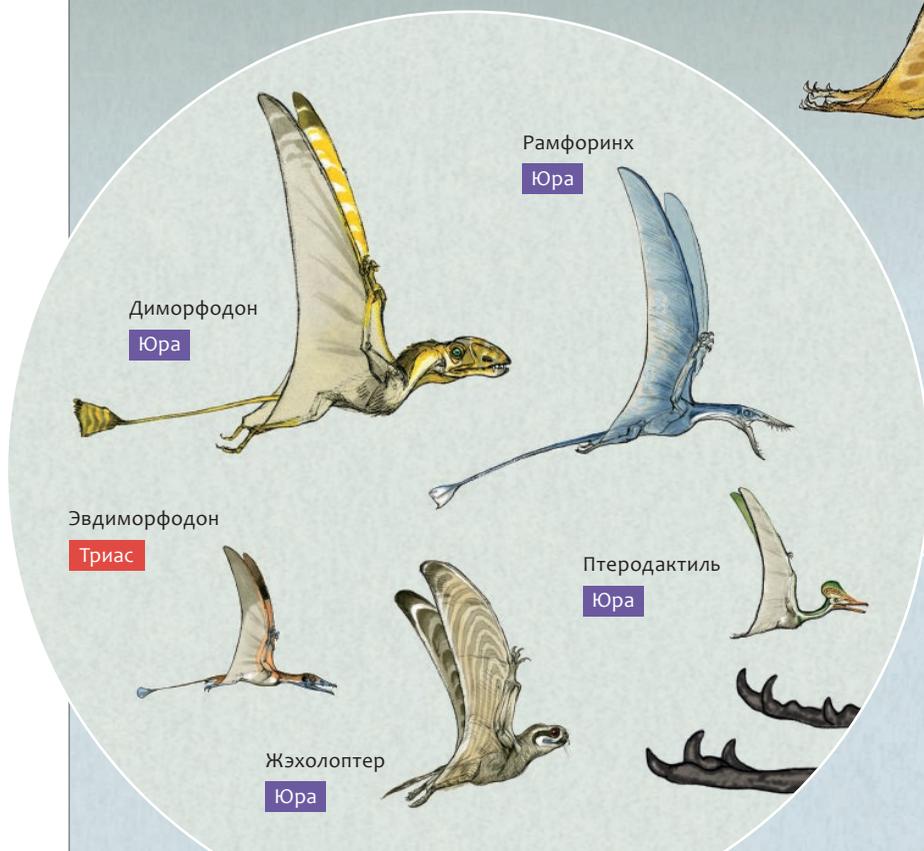
Если таинственная способность гигантских птерозавров к полету мало-помалу получает научное объяснение, то относительные размеры их частей тела продолжают вызывать у ученых сильную головную боль и по сей день. Телосложение этих рептилий и впрямь было очень необычным. Особенно

Таинственные великаны

Все птерозавры отличались необычным телосложением. Их передние конечности были превращены в крылья, а голова по сравнению с туловищем казалась просто огромной. Впоследствии пропорции тела у птерозавров стали еще более причудливыми. У кецалькоатля и некоторых других птерозавров мелового периода на долю головы и шеи приходилось более 75% общей длины тела. Не исключено, что неукротимое стремление этих рептилий к увеличению размеров стало одной из причин их вымирания в конце мелового периода.



Тропеогнат
Мел



Диморфодон
Юра

Рамфоринх
Юра

Эвдиморфодон
Триас

Птеродактиль
Юра

Жэхолоптер
Юра

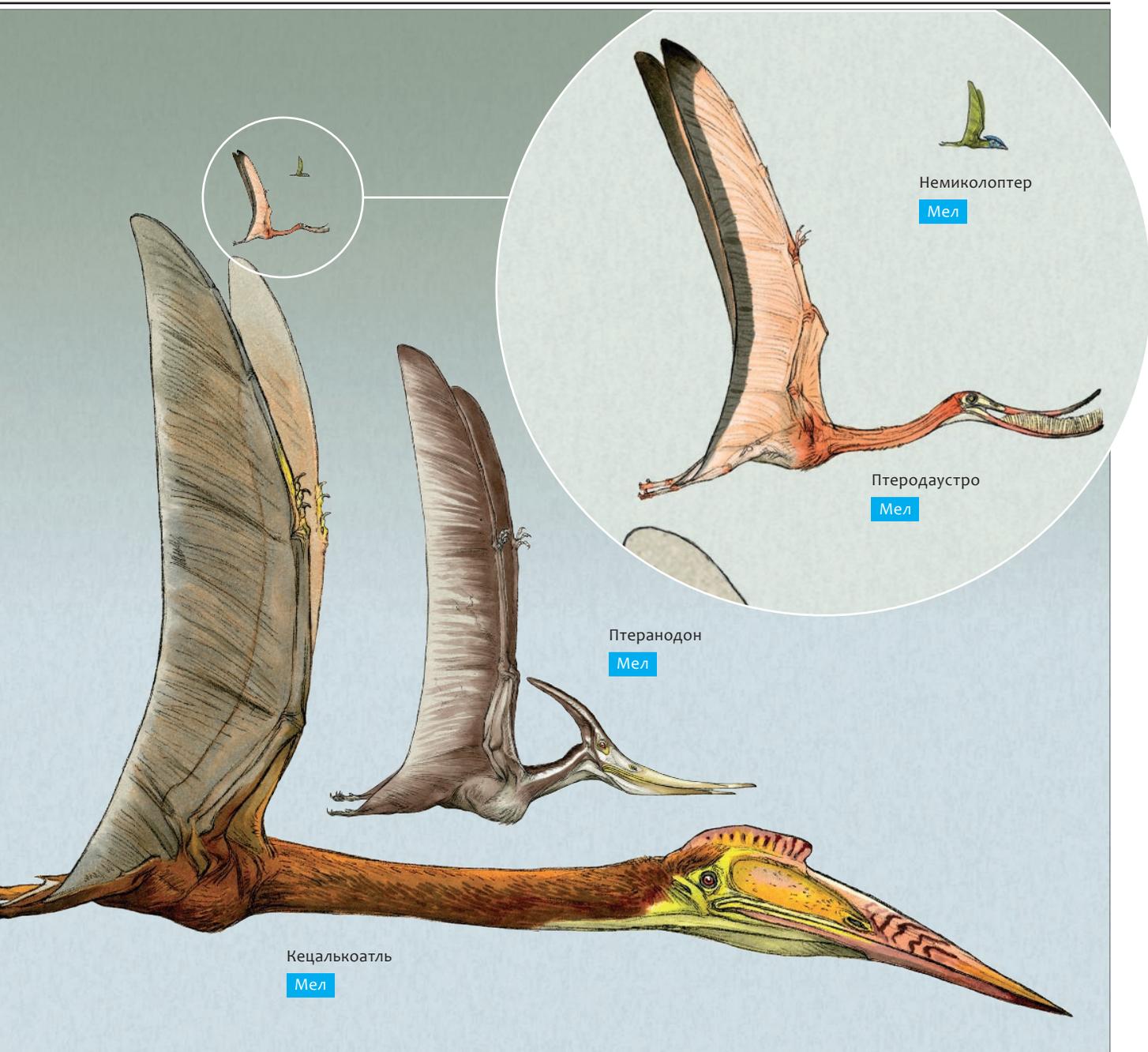


1 метр

причудливыми кажутся пропорции их конечностей. Так, кисти всех птерозавров отличаются чрезвычайно длинными четвертыми пальцами, поддерживающими крылья. Само по себе, однако, это обстоятельство особого удивления не вызывает: такое строение кисти неразрывно связано со способностью птерозавров к полету. Но гораздо больше вопросов у ученых возникает не по поводу кистей и крыльев, а по поводу голов этих рептилий.

Большеголовыми были даже самые первые птерозавры. Черепа рамфоринхов, живших на Земле в конце юрского периода примерно 150 млн лет

назад, почти не уступали по длине туловищу. В меловой период головы птерозавров стали еще длиннее. Как свидетельствуют ископаемые останки кецалькоатля и найденные в Бразилии окаменелости анангуэры (*Anhanguera*), в это время птерозавры значительно увеличили средние размеры тела, а их головы стали поистине гигантскими. Длина черепа типичного птерозавра мелового периода была в два и даже в три раза больше длины туловища (то есть расстояния между плечевым и тазобедренным суставами). У некоторых птерозавров череп был в четыре раза длиннее туловища! Черепная же коробка этих рептилий гигантскими



размерами не отличалась: сильно вытянутыми были лишь кости лицевой части черепа и челюсти. Костные выросты на нижней челюсти, причудливые хитиновые гребни на темени и прочие «детали» еще сильнее усложняли черепную анатомию птерозавров. Могло показаться, что голова и туловище птерозавра принадлежат разным животным.

Но странности не заканчиваются и на этом. Если у людей и большинства животных шейные позвонки — одни из самых мелких костей позвоночника, то у многих птерозавров они самые крупные. Шейные позвонки у этих рептилий нередко вдвое больше грудных. Яркий пример тому — окаменелости

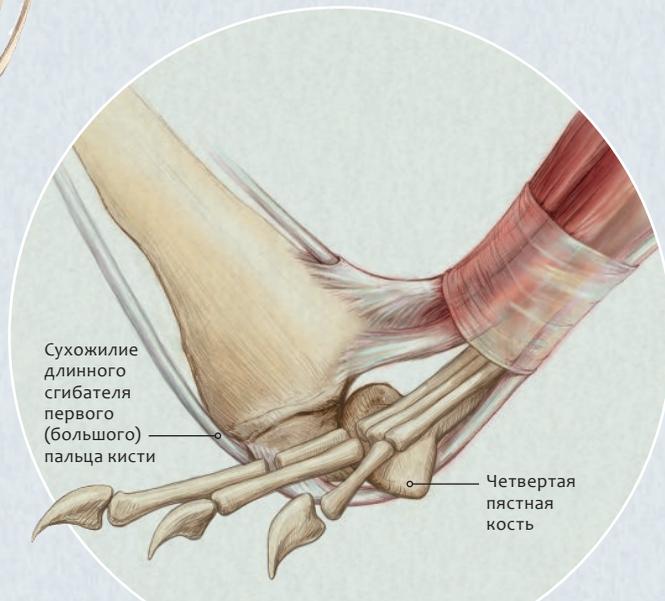
птерозавра, недавно найденные Дэвидом Хорном (David Horne) из Лондонского университета королевы Марии, Франсуа Террьером (François Therrien) из Королевского Тирреловского палеонтологического музея в Альберте (Канада) и автором настоящей статьи и описываемые в сообщении, напечатанном в одном из выпусков *Journal of Vertebrate Paleontology*. Этот летающий ящер, вызвавший у нас некоторые ассоциации с драконом Визерионом из сериала «Игра престолов», получил название *Cryodrakon boreas*, что в переводе с греческого означает «замороженный дракон северного ветра». Длина его шейных позвонков почти не уступала

К взлету готов!

Крупнейшие птерозавры обладали эффективными адаптациями к полету, но весили, похоже, под 300 кг — гораздо больше, чем самые крупные из известных науке летающих птиц. Каким же образом эти исполины могли взлетать и удерживаться в воздухе? В отличие от птиц, которые ходят и при взлете подпрыгивают в воздух на двух ногах, птерозавры ходили на четырех конечностях, о чем свидетельствуют их ископаемые следы. Как показывает математическое моделирование,

взлет из «четвероногой позиции», когда животное сначала отталкивается от земли задними ногами, а затем передними, и обеспечивает высокую прыжковую мощность, которая требовалась гигантским птерозаврам для подъема в воздух. В отличие от бипедального (двуного) взлета квадрупедальный (четвероногий) взлет предполагает участие мощных летательных мышц и катапультирующего устройства в передних конечностях.

- 1 Исходная позиция 2 Приседание 3 Прыжок 4 Катапультирование 5 Взлет



Похоже, сухожилия и кости передних конечностей птерозавров действовали как эффективное катапультирующее устройство. Не исключено, что когда животное, готовясь к четвероногому взлету, занимало исходную позицию, его сухожилия длинных сгибателей первых (больших) пальцев кистей были «пришпилены» к земле. Когда фаза катапультирования переходила в фазу взлета, эти сухожилия скользили в особых бороздках четвертых пястных костей, высвобождая энергию упругой деформации и помогая тем самым выбросить птерозавра в воздух.

Сухожилие длинного сгибателя первого (большого) пальца кисти

Четвертая пястная кость

длине его плечевой кости — кости крыла, к которой крепятся большинство летательных мышц и которая несет основную ответственность за удержание животного в воздухе, — а их прочность была вдвое выше прочности этой кости. У некоторых видов птерозавров и шея, и голова были втрое длиннее туловища, так что на долю этих частей тела приходилось более 75% общей длины туловища птерозавра. Почему у птерозавров были такие необычные пропорции? И как это могло способствовать полету?

Одно из возможных объяснений фантастической анатомии этих рептилий дает гипотеза, которую можно вкратце сформулировать следующим образом. Громадные зубастые челюсти для кормежки и крупная выразительная морда, способная адресовать соответствующие сигналы соперникам и потенциальным партнерам, могла бы стать отличным выбором для множества животных, если бы непомерно высокими не были бы затраты, связанные с обладанием этими анатомическими признаками. Так, млекопитающим присущи крупные черепные (мозговые) коробки, а потому с увеличением общих размеров тела их головы становятся очень тяжелыми. Не исключено, что птерозавры «застряли» на некоем этапе эволюционного развития, когда пропорции лицевой части черепа оказались менее «сцепленными» с его задней частью. Это позволило им сформировать громадные челюсти в отсутствие гигантской черепной коробки.

Череп птерозавров снабжен несколькими дополнительными отверстиями, которых нет у других рептилий; самое крупное из них расположено впереди глаз и называется предглазничным окном. Это отверстие имелось и у динозавров, но у птерозавров оно сильно увеличилось; у некоторых видов оно стало настолько широким, что вполне могло бы вместить весь скелет туловища. При жизни рептилий предглазничное окно было затянуто кожей и другими тканями и, скорее всего, снаружи не было заметно, но оно сильно облегчало вес черепа. Воздушные полости, возможно, имелись и внутри костей черепа птерозавров, как у некоторых ныне живущих птиц.

Но даже при наличии всех этих приспособлений огромные головы птерозавров, вероятно, были очень тяжелыми. Главная проблема здесь, однако, состоит не в том, что тяжелая голова увеличивает общую массу животного, а в непропорциональном смещении центра тяжести тела. Громадная голова, сидящая на гигантской шее, сильно смещает центр тяжести тела к его переднему концу. У типичного ходящего животного это сильно нарушает походку: чтобы сохранять равновесие, оно вынуждено совершать передними конечностями неловкие движения, выдвигая их далеко вперед. А передние конечности птерозавров обладали к тому же колоссальными размерами и были предназначены главным образом для полета.

Реконструкция походки этих рептилий, сделанная Кевином Пэдианом (Kevin Padian) из Калифорнийского университета в Беркли, показала, что шагающий по суше птерозавр располагал свои передние конечности таким образом, чтобы они принимали на себя вес головы, шеи и груди. Его тело приводили в движение главным образом ноги, а потому во время ходьбы животное удерживало вес своей громадной головы и шеи на сверхмассивных передних конечностях, а от земли отталкивалось гораздо более «нормальными» задними конечностями.

Не отличаясь особой эффективностью, такая походка, однако, была вполне осуществима. Но главным способом передвижения птерозавров был полет. Не исключено, что некоторые виды этих рептилий с длинными узкими крыльями, напоминающими крылья альбатросов и других современных морских птиц, непрерывно летали в воздухе по несколько месяцев или даже лет подряд, опускаясь на землю лишь для спаривания или откладки яиц. Возможно, птерозавр под названием никтозавр (*Nyctosaurus*) был обладателем самых эффективных крыльев и, соответственно, совершал самые далекие непрерывные парящие полеты из всех когда-либо обитавших на Земле позвоночных.

В воздухе смещенный центр тяжести доставляет животному гораздо меньше хлопот. Чтобы животное удерживало равновесие в воздушной среде, центр тяжести его тела и центры подъемных сил должны находиться на одной прямой. Может показаться, что существо с громадной головой и шеей и, соответственно, сильно смещенным вперед центром тяжести добиться такого расположения очень нелегко. Но у птерозавров центры подъемных сил находились вблизи переднего края крыльев, а значит, как впервые указали Колин Палмер (Colin Palmer) и его сотрудники из Бристольского университета в Англии, чтобы выровнять центры подъемных сил с центром тяжести, животным нужно было лишь немного повернуть крылья от корня вперед. Возникающая в результате обратная стреловидность крыльев сама по себе может служить причиной нестабильности, но гибкость крыльев этих животных и быстрота мозжечковых рефлексов, присущая всем позвоночным существам, вполне позволяли компенсировать этот недостаток.

Крылья обратной стреловидности дают животным и ряд существенных преимуществ. Во-первых, воздушный поток стекает на таких крыльях от их кончиков к корням и завихрения, образующиеся на концах, менее интенсивны; это значит, что во время полета животное испытывает меньшее сопротивление. Во-вторых, крылья с обратной стреловидностью создают более высокую подъемную силу, а потому для подъема в воздух

животным требуются меньшие взлетная скорость и дистанция пробега. Взлет и приземление осуществляются гораздо мягче, что для крупных и тяжелых животных имеет очень большое значение. Наконец, обратная стреловидность крыльев увеличивает маневренность и управляемость полета, от которых сильно зависит эффективность охоты хищников.

Конец династии

В течение примерно 80 млн лет птерозавры оставались единственными позвоночными животными на Земле, владевшими машущим (активным) полетом. Затем, в юрском периоде (около 150 млн лет назад), на крыло начала вставать еще одна группа позвоночных — оперенные динозавры. Эта группа включала микрораптора (*Microraptor*), анхиорниса (*Anchiornis*) и других четырехкрылых существ, а также птиц. К началу мелового периода птерозавры уже делили небеса нашей планеты с самыми разнообразными птицами, но продолжали занимать доминирующее положение среди крылатых существ средних и крупных размеров (особенно в открытых местообитаниях). Распространение птиц ограничивалось главным образом областями с густой растительностью, где они имели значительные преимущества благодаря проворству и мелким размерам тела. Таким образом, птерозавры по-прежнему оставались полновластными властелинами открытых небес.

Но примерно 66 млн лет назад на Землю врезался огромный астероид, уничтоживший всех наземных и водных динозавров, а также положивший конец царствованию птерозавров. Как свидетельствуют палеонтологические данные, пережить конец мелового периода не удалось ни одному птерозавру: все они погибли. Погибло и большинство древних птиц; уцелела лишь одна из их многочисленных линий — так называемые веерохвостые, или новые птицы (*Neornithes*). Тем не менее эта единственная линия пернатых в скором времени дала многие тысячи новых разновидностей. Сегодня класс птиц насчитывает более 12 тыс. видов и из всех позвоночных существ уступает по величине лишь классу костных рыб.

Почему же в конце мелового периода участь птерозавров оказалась гораздо трагичнее судьбы птиц? Одна из причин может быть связана с внушительными размерами этих рептилий. Едва ли какому-нибудь наземному животному с массой тела более 20 кг удалось пережить апокалипсис того времени. Воздушный образ жизни делал птерозавров еще более уязвимыми: путешествуя по воздуху, огромные крылатые животные большую часть времени проводят в парящем полете. А эффективность парения сильно зависит от погодных условий. Когда в Землю врезался астероид, большая его часть, а также значительная

часть земной коры превратились в пар и пыль, которые поднялись в небо в виде гигантского раскаленного облака. Независимый авиационный инженер-конструктор с многолетним опытом работы Джим Каннингем (Jim Cunningham) и другие специалисты по аэродинамике отмечают, что в течение месяца после падения астероида глобальное состояние атмосферы, вероятно, оставалось сильно нарушенным и вряд ли подходило для парящего полета. Поскольку для поиска пищи птерозавры нуждаются в парении, многие из них за столь длительное время могли погибнуть от голода.

Понятно, что одни лишь мелкие размеры тела не спасали животных от гибели — ведь в конце мелового периода с лица планеты исчезло и большинство птиц. Выжившие виды, вероятно, могли питаться кормами, уцелевшими в условиях «ядерной зимы» (например, семенами). Скорее всего, они могли также рыть норы, чтобы спастись от вредных факторов среды, — как это делают многие современные пернатые. Птерозавры же и не ели семян, и не умели рыть норы. Им это было ни к чему: хищным летающим чудикам высотой более 4 м не было нужды закапываться в землю от врагов — у птерозавров их попросту не было.

Хотя птерозавры и вымерли, история их существования на Земле была вполне успешной: в процессе эволюции эти воздушные великаны вырабатывали множество уникальных анатомических адаптаций, которых не было ни у одной другой когда-либо жившей на планете группы животных. Птерозавры существенно расширили наши представления о возможных жизненных формах и функциях животных. Эти уроки помогают нам лучше понять историю Земли и сложность ее экологических проблем. Птерозавры даже вдохновляют людей на разработку новых технологий, используемых, например, при совершенствовании конструкций самолетов. Ископаемая летопись этих рептилий — окно в фантастическое прошлое Земли, когда в небесах парили настоящие крылатые монстры. Птерозавры были не просто удивительными животными — это были поистине особенные существа. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Ксепка Д., Хабиб М. Гиганты неба // ВМН, № 7, 2016.
- On the Size and Flight Diversity of Giant Pterosaurs, the Use of Birds as Pterosaur Analogues and Comments on Pterosaur Flightlessness. Mark P. Witton and Michael B. Habib in PLOS ONE, Vol. 5, No. 11, Article No. e13982; November 2010.
- The Wingtips of the Pterosaurs: Anatomy, Aeronautical Function and Ecological Implications. David W.E. Hone, Matt K. Van Rooijen and Michael B. Habib in Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Vol. 440, pages 431–439; December 2015.

ПРОСТО ФИЗИКА



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ



Алексей Иванченко
ДОСТУПНО
О ФИЗИКЕ
ПРОИСХОДЯЩЕГО

Реклама

12+



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ



ЖИВАЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



ПЛАНЕТА HD
ТЕЛЕКАНАЛ



ИСТОРИЯ
ТЕЛЕКАНАЛ



ДОКТОР
ТЕЛЕКАНАЛ



ТЕЛЕКАНАЛ





АТОМНАЯ ФИЗИКА

ЯДРО ПЛЕНИТЕЛЬНОГО СЧАСТЬЯ

С начала XXI в. прошло меньше 20 лет, а таблица Менделеева уже увеличилась на шесть элементов. Большая часть из них пришлась на легендарный «остров стабильности», который ядерщики всего мира искали начиная с конца 1960-х гг. И все это было сделано в Дубне, в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ. О последних открытиях мы беседуем с ее руководителем академиком РАН Юрием Цолаковичем Оганесяном, именем которого назван последний на сегодня, 118-й, элемент — оганесон.

XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии — одно из главных событий провозглашенного ООН Международного года Периодической таблицы химических элементов, которая была открыта великим русским ученым 150 лет назад. Форум собрал ведущих ученых мира, в том числе лауреатов Нобелевской премии



— Юрий Цолакович, у некоторых музыкантов есть любимые ноты, у художников — любимые цвета, а у вас есть любимый химический элемент?

— Нет, они для меня предмет работы, тут не до эмоций. С ними должно все получаться как задумано, а если не получается, значит что-то неправильно сделано. Хотя считается, что, если говорить об области известных элементов, для острова стабильности наиболее сильно выражен 114-й. Когда говорили о сверхтяжелых элементах, всегда предполагалось, что надо дойти до 114-го. Это часто повторялось, хотя, может быть, не очень обоснованно. Сегодня мы считаем, что наиболее стабильным будет не 114-й, а 110-й или 109-й. Но эффект дополнительной стабилизации за счет внутренней структуры ядра максимален именно для 114-го. И в этом смысле он особый. Получить его считали научно важным делом наши учителя — Г.Н. Флеров, И.В. Курчатов. К сожалению, они до этого не дожили. Мы же, получив 114-й элемент в 1998 г., назвали его «флеровий».

Элементарное ядро

— Что именно привело вас в большую науку?

— Все началось с интереса к ядерной физике. Слово «ядерная» тут определяющее, поскольку главные вопросы относятся именно к ядрам: насколько они могут быть тяжелыми, чем обусловлен их предел, как

они распадаются. Элементы идут уже потом, ибо если нет ядра, то нет и элемента. Когда мы говорим «элемент», мы подразумеваем, что речь уже идет об электронном построении вокруг этого ядра. Там ядро рассматривается как некий почти точечный положительный заряд, вокруг которого создаются сложные электронные структуры. Меня же всегда интересовало и интересует до сих пор само ядерное вещество.

— Разве можно рассматривать одно в отрыве от другого?

— Два интереса — к элементу и его ядру, — хотя и связаны построением атома, но на самом деле довольно сильно разнятся. О ядерном веществе мы поныне знаем мало. Не знаем природу ядерных сил, которые связывают вместе протоны и нейтроны в ядре, то есть как работает то, что мы называем сильным взаимодействием. Что же касается электронной структуры, здесь классическая законченная теория квантовой электродинамики. И силы известны — это электромагнитные силы.

— Однако, насколько я понимаю, последнее время вы занимаетесь именно элементами.

— Атомной физикой, касающейся строения атома, я занялся относительно недавно, когда поставил перед собой и своей группой задачу дойти до предела существования ядер. Проведя большое число опытов и продвинувшись к более тяжелым ядрам, мы пришли к выводу, что до границы еще не так близко и что ядер может быть



В своем докладе Ю.Ц. Оганесян проследил историю ядерной физики и рассказал о синтезе новых элементов

больше, чем мы предполагали. Эта удивительная живучесть, простирающаяся от последнего стабильного ядра висмута за 118-й элемент, все больше и больше растягивает Периодическую таблицу химических элементов. Так что ни в ядре атома, ни в его структуре мы до границы еще не дошли.

— **А она вообще должна быть?**

— Безусловно. Тут есть разные ориентиры. Что касается физики ядра, то отсутствие наблюдаемых в эксперименте границ объясняется тем, что после сильного падения стабильности ядер с увеличением их массы и заряда возникают так называемые острова ядерной стабильности. Материк стабильных ядер ушел в «море нестабильности», но потом возник остров. Вопрос о том, существует этот остров или нет, волновал ядерных физиков и химиков более 30 лет. И вот последние сверхтяжелые элементы дают положительный ответ, потому что, по данным экспериментов, они значительно более стабильны, чем их более легкие предшественники. Они уже островитяне. Мы, конечно, еще далеки от вершины острова, где ядра могут жить миллионы лет, я даже не очень представляю, как можно в искусственном синтезе до нее добраться, но очень хочу надеяться на то, что это будут настолько длительные периоды, что мы сможем найти их в природе. Возможно, в космических лучах, метеоритах. Г.Н. Флеров в свое время посвятил этому более десяти лет своей жизни.

— **Думаете, можно найти?**

— Не исключаю такой возможности. Ведь Георгию Николаевичу в поиске просто не хватало чувствительности аппаратуры, а на сегодняшнем уровне развития техники поиск может увенчаться успехом. Что касается атомной физики, там предел ставит квантовая электродинамика. Для положительно заряженного ядра она предсказывает некоторое критическое поле (в соответствии с критическим зарядом), выше которого из вакуума вырывается электрон и садится на внутреннюю орбиту водородоподобного гиганта, понижая начальный заряд системы на единицу. Вакуум же переходит в нестабильное состояние, потому что в нем теперь не хватает этого электрона. Для того чтобы вернуться в нейтральное состояние, он должен испустить позитрон.

— **Думаю, теоретики уже этот предел вычислили? Чему равен такой критический заряд?**

— Разные расчеты дают разное значение, но более достоверно, что 174.

— **То есть места в таблице Менделеева еще много.**

— И в этом сегодня заключается основная интрига. Пока мы далеки от этой области. Последнее ядро 118-го элемента было получено нами в виде двух изобар: с четными числами протонов и нейтронов и с нечетными. В обоих случаях времена жизни ядер в масштабах микромира огромны. Можно идти дальше. Мы убеждены, что можно будет синтезировать 119-й, 120-й, быть может

и 121-й элементы. Но уже в структуру синтезированных сверхтяжелых элементов и более тяжелых, о которых идет речь, вмешивается теория относительности. По мере того как растет заряд ядра, ближайšie к нему электроны двигаются все быстрее. Их энергия растет, как квадрат заряда, и по мере того как скорость приближается к скорости света, в точном соответствии с теорией Эйнштейна, работает эффект роста массы электрона. Релятивистский эффект приводит к сжатию внутренней орбиты. В свою очередь, компрессия внутренней орбиты атома меняет в разной степени всю электронную структуру атома, в том числе энергию связи самого удаленного электрона на последней орбите, который ответствен за химические свойства

Проверка предсказания о существовании острова стабильности, состоящего из ранее неизвестных сверхтяжелых нуклидов — это, по существу, строгий экзамен наших знаний о строении атома, а особенно знаний о самых тяжелых атомах вблизи границ их существования

элемента. Из-за дополнительного экранирования электрического поля ядра сжавшейся внутренней электронной орбитой внешний электрон чувствует поле ядра слабее и для него уже становятся чувствительными соседние электроны, с которым он начинает взаимодействовать, как бы «разговаривать».

— **Насколько понимаю, пока еще тихо, шепотом. Но ведь он и раньше «разговаривал»?**

— Этим эффектом раньше пренебрегали, так как он был слишком малым по сравнению с основным эффектом — взаимодействием с положительно заряженным ядром. Его и сейчас пока еще учитывают как поправку. Но эти поправки быстро растут. В конце концов они становятся настолько большими, что начинают стирать разницу между группами в Периодической таблице химических элементов.

— **Эффект накапливается?**

— Этот эффект прямо связан с релятивистской массой электрона. Первичный эффект —

релятивистское сжатие. Его следствия для удаленных от ядра электронов могут приводить, наоборот, к разбуханию внешних орбит. Но определенно это обстоятельство меняет стройную систематику таблицы. И стандартное разделение на восемь групп от самых химически активных металлов до самых инертных благородных газов будет постепенно размываться. Отметим, однако, что расчет поправки, связанной с взаимодействием 40 или 60 удаленных электронов, — типичная задача многих тел...

— **...практически нерешаемая на таком уровне.**

— Даже для сверхмощных компьютеров задача тяжелая и громоздкая. Но дело не в компьютерах. Как составить задачу этому компьютеру — дело людей, которые берутся за это трудное занятие. Они начинают с учета двухчастичных взаимодействий, потом включают трехчастичные, затем четырехчастичные... Для более высоких порядков вводят некоторые упрощения (например, расчет электронных кластеров). Все это необходимо, потому что по мере даже небольшого продвижения вперед влияние поправок растет очень быстро.

— **Шагов до 174-го элемента еще много.**

— От 118-го до 174-го — дистанция серьезная. И по мере движения в сторону все более тяжелых элементов нас явно ждет масса сюрпризов. Известно, что элементы в группах периодической таблицы подобны.

— **Да, помню из школы, что стоящий во второй группе бериллий подобен стоящему под ним магнию, тот в свою очередь — кальцию и т.д.**

— Отход от такого подобия у сверхтяжелых элементов мы уже чувствуем.

— **То есть элемент в своем гнезде в таблице пока сидит, но при детальном рассмотрении видно, что он из него уже готов выпрыгнуть?**

— Например, 112-й элемент, коперниций, уже отличается от находящейся прямо над ним ртути, а 114-й, флеровий, от свинца. И сейчас все говорят, и даже много статей уже опубликовано, что 118-й так же должен отличаться от радона, — и вообще неизвестно, представляет ли он собой, как ему по группе положено, также благородный газ.

— **А чем же он может быть, металлом?**

— Возможно, твердым телом. Хотя все его предшественники от гелия до радона были газами при комнатной температуре. Но есть вероятность, что вести себя он будет все-таки как благородный газ.

— **Твердое тело, которое будет, подобно газу, заполнять весь доступный объем?**

— Это, конечно, вряд ли, но как благородный газ это твердое вещество будет химически инертным. У благородных газов, как известно, последняя электронная оболочка замкнута, там нет места для того, чтобы принять еще один электрон и тем самым сделать атом отрицательно заряженным. А 118-й, по расчетам, принять может. Связь у этого дополнительного электрона будет слабая, но она будет, хотя у всех предыдущих благородных газов она отсутствует. Такие, пока небольшие, отличия наблюдаются у синтезированных сверхтяжелых элементов.

— **По шажочку...**

— Да, конечно. Пока мы так дошли до 118-го. Со следующим, 119-м, будет еще интереснее, там произойдет перескок из последнего ряда в первый.

— **Из благородных инертных газов — в щелочные металлы.**

— В химическом поведении большое изменение. Мы думаем, что оно будет проявляться, хотя и не столь сильно, как если бы не было «релятивистского эффекта». На этом пороге мы сейчас находимся.

Незаконная экономика

— **Синтез новых элементов занимает много лет и стоит огромных денег. На какую отдачу от них мы можем рассчитывать?**

— Во-первых, не таких уж огромных средств. Почему-то все затраты на создание нового научного оборудования всегда кажутся непомерно большими. Видимо, сравнивают по старинке с пробиркой или пинцетом. Я бы сказал, что скорее больших людских усилий, чем денег. Постановка же вопроса об отдаче в научном поиске неверна в корне. Не стоит думать, что когда мы идем к сверхтяжелым элементам, прикладной эффект появится в тот момент, когда мы их найдем. Совсем не так. На пути к заветной цели, долгом (годы, десятилетия) и трудном, приходится решать целый ряд задач, невдомых до этого ни науке, ни технике. Пока их не преодолешь, не пройдешь дальше. Собственно, это и занимает время и силы экспериментатора. И этот этап работы — основной. Он связан непосредственно с научно-техническим прогрессом, и сам он — его часть. Работа в этот период несет новое качество, возникают кардинально новые подходы, позволяющие достигнуть этого качества

(огромной чувствительности, высокого быстродействия, исключительной точности, большой скорости переработки громадных массивов информации и пр.). Теперь, кажется, мне не надо объяснять пользу этой деятельности для общества. Однако если бы у вас не было путеводной звезды, которая в этом направлении зовет, вы бы туда просто не пошли и этих задач, по крайней мере сейчас, не решили. Теперь часто и открыто говорят, что стратегически нет ничего более выгодного, чем вложение в науку. Потому что таким образом в нее вовлекается молодежь, отбираются способные молодые люди, которые потом в решении этих фундаментальных задач создают самые передовые технологии. Примеров тому масса, наиболее характерный и всем понятный — интернет. Кто бы им занимался в середине прошлого века, если бы не возникла проблема обработки гигантских массивов многомерных экспериментальных данных, поступающих ежесекундно со сложных устройств?

— **То есть интернет стал побочным продуктом больших фундаментальных исследований?**

— Мне странно слышать такое определение интернета сегодня. Он уже давно имеет свою самостоятельную жизнь и далеко не побочную ценность для общества. Суммарный положительный эффект от его создания уже многократно превзошел, казалось бы, колоссальные фундаментальные вложения в исследования, ради которых он в конце 1960-х гг. был создан. И примеров такого сорта — пусть, быть может, не такого масштаба — достаточно много. Это как корабль, на котором флаг какой-то державы, идет, скажем, к острову и тянет за собой невод. Среди того, что попадает в невод, есть вещи, которым нет цены.

— **То есть вы по пути к острову стабильности тоже тянете такой невод?**

— Конечно. Несколько синтезированных нами новых атомов не представляют для общества практической ценности. Полезными будут попутно решаемые задачи и создаваемые высокие технологии.

— **Но ведь и в конечном продукте должна быть ценность. Так зачем человечеству нужны сверхтяжелые элементы?**

— Я уже говорил, что у нас пока нет стройной теории строения ядерного вещества, но есть теоретические модели. По этим моделям, как по кочкам, мы двигаемся все дальше и дальше в познании ядерной материи. И каждый шаг, если мы его сделали правильно, дает нам возможность

предвидеть дальнейшее развитие. Проверка предсказания о существовании острова стабильности, состоящего из ранее неизвестных сверхтяжелых нуклидов, их физические и химические свойства — это, по существу, строгий экзамен наших знаний о строении атома, а особенно знаний о самых тяжелых атомах вблизи границ их существования. И если мы познаем структуру ядра и атома, то шагнем в новую эру.

— **У нас появится новая ядерная энергетика?**

— У нас много чего нового появится. Новая ядерная физика, новая космология... Пока я получаю удовлетворение лишь от того, что этот остров действительно есть и мы до него дошли.

— **Но ведь могло случиться так, что его и нет?**

— Даже не знаю, как бы мы выходили из этого положения. Это бы значило, что мы шли по неверному пути, и надо было бы рассматривать другие сценарии ядерной теории.

— **Когда-то академик Л.А. Арцимович сказал, что наука предоставляет уникальную возможность удовлетворения собственного любопытства за государственный счет.**

— Конечно, это мечта, чтобы тебе профинансировали осуществление того, что ты задумал и на что у тебя средств не хватает. Впрочем, их всегда не хватало, и я думаю, что это даже хорошо. Недостаток средств развивает фантазию, это чрезвычайно важно.

— **Но кризис-то на науке сказывается?**

— Наука существует долго, она пережила инквизиции, эпидемии, войны, кризисы — и тем не менее дошла до наших дней.

Русский Леонардо

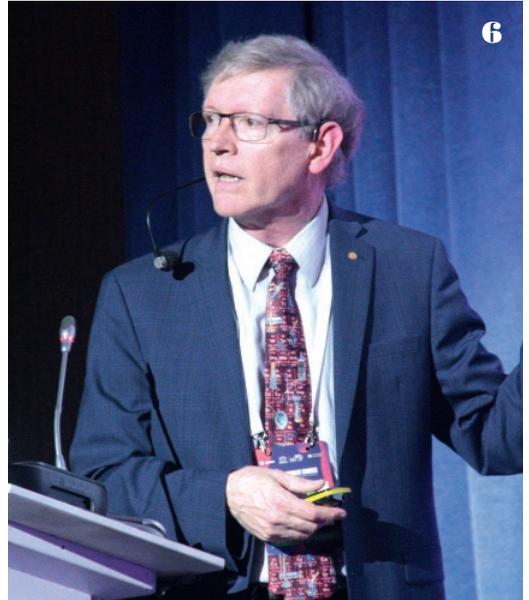
— **Д.И. Менделеев создал свой периодический закон и знаменитую Периодическую систему химических элементов задолго до того, как стало известно, как эти самые элементы устроены. У него был минимум предположений, а его теория была гениальной догадкой?**

— Естественное знание есть, по сути, познание окружающего нас материального мира. Мы пытаемся понять, по каким законам он существует (законы природы), откуда берет начало (Большой взрыв), в каком направлении идет его развитие (эволюция Вселенной). Словом, он есть и мы его изучаем. Но если сегодня что-то неясно, то это вовсе не значит, что оно останется неясным навсегда. Рано или поздно ответ будет найден. А гениальность



1. Премьер-министр РФ Д.А. Медведев
2. Член-корреспондент РАН Н.П. Тарасова
3. Президент РАН А.М. Сергеев и министр науки и высшего образования РФ М.М. Котюков
4. Лауреат Нобелевской премии по химии Жан-Пьер Соваж
5. Академик Ю.Ц. Оганесян
6. Профессор Стэнфордского университета Уильям Мернер
7. Губернатор Санкт-Петербурга А.Д. Беглов
8. Академики С.М. Алдошин, М.П. Егоров и А.Ю. Цивадзе





ученого заключается в том, что он это понял чуть раньше других. Как бы раньше своего времени, когда фактов еще было мало.

— **В распоряжении Менделеева было всего 63 элемента. Если бы не было его гениальной догадки, люди через некоторое время нашли бы 64-й, потом 65-й, 66-й, и после каждой из этих ступенек существование периодического закона становилось бы все заметнее. Даже если и тогда до него никто бы не додумался, в конце концов кто-то, необязательно Резерфорд, создал бы планетарную модель атома, из которой этот закон вытекал бы как следствие.**

Д.И. Менделеев — это русский Леонардо да Винчи. Удивительный человек, которого интересовало все. Например, когда ему надо было посмотреть на солнечное затмение, он поднялся в пасмурный день на аэростате над облаками, хотя у него до этого не было никакого опыта воздухоплавания

— Тут зависимость обратная: планетарная модель атома была предложена Эрнестом Резерфордом спустя 42 года после публикации работы Д.И. Менделеева. И это тоже было гениальным. Вообще, то, что создается в науке, имеет относительную ценность, потому что рано или поздно это все равно будет понято. Ценность в том, что понятое значительно раньше дает сильный толчок для дальнейшего познания. В то же время в отличие от относительных ценностей науки ценности искусства абсолютны. Мы знаем много гениальных художников, скажем, Диего Веласкеса. Были художники до Веласкеса, были и после, но не было и не может быть Веласкеса второго. В этом смысле то, что создал он, имеет абсолютную ценность.

— **Менделеев умел совмещать и то и другое.**

— Я бы сказал, что Дмитрий Менделеев — это русский Леонардо да Винчи. Удивительный человек, которого интересовало все.

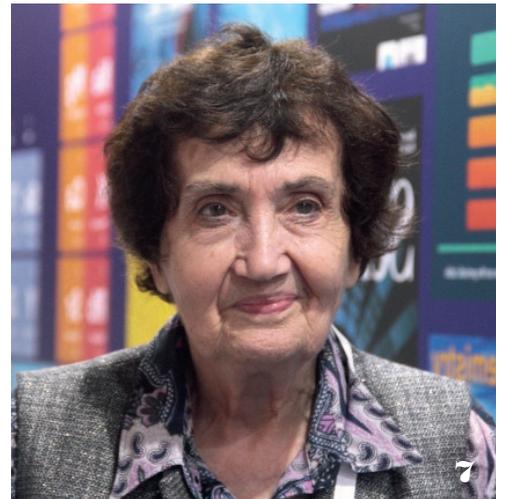
Периодический закон и периодическая таблица — это общеизвестно. Но есть еще, например, его идеи о происхождении нефти или изобретение бездымного пороха. Когда ему надо было посмотреть на солнечное затмение, он поднялся в пасмурный день на аэростате над облаками, хотя у него до этого не было никакого опыта воздухоплавания.

— **И рисовал он неплохо.**

— И круг общения у него был широчайший. В него входили не только ученые, но и литераторы, музыканты, художники, политики, военные, предприниматели. Если вы не были в музее-архиве Д.И. Менделеева в Санкт-Петербургском университете, советую посетить. Там есть большой круглый стол, накрытый белой скатертью. К нему приходили гости, они сидели, обедали или ужинали, беседовали, а перед уходом Менделеевы просили каждого гостя расписаться на этой скатерти. Потом его супруга эти автографы вышивала. Это потрясающая коллекция имен: И.Е. Репин, М.П. Мусоргский, русская интеллектуальная элита того времени. Когда Г.Н. Флерову исполнилось 75 лет, мы решили подарить ему что-то, связанное с делом всей его жизни — химическими элементами. Я поехал в нефтяной техникум Ленинграда, расположенный на Хрустальной улице, в доме № 14, в здании бывшей Школы химиков, созданной Д.И. Менделеевым. Он подарил этой школе свою личную библиотеку. Библиотека и была предметом моего интереса.

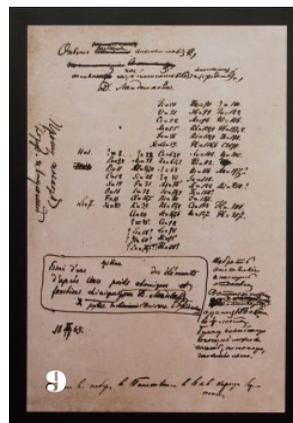
Я обратился к директору техникума с просьбой продать нам несколько книг в подарок академику Г.Н. Флерову. Мы готовы были купить всю библиотеку и сохранить ее в нашей лаборатории. Но директор сказал, что продавать эти книги он не может, и предложил нам книги из библиотеки по моему выбору в обмен на современные учебники по органической химии, которых им не хватает. Пошли смотреть библиотеку. К моему удивлению, там не было ни одной книги на русском языке. Все книги в библиотеке Д.И. Менделеева были на немецком, французском, английском. Не было тогда на русском серьезных научных книг по химии! Только в 1877 г. вышла его толстая книга на русском языке «Основы химии». Я держал эту книгу в руках на Менделеевском съезде в сентябре 2019 г. Такое чувство, что Д.И. Менделеев создал не только Периодическую систему химических элементов, но и российскую химию. ■

Беседовал Валерий Чумаков



Periodische Gesetzmässigkeit der Elemente nach Менделѣевъ.

| Reihen | Gruppe I R ¹ O | Gruppe II R ² O | Gruppe III R ² O ³ | Gruppe IV R ⁴ H ⁴ R ² O ² | Gruppe V R ⁴ H ³ R ² O ² | Gruppe VI R ⁴ H ² R ² O ² | Gruppe VII R ⁴ H R ² O ² | Gruppe VIII R ⁴ O |
|--------|------------------------------|-------------------------------|---|---|--|---|---|-----------------------------------|
| 1 | H-1 | | | | | | | |
| 2 | Li-7 | Be-9 | B-11 | C-12 | N-14 | O-16 | F-19 | |
| 3 | Na-23 | Mg-24 | Al-27 | Si-28 | P-31 | S-32 | Cl-35,5 | |
| 4 | K-39 | Ca-40 | Sc-44 | Ti-48 | V-51 | Cr-52 | Mn-55 | Fe-56, Co-59 Ni-59, Cu-63 |
| 5 | (Cu-63) | Zn-65 | Ga-68 | -72 | As-75 | Se-79 | Br-80 | |
| 6 | Rb-85 | Sr-87 | Yt-88 | Zr-90 | Nb-94 | Mo-96 | -100 | Ru-104, Rh-104 Pd-106, Ag-108 |
| 7 | (Ag-108) | Cd-112 | In-113 | Sn-118 | Sb-122 | Te-125 | I-127 | |
| 8 | Cs-133 | Ba-137 | Ce-137 | La-139 | - | Di-145? | - | |
| 9 | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | |
| 10 | - 165 - | - 189 | Er-170 | - 173 | Ta-182 | W-184 | - | Pt-194, Os-195? Ir-193, Au-196 |
| 11 | (Au-196) | Hg-200 | Tl-204 | Pb-208 | Bi-210 | - | - | |
| 12 | - | - | Th-231 | - | U-240 | - | - | |



1. Президент РАН академик А.М. Сергеев
2. Профессор Ноттингемского университета Мартин Полякофф
3. Очередной интересный доклад Академик В.М. Бузник
4. Академик В.М. Бузник
5. Вице-президент РАН академик А.Р. Хохлов
6. Академик Ю.А. Золотов
7. Академик И.П. Белецкая
8. Самый старый печатный экземпляр таблицы Менделеева (1885)
9. Первый рукописный вариант своей таблицы Д.И. Менделеев озаглавил так: «Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве» (1869)



НАУКА И ОБЩЕСТВО

Катрин Брешиньяк:

«Рада, что связи между французскими и русскими учеными не прерываются»



Катрин Брешиньяк — известный во Франции ученый. Ее называют одним из основателей кластерной физики, которая перекрывает разрыв между атомной, молекулярной физикой и физикой твердого тела. Но Катрин находит время заниматься не только наукой. В ноябре нынешнего года она назначена представителем Французской академии наук в России.

Командор ордена Почетного легиона, член Академии технологий Франции, академик Французской академии наук, доктор Свободного университета в Берлине, Технологического института Джорджии и Федеральной политехнической школы Лозанны, обладательница многих почетных премий и званий, Катрин Брешиньяк оказалась живой и смешливой, обожает повторять русские слова — «ведь они такие звучные и прекрасные», знает толк в русских пейзажах, даже если за окном осень. Во время визита в Россию состоялся наш разговор.



К.Н. Горский. Встреча императора Петра I с малолетним Людовиком XV.

— **Сотрудничеству французской и российской академий наук более 300 лет. Оно ведет свою историю еще со времен Петра I, который стал первым русским членом Французской академии наук. Как вы думаете, каковы самые большие достижения в этом долгом сотрудничестве?**

— Петр Великий действительно был первым академиком из вашей страны и вообще первым академиком Французской академии наук. Его избрали «вне всех рангов» — не потому что он был русским царем, а за его научные дарования, особенно в области географии. Так все началось. Всегда существовали крепкие связи между российскими учеными, которые приезжали во Францию и работали у нас, и нашими учеными — членами Французской академии наук. Еще до того, как был создан Национальный центр научных исследований Франции, наши ученые плодотворно общались и вели совместные проекты, и сейчас это сотрудничество развивается. Никогда наши ученые не прерывали дружеских связей в науке. Главные успехи принадлежат здесь ядерной физике, математике. Но и в других сферах вместе мы сделали немало. Сегодня мы изучаем такие направления, как информатика, биологические науки, начинаем сотрудничество в области, связывающей технологии, науку и изучение объектов культурного наследия, потому что у наших

стран имеется огромное историческое прошлое, и в нем много пересечений.

— **Катрин, вы и сами связаны с российской наукой. Ваш отец, выдающийся физик Жан Тейяк, работал в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне. Там даже открыта мемориальная аллея его имени. Расскажите, пожалуйста, о работе вашего отца в нашей стране.**

— Мой отец был физиком-ядерщиком, ученым Фредерика Жолио-Кюри. Он сотрудничал с учеными из Дубны с конца 1950-х по 1975-е гг., и они решили назвать аллею в его честь. Она была торжественно открыта чуть меньше десяти лет назад, уже после его смерти. Дело в том, что отец сделал немало не только для науки, он содействовал укреплению взаимоотношений между нашими странами, помогал наладить научные связи между Францией и Советским Союзом. Я часто слышала, как у нас дома говорят о Дубне. Это слово прочно засело у меня в голове.

— **Знаю, вы не раз бывали в Дубне. Какие впечатления?**

— Мне нравится этот маленький, уютный городок на берегу великой русской реки Волги. Меня всегда там ждут и сердечно принимают.

— **Слышала, что ваш папа дружил с нашим выдающимся физиком Ю.Ц. Оганесяном. Вы с ним вспоминаете вашего отца?**

— Мы с ним общаемся без слов. Не говорим о прошлом, но каждому все понятно.

— Есть ли у вас какие-то научные связи с ОИЯИ?

— Лично у меня нет, потому что моя область — не ядерная физика. Я занимаюсь атомной физикой, моя сфера — нанонаука. Но когда я была генеральным секретарем Национального центра научных исследований и немного позже президентом этого центра, я горячо поддерживала научное сотрудничество французских и русских ученых, и больше всего взаимодействия здесь было между ОИЯИ и Исследовательским институтом изучения фундаментальных законов Вселенной (*IRFU CEA*), а также Большим национальным ускорителем тяжелых ионов (*GANIL*). Конечно, Дубна — это международный центр. Сейчас вся наука интернациональна, и я рада, что связи между французскими и русскими учеными не прерываются.

— В Россию вы прибыли с важной миссией. Во время раскопок под Смоленском были обнаружены останки наполеоновского генерала Гюдена. Насколько я знаю, Франция принимала деятельное участие в этих раскопках. Как удалось идентифицировать останки?

— Генерал Гюден действительно умер во время того, что во Франции получило название российской кампании Наполеона. Мы знали, что его останки должны находиться в бастионе Смоленской крепости. И мы, французы, по инициативе Пьера Малиновского (*президент Фонда развития русско-французских исторических инициатив. — Примеч. ред.*) начали искать возможность получить у российских властей разрешение вести раскопки в этих местах, чтобы попробовать найти останки генерала Гюдена. Это было очень важно для наших стран. Обе академии наук, российская и наша, были вовлечены в этот процесс. Раскопки проходили по всем правилам, при соблюдении всех законов. Когда мы нашли останки, был сделан анализ ДНК, который подтвердил, что это был именно Гюден.

— Каким образом ДНК-анализ подтвердил, что это именно его останки?

— В археологических раскопках участвовали Французский национальный институт превентивной археологии (*INRAP*) и Институт археологии РАН. Нужно было взять кусочки кости, чтобы сделать анализ ДНК. Анализы были проведены в двух странах — во Франции и России. Чтобы сравнить ДНК

генерала с ДНК его родителей, мы эксгумировали останки его матери, похороненной во Франции. Затем мы сопоставили их ДНК и убедились, что были правы в своих предположениях.

— Знаю, что Гюден был тяжело ранен во время сражения, потерял ногу и впоследствии умер от гангрены и что сердце генерала похоронено во Франции. Будет ли теперь и его тело похоронено там же?

— Да, его сердце было действительно изъято и отвезено во Францию. Сейчас вопрос переноса останков тела генерала решается на уровне президентов России и Франции В.В. Путина и Эмманюэля Макрона. Я предполагаю, что решение вернуть на родину останки уже принято. Тогда же, видимо, будет устроена церемония перезахоронения в Доме инвалидов, где покоится прах Наполеона. Это будет символический жест двух президентов в отношении российской

Недавно наша мобильная лаборатория была в Санкт-Петербурге и в Новгороде, чтобы провести экспертизу уникальных свидетельств древности — новгородских фресок. Их разрешено изучать только там, где они находятся

кампании Наполеона — по аналогии с тем, как было у нас сделано с Германией в связи с Первой и Второй мировыми войнами. Думаю, нужно показать важность наших отношений даже в трудный период. Потомки Гюдена дали на это свое согласие.

— А есть ли еще какие-то планы сотрудничества в области археологии?

— Да, конечно. Мы занимаемся археологией благодаря общей истории наших стран. Но у нас есть и другие планы, а именно создание и развитие мобильной лаборатории по исследованию объектов культурного наследия в России. Недавно наша мобильная лаборатория была в Санкт-Петербурге и в Новгороде, чтобы провести экспертизу уникальных свидетельств древности — новгородских фресок. Мы не можем перевозить фрески, их разрешено изучать только там, где они находятся. Мобильная лаборатория



Академик Французской академии наук Катрин Брешиньяк

дает возможность это осуществить. Надо сказать, это было большое событие. Приехали ученые из Института археологии РАН, Санкт-Петербургского государственного университета, Дубны. Французская команда представляла Лабораторию музея Лувра (C2RMF) и Лабораторию исследований исторических памятников (LRMH). Они приехали с желанием поделиться своим опытом, чтобы российские коллеги смогли подать заявку на получение мегагранта для создания подобной мобильной лаборатории в России. Может быть, в будущем французская и русская команды совместно станут использовать свои собственные мобильные лаборатории для анализа артефактов и в других странах.

— **На встрече с президентом Российской академии наук А.М. Сергеевым вы говорили о сотрудничестве в целом ряде научных дисциплин — не только в археологии, но еще и в математике и в области искусственного интеллекта. Не могли бы вы рассказать подробнее, какие проекты здесь предполагаются?**

— Наши академии наук после российской реформы 2013 г. выполняют похожие задачи. Мы продвигаем науку и работу ученых. Наша роль — давать экспертное мнение, советы, предлагать оптимальный научный выбор, собирать сильные команды для эффективной работы.

Искусственный интеллект и математика — это те области, в которых мы можем сотрудничать. В области математики очевидно, что французская и русская школы — лучшие в мире. Если суммировать количество российских и французских лауреатов медали Филдса, то эта цифра превосходит количество американских лауреатов. Обе наши математические школы сильны в анализе, и мы должны продолжать сотрудничество, чтобы развивать эту науку и вместе думать, как ее лучше преподавать. Важно внедрить математику в жизнь людей. В 2022 г. в Санкт-Петербурге состоится международный математический конгресс. Франция и Россия подавали заявку на проведение этого мероприятия. Выиграл Санкт-Петербург, и мы за вас очень рады и готовы к взаимодействию.

Что касается искусственного интеллекта, в настоящее время в этой сфере есть серьезные вызовы. В чем разница между человеческим интеллектом и искусственным? Каковы возможности искусственного интеллекта в сравнении с человеческим, гораздо более сложным? И здесь мы должны проделать большую работу, чтобы понять, в каком направлении нужно проводить исследования.

— **Есть ли какие-то конкретные предложения?**

— Ученые наших стран уже давно совместно работают в этой сфере. Правда, раньше мы в основном занимались проблемами, связанными с робототехникой. Искусственный интеллект основан на робототехнике, которая, в свою очередь, тесно связана с информатикой. Перед нами стоит задача расширять эти области изучения. Существуют также группы ученых, работающих вместе над более узкими направлениями, например криптографией.

— **Катрин, в пушкинские времена все культурные люди в России говорили по-французски. Это был язык, распространенный чуть ли не больше, чем русский. Потом эта тенденция миновала, мир заговорил по-английски. Как вы думаете, сближение научных полюсов России и Франции будет способствовать новому союзу культур наших стран?**

— На мой взгляд, да. Мы говорим по-английски, но это средство передачи информации. Мы не думаем на английском. Мы все думаем на своем родном языке. И в этом — наша сила. Сейчас по решению глав наших государств создан Трианонский диалог. Я участник этого проекта, его задача — дать возможность французскому и российскому обществам стать более открытыми друг другу. А если конкретно, то в рамках Трианонского диалога существует программа, в которой дети, говорящие только на одном языке (русском или французском), начинают общаться друг с другом с помощью искусственного интеллекта. То есть каждый говорит на своем языке, но при этом они понимают друг друга. Это пре-



Вице-президент РАН академик Н.А. Макаров и Катрин Брешиньяк

красная возможность осуществить взаимодействие между людьми с помощью тех научных программ, которые сегодня разрабатываются нашими странами. И я думаю, даже уверена, что в скором времени людям станет не так интересно слушать только музыку, ведь будет возможность говорить с иностранцами на своем языке и тут же получать перевод. Он будет производиться через компьютерное облако. Название проекта — «Дорогое наше будущее». К тому же мы знаем, что сейчас автоматический перевод становится все более эффективным. Иногда он даже эффективнее, чем перевод, сделанный человеком. Может быть, не во всех тонкостях, без передачи всех эмоциональных моментов, и в этом отличие человеческого интеллекта от искусственного. Мы не можем с помощью искусственного интеллекта перевести, например, поэзию. Но для каких-то текстов это лучше, в том числе для научных. А если говорить о языках, то в истории с Вавилонской башней английский будет таким же языком, как и другие, не лучше и не хуже. Это просто один из языков, который стал удобным для международного общения. Не стоит преувеличивать его значение.

— Катрин, остается ли у вас время заниматься наукой?

— У меня много интересов. Я гиперактивная личность. Поэтому одни мои занятия — это возможность отдохнуть от других. Но сейчас я думаю, что важнее всего попробовать передать людям, обществу свои знания. Поэтому я пишу книги.

— Научные?

В скором времени людям станет не так интересно слушать только музыку, ведь будет возможность говорить с иностранцами на своем языке и тут же получать перевод

— Мои книги, конечно, про науку. Но они не сугубо научные. Они именно о науке и обществе, написанные популярно, для всех.

— **Наука и общество — это любимая тема Сергея Петровича Капицы, основателя нашего журнала и многолетнего ведущего передачи «Очевидное — невероятное».**

— Он был прав. Очень важно, чтобы ученые передавали свои знания в форме, понятной обществу. И роль журналистики тоже очень важна. Ваша задача — передать слова ученых так, чтобы все понимали и всем было интересно.

— **Постараюсь. Какие-то из ваших книг переведены на русский язык?**

— Пока нет. Но, возможно, однажды это произойдет, надеюсь на это. Уже есть электронная и аудиоверсия на Amazon, и мне бы очень хотелось, чтобы молодежь читала мои книги и не теряла интерес к науке и культуре. Ведь это составляет саму сущность человеческой цивилизации. ■

Беседовала Наталия Лескова
Перевод с французского языка —
Газель-Жорж Муллерк

ОБРАТИМА ЛИ СМЕРТЬ?

В эксперименте удалось частично оживить мозг убитой свиньи, и теперь вновь встает вопрос о том, где конечная точка жизни

Кристоф Кох

И безвластна смерть остается.
Дилан Томас (1933)

Рано или поздно вы умрете. Мы все умрем. Ибо все, что имеет начало, имеет и конец, это неизбежное следствие второго закона термодинамики.

Мало кто из нас любит размышлять над этим печальным фактом. Но, однажды возникнув, мысль о небытии полностью не исчезает. Она таится в тени бессознательного, готовая вырваться наружу. Свою смертность я полностью осознал, став уже совершенно взрослым. Я провел весь вечер, играя в захватывающую видеоигру — стрелялку от первого лица. Я бегал по подземным залам, затопленным коридорам, кошмарно запутанным туннелям и пустым площадям, под чужим солнцем, стреляя из своего оружия в полчища неумолимо преследующих меня инопланетян. Потом я

отправился в постель, быстро провалился в сон, но через несколько часов внезапно проснулся. Абстрактное знание превратилось в осязаемую реальность: я должен умереть. Пусть не прямо здесь и сейчас, но в конечном итоге.

Эволюция снабдила наш вид такими мощными механизмами защиты от размышлений о будущей смерти, как психологическое вытеснение и религия. Вытеснение мешает нам сознательно застревать мыслями на этой неприятной истине, а религия успокаивает, обещая вечную жизнь в христианском раю, непрерывный цикл буддистских перевоплощений или загрузку нашего сознания в облако — эквивалент бессмертия для умников XXI в.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Определение смерти менялось в течение тысячелетий. Первоначально смертью считали прекращение дыхания и остановку сердца.
- После появления аппаратов искусственного дыхания смертью стали называть прекращение работы мозга, необратимую кому.
- Частичное оживление мозга свиньи через несколько часов после ее обезглавливания было продемонстрировано в недавнем эксперименте. Возможно, теперь определение смерти снова изменится.



ОБ АВТОРЕ

Кристоф Кох (Christof Koch) — начальник научного отдела и президент расположенного в Сиэтле Института Аллена по исследованию мозга. Консультант журнала *Scientific American* и автор книги «Чувство самой жизни: почему сознание широко распространено, но не может быть вычислено» (*The Feeling of Life Itself: Why Consciousness Is Widespread but Can't Be Computed*, 2019).



Над другими животными смерть не имеет такой власти, как над человеком. Хотя они могут горевать по умершим детям и товарищам, нет никаких достоверных свидетельств того, что обезьяны, собаки, вороны или пчелы имеют достаточно самосознания, чтобы беспокоиться о том, что однажды они перестанут существовать. Таким образом, наши защитные механизмы должны были появиться в эволюции сравнительно недавно, менее чем 10 млн лет назад.

Религиозные и философские традиции учат обратному: смотрите прямо в пустые глаза смерти, чтобы вырвать у нее жало. Ежедневные размышления о небытии уменьшают ужас перед ним. Как ученый и смертный я задумываюсь о том, что такое смерть.

Любой, кто займется выяснением этого вопроса, в скором времени поймет, что смерть, чей тревожный образ маячит на границе бытия, довольно нечетко определяется как с научной, так и с медицинской точки зрения.

От сердца к голове

На протяжении прошлых веков все знали, что такое смерть. Если кто-то переставал дышать или его сердце переставало биться более чем на несколько минут, это означало, что человек умер. Было понятно, в какой момент наступила смерть. В середине XX в. все изменилось: появились аппараты для искусственной вентиляции легких и кардиостимуляторы. Благодаря современной высокотехнологичной интенсивной терапии работа сердца и легких больше не обязательна для работы мозга, отвечающего за сознание, мышление и действия.

В ответ на эти технические достижения в 1968 г. в знаменитом Докладе специального комитета Гарвардской медицинской школы было введено определение смерти как необратимой комы, то есть прекращения работы мозга. Данная поправка получила законодательную силу, когда был принят Акт о единообразном определении смерти в 1981 г. В этом документе смерть определяется как необратимое прекращение кровообращения и дыхания или необратимое прекращение работы мозга. Проще говоря, вы умерли, когда умер ваш мозг.

Как правило, именно такое определение используется в большинстве развитых стран мира. Точка смерти переместилась из грудной клетки в мозг (и вместе с тем со всеобщего обозрения в приватную обстановку больничной палаты), причем точное время смерти мозга не определяется. Примечательно, как быстро и повсеместно произошло признание определения смерти как гибели мозга по сравнению с продолжающимися спорами вокруг абортотв и момента начала жизни. Это может быть связано с другой, редко замечаемой асимметрией: люди ломают голову над тем, что будет в следующей жизни, но редко задумываются о том, где они были до рождения!

подавляющее большинство смертей по-прежнему происходят после остановки сердца или дыхания, из-за которых затем прекращает работу мозг. Неврологическая смерть, характеризующаяся необратимой комой, отсутствием реакций и рефлексов ствола мозга, почти не встречается за пределами отделения интенсивной терапии, в котором обычно находятся пациенты с повреждениями мозга вследствие травмы или гипоксии, или с токсико-метаболической комой (например, из-за передозировки опиоидов).

Смерть мозга может быть определяющим фактором, но это не упрощает клиническую диагностику, поскольку биологические процессы могут сохраняться и после выключения мозга. На самом деле тело с мертвым мозгом можно поддерживать на жизнеобеспечении часами, днями и более. Скорбящим родственникам и друзьям сложно понять, что происходит. При посещении отделения интенсивной терапии они видят, как двигается грудная клетка, они чувствуют пульс, кожа имеет нормальный цвет, тело теплое. Их близкий выглядит здоровее, чем некоторые другие пациенты отделения интенсивной терапии, но юридически он труп, труп с бьющимся сердцем. Тело насыщается кислородом и поддерживается в таком псевдоживом состоянии, потому что теперь это потенциальный донор органов. Если согласие было получено, то сердце, почки, печень или легкие можно изъять из трупа, чтобы помочь живым людям, нуждающимся в этих всегда дефицитных органах.

У тела с умершим мозгом могут продолжать расти ногти, идти менструации, сохраняться

некоторые иммунные функции, позволяющие бороться с инфекцией. Известно более 30 случаев, когда беременные женщины с умершим мозгом и живым плодом оставались на ИВЛ для сохранения беременности и живые дети рождались через недели или месяцы (в одном случае — через 107 дней) после того, как умер мозг у матери. В 2018 г. в журнале *New Yorker* широко обсуждалась история молодой женщины Джахи Макмат (Jahi McMath), чью семью поддерживала на ИВЛ в домашних условиях в штате Нью-Джерси после смерти мозга, произошедшей в калифорнийской больнице. По закону и с точки зрения медиков она была мертва. По представлениям ее близких она прожила еще пять лет и умерла от кровотечения, связанного с печеночной недостаточностью.

Несмотря на технический прогресс, биологии и медицине все еще не хватает четкого и логичного понимания, что такое рождение и смерть, где проходят границы, между которыми заключена жизнь. Аристотель в трактате «О душе» более 2 тыс. лет назад писал, что любое живое тело — это нечто большее, чем просто сумма его частей. Он учил, что у любого организма, будь то растение, животное или человек, есть вегетативный уровень души — форма или сущность этого живого существа.

Суть вегетативного уровня — это питание, рост и размножение, они зависят от работы тела. Когда эти жизненные способности исчезают, организм перестает быть живым (лат. *animatus* — «живое существо», от *anima* — «душа»). Чувственный уровень души обеспечивает способность животных и человека ощущать окружающий мир и свое тело. По смыслу это близко к тому, что современные люди называют «сознательные переживания». Наконец, разумный уровень, свойственный только людям, обеспечивает мышление, язык и речь. Это то, что теперь все чаще имитируют с помощью алгоритмов искусственного интеллекта.

Благодаря современным интенсивным исследованиям в области машинного обучения, геномики, протеомики и работы с большими массивами данных возникает иллюзия, что мы понимаем, в чем суть вегетативного уровня души. Но все это омрачается глубиной нашего невежества в том, что касается разрушения вегетативного уровня души. Остается концептуальная проблема с определением, что такое живой организм. Это явно нечто большее, чем просто сумма его отдельных органов. Как можно точно определить границы этого организма в пространстве (одежда, зубные протезы и контактные линзы — это его часть?) и времени (когда у него начало и когда конец)?

Обратите внимание на слово «необратимая» в современном определении неврологической смерти. При отсутствии четкой формулировки, когда организм жив, а когда мертв, понятие необратимости зависит от существующих на данный момент

технологий, которые непрерывно развиваются. То, что в начале XX в. было необратимым, например остановка дыхания, стало обратимым к концу XX в. Так ли сложно предположить, что то же самое может оказаться верным и для смерти мозга? Как показывает недавний эксперимент, это не такая уж и дикая идея.

Частичное оживление мертвых мозгов

В этом году большая группа врачей и ученых из Йельской медицинской школы под руководством Ненада Сестана (Nenad Sestan) воспользовалась сотнями свиней, забитых на сертифицированной Министерством сельского хозяйства скотобойне, для проведения замечательного эксперимента, результаты которого были опубликованы в журнале *Nature*. Исследователи извлекли мозги из черепов и подсоединили сонные артерии и вены к перфузионному устройству, имитирующему сердцебиение. Там циркулировала искусственная кровь, представлявшая собой смесь соединений, переносящих кислород, и лекарств, защищающих клетки от повреждения. Магия заключалась в точном молекулярном составе циркулирующего раствора. Вспомните о диализных аппаратах, которыми тысячи пациентов с отказавшими почками ежедневно пользуются для выведения токсинов из организма.

Данные устройства необходимы, поскольку когда кровь перестает течь через огромный, требующий энергии мозг, в нем через несколько секунд истощаются запасы кислорода и происходит потеря сознания. Если лишить мозг крови и кислорода больше чем на несколько минут, в нем происходят необратимые повреждения. Начинаются всевозможные нарушения (повреждение и разложение тканей, отек и т.д.), которые хорошо видны под микроскопом.

Группа под руководством Сестана изучала жизнеспособность мозга через четыре часа после того, как на свиней воздействовали электрическим током, обескровили и обезглавили. (Звучит ужасно, но это именно то, что происходит со скотом на бойне, и поэтому я вегетарианец.) Исследователи сравнили различные биологические показатели в мозге перфузированных свиней и свиней, не подвергшихся этой процедуре, через четыре часа после смерти: для чувствительной нервной системы такой срок можно считать вечностью.

На первый взгляд, восстановленные мозги с проходящим через них раствором выглядели относительно нормально. Когда жидкость начала циркулировать, тонкая сеть пронизывающих мозг артерий, капилляров и вен заработала соответствующим образом, целостность ткани сохранялась, отек, вызывавший гибель клеток, спадал, синапсы, нейроны и их длинные отростки, аксоны, выглядели нормально. Недооцениваемые обычно

гиальные клетки, занимающиеся обслуживанием нейронов, демонстрировали некоторую функциональность, мозг потреблял кислород и универсальную энергетическую валюту организма — глюкозу, что свидетельствовало о наличии некоторого метаболизма. Статью с анонсом этой технологии исследователи смело назвали «Восстановление мозгового кровообращения и функционирования клеток через несколько часов после смерти» (*Restoration of Brain Circulation and Cellular Functions Hours Post-mortem*).

Однако среди полученных результатов не было мозговых волн, характерной картины, регистрируемой с помощью электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Электроды, размещенные на поверхности свиного мозга, не регистрировали никакой спонтанной электрической активности: никаких медленных волн, которые синхронно проходят по коре мозга во время глубокого сна, никакого резкого всплеска колебаний, за которым следует пауза, — того, что называется термином «вспышка-подавление», — лишь сплошная ровная линия. В переводе с электрического языка такое безмолвие мозга означало полное отсутствие какого-либо сознания. И это было неудивительно. Именно такое состояние и ожидали получить Сестан с коллегами, поскольку в циркулирующем растворе была смесь препаратов, подавляющих работу нейронов и, соответственно, синаптические взаимодействия между клетками.

Даже при отсутствии волн активности мозга для меня, практикующего нейробиолога, было неожиданным, что отдельные нейроны коры головного мозга свиной все еще сохраняли свою способность к электрической и синаптической активности. Группа из Йеля показала это, отрезав крошечный кусочек нервной ткани от этого мозга, смыв раствор для перфузии и затем возбуждая отдельные нейроны с помощью электрического воздействия через тонкий электрод. Некоторые из таких клеток реагировали адекватно, генерируя один или несколько одинаковых электрических импульсов, так называемых потенциалов действия, или спайков, которые представляют собой универсальный способ быстрой передачи сигнала во всех развитых нервных системах.

Отсюда возникает серьезный вопрос: что произойдет, если ученые удалят блокиаторы нейронной активности из питающего мозг раствора? Скорее всего, ничего. То, что отдельные нейроны сохраняют некоторую способность возбуждаться, не означает, что миллионы и миллионы нейронов могут спонтанно самоорганизоваться и запустить электрический хор. И все же! Нельзя исключить, что с какой-нибудь помощью извне, с участием некоего коркового дефибриллятора эти «мертвые» мозги можно перезапустить, возобновив ритмы, характерные для живого мозга.

Разумеется, если обезглавить живое существо и позволить мозгу истечь кровью, это не будет полезно для здоровья. Реанимация после такой страшной травмы вполне может привести к серьезной патологии, такой как тяжелые эпилептические припадки, бред, глубокая боль, дистресс, психоз и т.д. Ни одно живое существо не должно испытывать подобных страданий. Именно чтобы избежать такой ситуации, группа йельских ученых подавляла работу нейронов.

Ну и, наконец, очевидный и главный вопрос. Можно ли применить эту процедуру к человеческому мозгу? Прежде чем отшатнуться в ужасе, подумайте вот о чем. Что бы вы хотели сделать, если бы ваш ребенок или партнер из-за утопления или передозировки пролежал бы без пульса и дыхания несколько часов? Сегодня его бы объявили мертвым. Может ли это измениться завтра с помощью технологии, предложенной учеными из Йеля? Разве это не достойная цель?

У свиней мозг большой, в отличие от мышинного, который чаще всего исследуется в лабораториях. Кора мозга свиной содержит много извилин, как и кора человека. Нейрохирургические процедуры регулярно проверяются на свиньях, прежде чем проводить испытания на человеке. Итак, технически ответ на вопрос — да, это можно было бы сделать.

Но стоит ли?

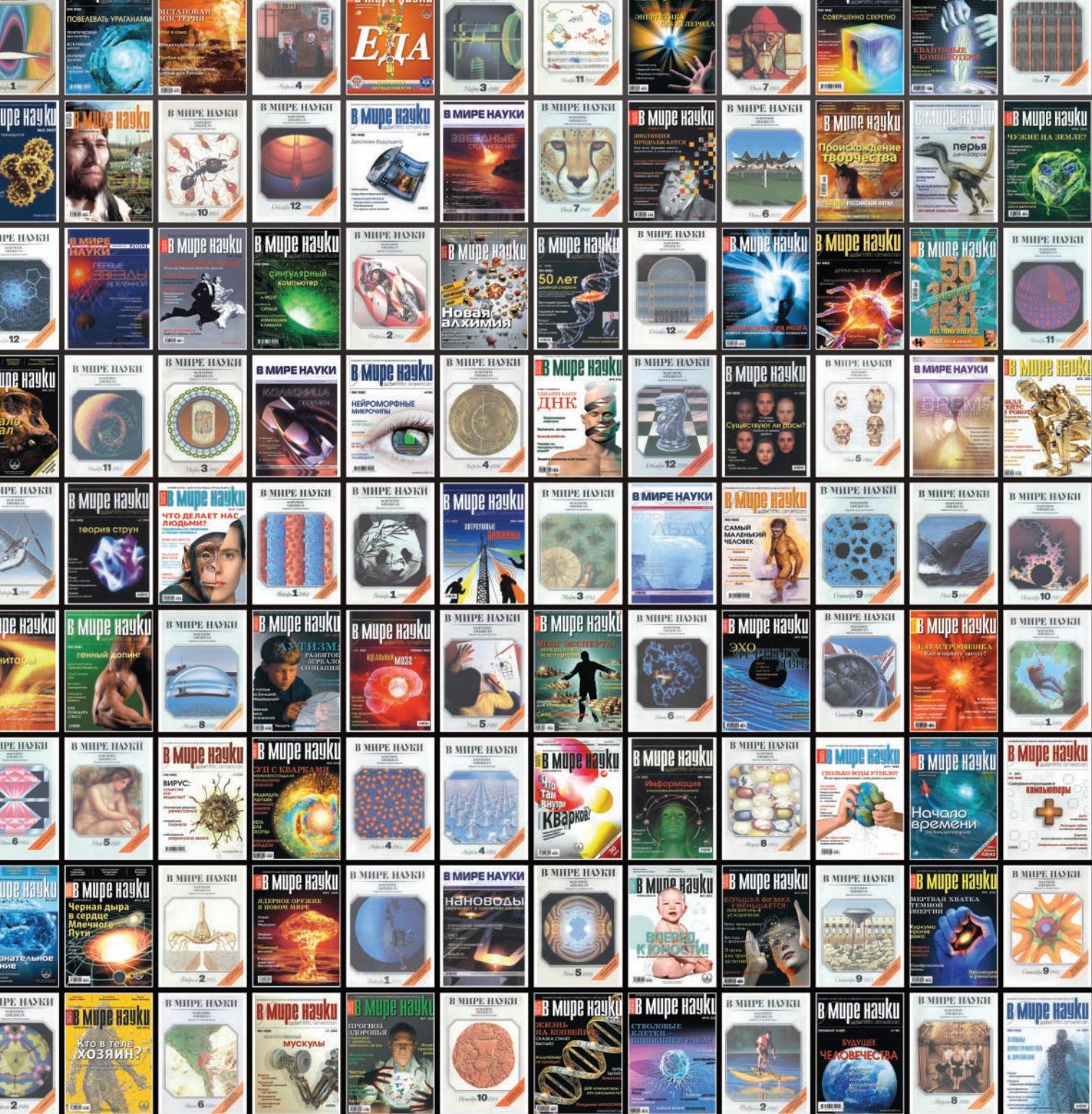
Разумеется, нет, пока мы не поймем намного лучше, демонстрирует ли восстановленный мозг животного электрическую активность, характерную для здорового мозга, без признаков боли, дистресса или агонии. В целом в этой области нужно сделать паузу и обсудить со всеми заинтересованными сторонами медицинские, научные, юридические, этические, философские и политические вопросы таких исследований.

Страх перед смертью не изжить, так что рано или поздно кто-нибудь на Земле попытается обмануть старуху с косой. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- *The Undead: Organ Harvesting, the Ice-Water Test, Beating-Heart Cadavers — How Medicine Is Blurring the Line between Life and Death.* Dick Teresi. Pantheon, 2012.
- *Modern Death — How Medicine Changed the End of Life.* Haider Warraich. St. Martin's Press, 2017.
- *Restoration of Brain Circulation and Cellular Functions Hours Post-mortem.* Zvonimir Vrselja et al. in *Nature*, Vol. 568, pages 336–343; April 18, 2019.
- *Brain Restoration System Explores Hazy Territory between Being Dead or Alive.* Simon Makin; *ScientificAmerican.com*, April 19, 2019.



Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала
«В мире науки» — на сайте издания
по адресу: www.sciam.ru

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить
и отдельные статьи





ПРИЧИНЫ ЧЕЛО- ВЕЧЕСКОЙ

АГРЕССИИ

Эксперименты с участием людей и животных призваны выяснить, как агрессивное поведение формируется в мозге

Дуглас Филдс

ОБ АВТОРЕ

Дуглас Филдс (R. Douglas Fields) — нейробиолог, автор книги «Почему мы срываемся» (*Why We Snap*) о нейробиологии внезапной агрессии и готовящейся к публикации книги «Электрический мозг» (*Electric Brain*) о мозговых волнах и исследованиях стимуляции мозга. Возглавляет отдел развития и пластичности нервной системы в Национальном институте детского здоровья и развития человека, как приглашенный профессор читает курсы по нейробиологии и когнитивным наукам в Мэрилендском университете в Колледж-Парке.



2017 г. одинокий стрелок со снайперской позиции на 32-м этаже отеля *Mandalay Bay* в Лас-Вегасе обстрелял из мощных винтовок толпу посетителей концерта, выпустив 1 тыс. пуль. 58 невинных человек были убиты и 869 ранены. После этого убийца покончил с собой, а его мозг отправили в Стэнфордский университет, чтобы найти возможное объяснение этого ужасного инцидента с биологической точки зрения.

Что могли обнаружить ученые во время такого исследования? Вообще-то довольно много. Вряд ли в ближайшем будущем появится генетический тест на предрасположенность к убийству, однако исследование мозга может помочь понять, как мозг управляет агрессией. Используя те же экспериментальные методы, что позволяют проследить нейронные цепи в головном мозге, ответственные за другие сложные действия человека, в том числе ходьбу, речь и чтение, нейробиологи теперь могут выявить и пути, лежащие в основе агрессивного поведения. Новые открытия помогают выявить механизмы, задействованные во время актов предельного насилия, подобных злодеянию в Лас-Вегасе, а также объяснить более распространенные приступы гнева у водителей автомобилей и даже мгновенную реакцию матери в случае возникновения любой угрозы для ее ребенка.

Физическое насилие, иногда приводящее к смерти, — это основа естественной борьбы за существование и выживание наиболее приспособленных, и у всех животных в процессе эволюции развились специализированные нейронные цепи для реализации — и контроля — агрессивного поведения. В первых экспериментах на кошках, начавшихся в конце 1920-х гг., Вальтер Гесс (Walter Rudolf Hess) открыл область мозга, зону в глубине гипоталамуса, которая «дает волю» проявлениям агрессии. Оказалось, что эта же область ответственна за активацию других

мощных компульсивных побуждений и поведения, в том числе пищевого, питьевого и полового. Когда Гесс простимулировал это скопление нейронов с помощью проволочных электродов, внедренных в мозг неконфликтного животного, подопытная кошка сразу же с яростным шипением напала на другую кошку в своей клетке и убила ее. В человеческом мозге имеется такая же нейронная структура — ответственная за нападение область гипоталамуса.

Это открытие привело к появлению концепции «рептильного мозга» — утверждения

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Человек и другие животные иногда используют насилие для добычи пищи и собственной защиты.
- Решения о выполнении агрессивных действий рискованны и приводят в действие особые нейронные цепи.
- Пути, ответственные за немедленный ответ на угрозу, отличаются от тех, что связаны с обдумыванием.
- У лиц, совершивших насильственные преступления, аномалии в мозге наблюдаются чаще, чем у тех, чьи преступления не связаны с насилием.

о том, что примитивные побуждения человека связаны с эволюционно древней глубинной структурой мозга, которая ответственна за ужасное поведение при соответствующих обстоятельствах. Со времен открытия Гесса внимание ученых почти 100 лет было сосредоточено на важнейшем вопросе: какие нейронные цепи связаны с ответственной за нападение областью гипоталамуса и необходимы для активации или подавления атаки. Относительно новые методы — оптогенетика (экспериментальный метод, использующийся для включения или выключения цепочек нейронов) и оптоволоконные камеры, внедренные в мозг экспериментальных животных для наблюдения за нейронами, активными во время яростной атаки, — дают возможность ответить на некоторые вопросы. На самом деле, теперь можно идентифицировать нейронные цепи, связанные с гневом и агрессией.

По этическим причинам большинство исследований, связанных с нервными сетями агрессивного поведения, проводятся на животных. Терминологию, используемую в экспериментах на животных, нужно с осторожностью применять по отношению к поведению и эмоциям человека, но существуют явные параллели между механизмами насильственного поведения у людей и у других позвоночных. Агрессивные действия со стороны любого животного потенциально угрожают его жизни, поэтому такое поведение строго регулируется и проявляется в ответ на воспринимаемые угрозы только особого типа.

Человек и другие животные используют агрессивное поведение, иногда даже убийство, для добычи пищи, защиты своих детей или себя самого от телесных повреждений. Но в каждом из этих актов насилия — таких противоположных, как, например, убийство добычи и защита детеныша, — задействованы разные нейронные связи.

Кроме того, многие животные относятся к высокосоциальным видам и агрессия используется для установления и поддержания социального порядка: вспомните баранов, которые бодаются, чтобы определить, кто из них получит право на спаривание с самками. Что касается людей, то смертная казнь, тюремное заключение и принудительное отнятие ресурсов (штрафы и лишение привилегий) — все это кодифицированные формы агрессии для поддержания

Нейроанатомия агрессии

Миндалевидное тело (миндалины) — расположенная в толще височной доли структура. Отвечает на эмоционально окрашенные события и участвует в выявлении угрозы, формировании состояния страха, тревоги и агрессии.

Ствол мозга — через это звено проходят все восходящие и нисходящие нервные волокна, связывающие головной и спинной мозг. Во время драки ствол мозга контролирует рефлекторные движения головы.

Гипоталамус — промежуточный пункт для информации, передаваемой в обоих направлениях между головным и спинным мозгом; регулирует секрецию гормонов гипофиза, поддерживает жизненно важные функции организма, такие как терморегуляция, пищевое и половое поведение и агрессия.

Лимбическая система — срединная сеть мозга, соединяющая миндалевидное тело, гипоталамус, гиппокамп и кору больших полушарий и объединяющая формирование эмоций, обучение, память и обнаружение угрозы.

Гипофиз — непарная структура, расположенная на вершине ствола мозга, секретирует в кровь гормоны, контролирующие реакцию «бей или беги» и размножение.

Префронтальная кора — отдел коры в передней области головного мозга (часть лобных долей), интегрирующий информацию для выработки сложных решений, концентрации внимания и регуляции импульсов.

социального порядка. Защита территории, членов группы и соревнование представляют собой другие параллели, позволяющие ученым экстраполировать данные, полученные в исследованиях на экспериментальных животных, для обнаружения нейронных цепей, задействованных в агрессивном поведении каждого типа, у человека.

С точки зрения психологии человеческая агрессия может быть вызвана бесконечным множеством причин, но с точки зрения нейробиологии только несколько специфических нейронных цепей в мозге ответственны за такое поведение. Работа по их выявлению и определению особенностей их функционирования все еще ведется, но она крайне важна. Способность к агрессивному поведению, заложенная в нашем мозге в результате отчаянной борьбы за существование в течение миллионов лет, слишком часто дает сбои из-за болезней, употребления наркотиков или психических расстройств и может привести к трагическим последствиям.

Нейронные цепи агрессии

Решение использовать грубую силу сопряжено с риском, и до того как человек набросится на кого-то, становится активным комплекс сложных нейронных цепей в мозге.

Чтобы разобраться в анатомии агрессии, представим строение человеческого мозга как строение гриба. Тонкая кожа, покрывающая шляпку гриба, соответствует коре головного мозга. Толщина коры головного мозга — всего 3 мм, но это центр высших когнитивных функций, сути того, что делает нас людьми. Она также обеспечивает сенсорную интеграцию (восприятие, которое запускает реакцию) и самосознание и играет ключевую роль в принятии животным решения, проявлять ли агрессивное поведение.

Миндалевидное тело (миндалина) — расположенная глубоко под корой головного мозга нейронная структура, обеспечивающая быструю оценку входящих сенсорных сигналов на предмет наличия возможной угрозы, — находилось бы на вершине ножки гриба, откуда расходятся напоминающие балки гимениальные пластинки, поддерживающие шляпку. Миндалина обладает широко разветвленной сетью входящих и исходящих соединений с разными отделами мозга, от коры головного мозга до гипоталамуса. Миндалевидное тело действует как центральный перевалочный пункт для сенсорной информации, поступающей в мозг, а также для входящих сигналов, идущих от коры головного мозга и передающих результаты высокоуровневой обработки информации, в том числе принятия решений.

Гипоталамус, также расположенный на вершине ножки гриба, — это ключевой отдел мозга, который участвует в регуляции (неподконтрольной сознанию) автоматических функций организма, в том числе частоты сердечных сокращений, температуры тела, дыхания, циклов сна, внимания и секреции гормонов гипофиза. Именно здесь генерируется эмоциональный стимул для начала нападения. Ствол человеческого мозга, аналог ножки гриба, — это область, где осуществляется передача информации в головной мозг и от него через спинной мозг. Чтобы точно визуализировать описанную аналогию, важно помнить о том, что человеческий мозг — это парная структура с левым и правым полушариями. Миндалевидные тела, например, расположены в левом и правом полушариях мозга.

Множество отделов, контролирующих агрессивное поведение, позволяют мозгу быстро или медленно вырабатывать ответ на угрозу. Тем не менее медленная, обдуманная реакция — самая сложная из двух, и в этом процессе принятия решения важнейшую роль играет префронтальная кора. Нейробиолог Симоне Мотта (Simone Motta)

с коллегами, работающие в лаборатории Ньютона Сабино Кантераса (Newton Sabino Canteras) в Университете Сан-Паулу, в ходе исследования, проведенного в 2013 г., установили детали биологии хорошо известной «реакции мамы-медведицы», без сомнения, свойственной не только представителям медвежьих.

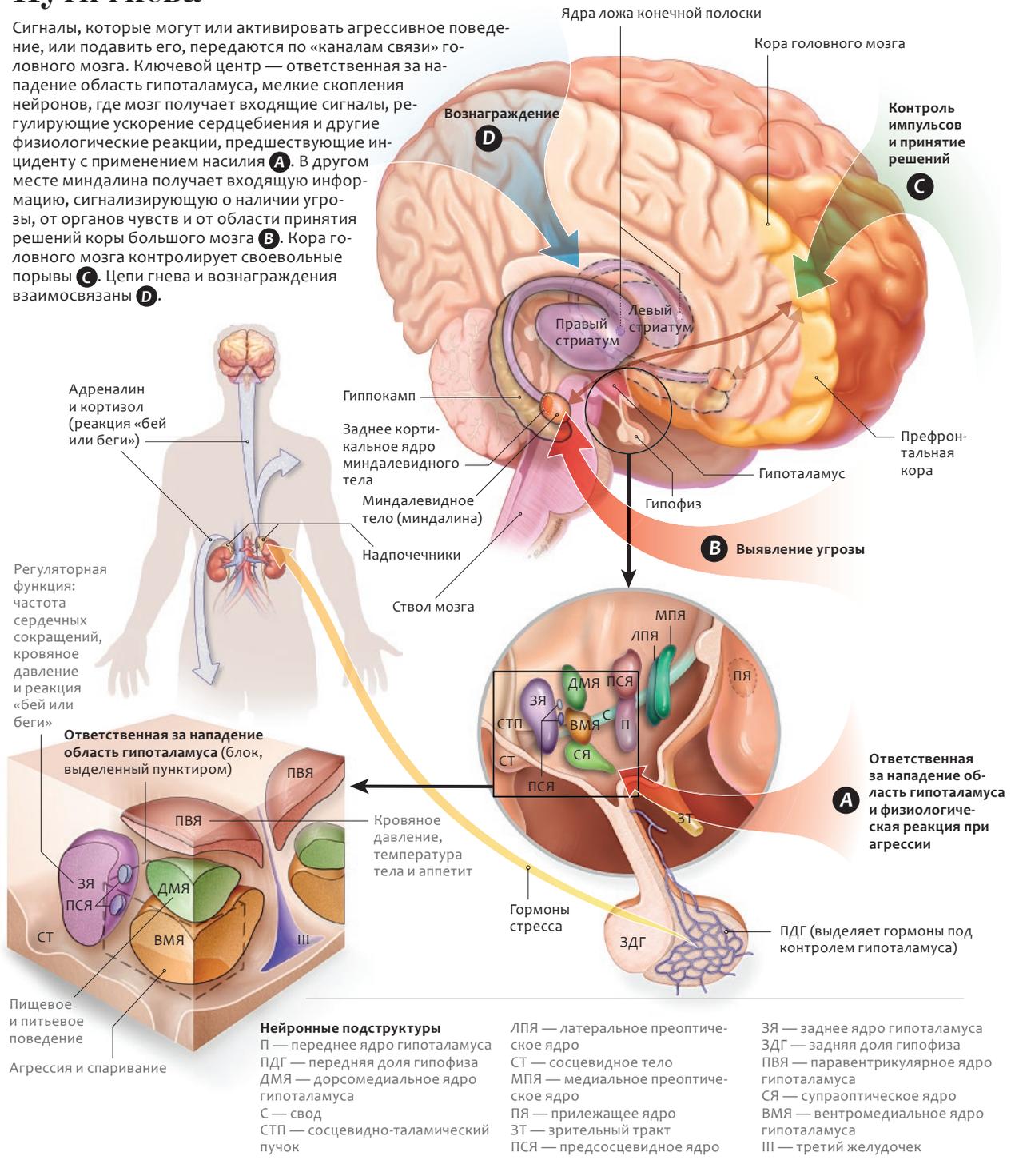
Ученые изучили под микроскопом гипоталамус самки крысы сразу же после того, как в клетку, где она находилась с детенышами, вторгся самец, заставив самку напасть. После окрашивания *postmortem* (посмертно) тканей мозга самки исследователи выявили белок под названием *Fos* в ответственной за нападение крошечной области гипоталамуса. Под микроскопом эта область выглядела так, как будто ее заштриховали пунктиром черными чернилами. Внезапное появление *Fos*, представленного темными пятнами, связано с быстрым синтезом этого белка вследствие генерации нейронами этой области всплеск электрических импульсов, когда вторжение спровоцировало нападение самки на самца. Другие исследовательские группы подтвердили связь с агрессивным поведением, внедрив оптоволоконную камеру в ответственную за нападение гипоталамическую область мышей, нейроны которых с помощью генетической инженерии заставили испускать всплески света в момент генерации нервного импульса.

Группа Мотты обнаружила, что если это скопление нейронов — вентральное предсоединенное ядро — перед вторжением самца удаляли из гипоталамической области, ответственной за нападение, то самка гораздо реже атаковала в целях защиты. Однако удаление этих нейронов не влияло на реакцию самки на появление кошки или других угроз. Электроды, которые использовал Гесс почти 100 лет назад, оказались слишком грубым инструментом, чтобы раскрыть тонко организованную подструктуру нейронной сети агрессии, заключенную внутри ответственной за нападение области гипоталамуса. Новые методы анализа предоставляют более детализированную картину.

Для того чтобы эта область активировалась при вторжении самца, сенсорная информация о чужаке должна восприниматься, обрабатываться и транслироваться через гипоталамус. Все сигналы от органов чувств поступают в мозг через отдельные проводящие пути: зрительная информация поступает по зрительному нерву, информация о запахах — по обонятельному нерву. Входящая сенсорная информация достигает коры

Пути гнева

Сигналы, которые могут или активировать агрессивное поведение, или подавить его, передаются по «каналам связи» головного мозга. Ключевой центр — ответственная за нападение область гипоталамуса, мелкие скопления нейронов, где мозг получает входящие сигналы, регулирующие ускорение сердцебиения и другие физиологические реакции, предшествующие инциденту с применением насилия **A**. В другом месте миндалина получает входящую информацию, сигнализирующую о наличии угрозы, от органов чувств и от области принятия решений коры большого мозга **B**. Кора головного мозга контролирует своевольные порывы **C**. Цепи гнева и вознаграждения взаимосвязаны **D**.



головного мозга, где она анализируется для выявления детальных характеристик раздражителя, и соответствующий сигнал передается в еще более специализированную зону коры. Зрительные зоны в затылочной области коры, например, выделяют такие

характеристики, как форма, цвет и движение объекта, попавшего в поле зрения, и затем передадут эту информацию в другие зоны коры, ответственные за осознанное восприятие, — позволяющие, скажем, узнать знакомое лицо.

Но эта сложная, похожая на сборку автомобиля на конвейере, форма обработки информации с последовательным вовлечением нескольких различных зон коры головного мозга требует времени. В случае внезапно возникшей угрозы — кулак, направленный в вашу челюсть, — на обработку зрительной информации и сознательное восприятие требовалось бы слишком много времени, чтобы увернуться от удара. Поэтому в ходе эволюции появился высокоскоростной подкорковый путь, в котором задействовано миндалевидное тело, для быстрой передачи входящих сенсорных сигналов к нейронной сети мозга, определяющей угрозу. Входящий поток информации от органов чувств достигает миндалевидного тела до того, как поступит к коре головного мозга и произойдет осознание, вот почему мы быстро наклоняемся и отбиваем летящий в нашу сторону случайный баскетбольный мяч, неожиданно возникший в поле зрения, а потом спрашиваем: «Что это было?» Объект, неожиданно вторгшийся в наше персональное пространство, воспринимается как угроза, даже несмотря на то что его образ еще полностью не сформировался. Подобно детектору движения в системе безопасности, миндалевидное тело, зафиксировав присутствие объекта, которого быть не должно, быстро активизирует агрессивный ответ на угрозу.

Люди полагаются в основном на зрение, но для большинства животных более важно обоняние. В экспериментах Симоне Мотты механизм выявления угрозы у крысы-самки приводился в боевую готовность, скорее всего, запахом самца, и эта информация, вероятно, быстро передавалась в ответственную за нападение область гипоталамуса. Исследуя под микроскопом миндалевидное тело, ученые увидели в нем два окрашенных пятна, явно свидетельствующие о появлении белка *Fos* в ответ на нападение незваного гостя. Оба окрашенных участка миндалевидного тела, расположенные в его медиальном ядре, получают входящий сигнал от обонятельной области носа. В области предсосцевидного ядра гипоталамуса, в которой находится центр агрессивного материнского ответа, имеются нейроны, о которых известно, что они реагируют на запах только особей противоположного пола.

В другом отделе миндалевидного тела, заднем кортикальном ядре, также наблюдались вполне достаточные доказательства присутствия белка *Fos*. В этом ядре нейроны обладают рецепторами минералкортикоидных гормонов, что указывает на связь

между стрессом и запуском агрессивной реакции. В других исследованиях было показано, что при блокировании этих рецепторов агрессивные самцы крыс становились послушными. Подобные наблюдения отчасти объясняют, как в конкретной ситуации различные факторы — стресс или другие аспекты — могут понизить порог возникновения агрессивной реакции.

Эксперименты с участием людей

Цель любого из подобных исследований — определить, приводит ли активация или выключение определенных областей мозга к проявлениям специфического поведения. Исследования на животных все же не дают достаточного представления о том, какова природа чувств, имеющих отношение к конкретным действиям. Стимуляция мозга крыс с помощью электродов может вызывать боль, которая, в свою очередь, провоцирует агрессивную реакцию, и поэтому невозможно сделать вывод, стала ли реакция результатом активации центра мозга, связанного с агрессивным поведением.

Однако ряд экспериментов, проводившихся с участием людей, не оставляют сомнений в том, что с миндалевидным телом связано проявление крайне сильных эмоций. В 1960-х гг. испанский нейробиолог Хосе Мануэль Родригес Дельгадо (José Manuel Rodríguez Delgado) с помощью вживленного электрода провел электростимуляцию миндалевидного тела правого полушария мозга женщины, спокойно игравшей на гитаре. Женщина в ярости отшвырнула инструмент и начала бросаться на стену. Такие сильные эмоции, вызывающие агрессивное поведение, должны преобладать над конкурирующими импульсами: ведь решение о нападении может привести к ответному удару, при котором агрессору угрожают серьезные повреждения или смерть, или спровоцировать появление чувства стыда после бегства от угрозы.

Нейронные центры слепой ярости как у крыс, так и у человека — это часть обширной нейронной сети, простирающейся за пределы миндалевидного тела и отвечающей за агрессивное поведение. Исследователи открыли участок в области прозрачной перегородки, представляющей собой часть того, что называется лимбической системой, который становится активным после того, как крыса в целях защиты детенышей отгонит самца. Область перегородки управляет сильными эмоциональными реакциями, такими как взрывная ярость, а также

активна во время секса и других действий, связанных с «вознаграждением». В 1950-х гг. Джеймс Олдс (James Olds) и Питер Милнер (Peter Milner) продемонстрировали, что крысы с вживленными в область перегородки электродами до изнеможения — до 5 тыс. раз в час — нажимали на педаль для электростимуляции нейронов этой области головного мозга.

Аналог подобных экспериментов проводился и с участием людей. Когда Дельгадо стимулировал область перегородки у пациентов, они неожиданно испытывали сильное сексуальное возбуждение, которое в конечном итоге приводило к оргазму. Одна пациентка стала кокетничать и даже выразила желание выйти замуж за врача.

В ходе исследований (в настоящее время признанных неэтичными), результаты которых были опубликованы в 1972 г., психиатр Роберт Хит (Robert G. Heath) из Тулейнского университета попытался «вылечить» молодого человека от гомосексуализма. Врач имплантировал электроды в область перегородки мозга пациента, чтобы дать возможность врачам или самому пациенту проводить нейростимуляцию для достижения сексуального удовольствия при просмотре порнографических фильмов с участием гетеросексуалов и во время секса с женщиной-проституткой. Хит сообщал, что с помощью нейростимуляции пациент доводил себя до состояния эйфории. (Тем не менее его сексуальная ориентация осталась неизменной.)

Нейроны в этом участке области перегородки (ядра ложа конечной полоски), которые в исследованиях на животных активировались во время акта материнской агрессии, также обладают рецепторами к норадреналину — нейромедиатору, вовлеченному в стрессовый ответ. Эта область мозга связана с гипоталамусом, контролирующим автономные реакции и высвобождение гормонов, таких как окситоцин и нейромедиатор дофамин, управляющих стрессом, настроением и беспокойством, она также получает входящие сигналы от коры головного мозга.

В нейронной сети агрессии задействованы как подкорковые структуры, так и кора больших полушарий. Префронтальная кора может тормозить или стимулировать лимбическую систему, подавляя импульс или иницируя агрессивное действие на основании обдумывания — процесса, происходящего в зонах высокоуровневой обработки информации, ответственных за когнитивные функции. Такой контроль «сверху вниз»

со стороны префронтальной коры отличается от пути «снизу вверх» — быстрого, рефлекторного ответа на неожиданно появившийся раздражитель среды, как в случае, когда случайно брошенный баскетбольный мяч отбивают не раздумывая. Животные и люди с более слабыми связями между префронтальной корой и лимбической системой испытывают трудности с контролем своих порывов.

Центры вознаграждения головного мозга, включая стриатум (полосатое тело) и прилежащее ядро, в которых действует нейромедиатор дофамин, — еще один компонент нейронной сети агрессии. Многие лекарства, вызывающие привыкание и зависимость, например метамфетамин и кокаин, увеличивают поступление модулирующего вознаграждения дофамина и «сбивают с толку» эту нейронную сеть. Когда самцу крысы удается победить вторгшегося в его клетку нарушителя, животное будет многократно активировать рычаг, открывающий коридор для незваного гостя, чтобы опять подраться. Если же с помощью лекарства заблокировать дофаминергическую передачу, то самец крысы перестанет затевать драки.

Связанная с вознаграждением сторона агрессии, в том числе возникновение чувства превосходства и доминирования, лежит в основе нескольких форм такого поведения, в частности гедонистического аспекта издевательств и запугивания (буллинга), так же как и психопатической агрессии и зверских преступлений. В современном обществе, где нашу потребность в пище обеспечивают супермаркеты, недостаток «чувства вознаграждения», возникающего в результате успешной добычи пропитания, можно компенсировать за счет рыбалки или охоты.

Половые различия

При прогнозировании агрессивного поведения единственный самый важный фактор — это пол. Согласно статистическим данным Федерального управления тюрем за 2018 г., мужчины составляют 93% заключенных. Взаимосвязь между агрессивностью и мужским полом в царстве животных бросается в глаза, указывая на то, что зависимость между насилием и полом имеет сильную биологическую основу. Влияние гормонов на нейронную сеть, контролирующую агрессивное поведение, имеет большое значение, но давление отбора на самцов, особенно у социальных млекопитающих, включая большинство приматов, способствовало развитию признаков, увеличивающих вероятность агрессивного поведения при поиске

партнера, достижении повышенного социального статуса, добывании пищи и защите территории и племени.

Нейробиолог Дэвид Андерсон (David Anderson) из Калифорнийского технологического института с коллегами исследовали нейронную сеть, которая объясняет сложную взаимосвязь между полем и насилием. Их исследование раскрыло часть механизма, благодаря которому одна и та же нейронная сеть мозга может быть задействована в таких противоположных чувствах, как любовь и ненависть. С точки зрения физиологии агрессия и спаривание обладают несколькими общими чертами. В обоих случаях возникает состояние сильного возбуждения и, в случае успеха, мощное чувство удовлетворения. В дикой природе агрессия и спаривание часто взаимосвязаны, и оба действия регулируются сходным воздействием среды и внутренним состоянием организма. Самцы животных, например, более агрессивны в брачный период.

Уже в течение некоторого времени известно, что ответственная за нападение область гипоталамуса также управляет спариванием и что стимуляция с помощью внедренных в эту область электродов может побуждать к копуляции или проявлению агрессии. Используя окрашивание по белку *Fos* для выявления высокоактивных нейронов, исследователи обнаружили, что в гипоталамусе клетки становятся активными сразу же после того, как мыши вступают в агрессивную схватку или спариваются. Дайю Линь (Dayu Lin), работавшая в лаборатории Андерсона до того, как стала профессором Нью-Йоркского университета, имплантировала микроэлектроды в гипоталамус мышей и обнаружила активность нейронов во время драки и спаривания: некоторые отдельные нейроны генерировали импульсы во время только одного действия, но некоторые «включались» во время и той и другой активности. Используя оптоволоконный лазер для освещения генетически модифицированных нейронов, генерирующих электрические импульсы при попадании света, Линь с коллегами побуждали мышью начать атаку или спаривание. Ученые применяли лазер для управления возбуждением нейронов при разной частоте и для переключения между видами активности.

Утрата контроля

Применение новых данных, полученных в лабораториях, для объяснения массовых убийств — по-прежнему желаемая цель.

Но случай, произошедший более 50 лет назад, привел к началу исследований, которые, возможно, когда-нибудь смогут предотвратить появление вселяющих ужас заголовков. 1 августа 1966 г. Чарлз Уитмен, неуравновешенный бывший морской пехотинец, сначала нанес ножевые ранения своей матери, а потом застрелил ее в ее же доме, зарезал жену, а затем с солдатским сундучком, в котором было три ножа, 700 единиц боеприпасов и семь винтовок, отправился к башне в кампусе Техасского университета в Остине. Со своей снайперской позиции Уитмен убил 14 человек и ранил более 30. Он оставил записку, в которой просил исследовать его мозг после смерти и определить, был ли он психически болен.

В ходе криминалистического анализа в мозге убийцы обнаружили маленькую злокачественную опухоль, мультиформную глиобластому, около миндалевидного тела. В письменном отчете группа экспертов признает: «Злокачественная опухоль мозга, по-видимому, сыграла роль в его неспособности контролировать эмоции и действия». Однако эксперты не смогли вынести окончательное решение о том, связано ли совершение Уитменом массовых убийств или его очевидное психическое заболевание с раком. К тому же многие люди перенесли черепно-мозговые травмы или страдают от опухоли мозга, но не становятся жестокими убийцами. Глиобластома была, например, у сенаторов Теда Кеннеди и Джона Маккейна.

До сих пор не сообщалось о наличии патологии мозга у массового убийцы из Лас-Вегаса Стивена Пэддока, и, возможно, ее так и не найдут. Если патология и обнаружится, все равно будет невозможно выявить причинно-следственную связь между опухолью мозга и гнусным преступлением. Более того, статистические данные исследования *MacArthur Violence Risk Assessment Study* (оценки рисков насилия со стороны психически больных), показывают, что у людей с психическими расстройствами не наблюдается большей, чем у других, склонности к насилию.

Велика вероятность, что в мозге снайпера из отеля *Mandalay Bay* неврологическая патология не выявится. Основные факторы риска, связанные с возможностью насильственного поведения, — это молодость, мужской пол, злоупотребление психотическими веществами и более низкий социально-экономический статус. Согласно обзору 2003 г., выполненному Хизер Стюарт (Heather Stuart) из Университета Куинс в Онтарио,

треть актов насилия, о которых сообщали сами опрошиваемые, совершили люди без диагностированных психических заболеваний, а семь из десяти жестоких преступлений, совершенных психически больными, связаны со злоупотреблением психоактивными веществами. Наши знания о том, как алкоголь и кокаин повреждают нейронную сеть, контролирующую агрессию, не оставляют сомнения в существовании взаимосвязи между наркоманией и алкоголизмом и насилием.

Новое понимание

Группа экспертов, исследовавших мозг Уитмена, ясно изложила более серьезную причину, по которой она не смогла установить связь между преступлением и опухолью мозга. Все довольно просто — недостаточное научное понимание функций мозга в 1966 г. В отчете отмечается: «Существующий уровень знаний о естественных функциях мозга не позволяет нам объяснить действия Уитмена первого августа. Этот случай — драматическое свидетельство крайней необходимости дальнейшего изучения деятельности мозга в связи с поведением, в особенности насильственным и агрессивным».

В 1966 г. еще не было аппаратов магнитно-резонансной томографии (МРТ), да и сама нейробиология находилась в стадии становления. Недавние исследования, использующие современные методы для изучения нейробиологии агрессии, теперь предоставляют данные, которые, возможно, помогли бы завершить расследование дела Уитмена.

Психиатр Бернхард Богерте (Bernhard Bogerts) из Магдебургского университета им. Отто фон Герике с коллегами использовали сканы МРТ и компьютерной томографии (КТ) для изучения мозга заключенных, совершивших и не совершавших насильственные преступления. Исследование показало, что аномалии мозга значительно чаще встречаются у лиц, совершивших насильственные преступления, по сравнению с отбывающими наказание за преступления без применения насилия или с контрольной группой. Например, хотя бы одна аномальная зона в мозге наблюдается у 42% из 162 заключенных, совершивших преступление с применением насилия, по сравнению с 25% из 125 лиц, совершивших правонарушения ненасильственного характера, и 8% из 52 человек из контрольной группы. Патология проявлялась в префронтальной коре, миндалинах и других зонах, ответственных за контроль миндалины и гипоталамуса.

Полученные данные о нейронных цепях агрессии, возможно, откроют дорогу для новых ответов, но вместе с тем, скорее всего, также появятся и новые вопросы. Гены и опыт управляют развитием нейронных цепей у каждого человека по-разному, и это объясняет разную степень и разные типы агрессии, проявляемой людьми или экспериментальными грызунами. У человека префронтальная кора развивается полностью только к 20 с небольшим годам. Вот почему в США несовершеннолетние не должны нести уголовную ответственность наравне со взрослыми.

Такой медленный процесс развития мозга позволяет до некоторой степени понять (с биологической точки зрения) кажущиеся непостижимыми волны расстрелов в школах, прокатившиеся по стране. В конце концов, для уменьшения проявлений агрессивного поведения возможно воздействие за счет регуляции нейронных цепей агрессии с помощью лекарств, прецизионной хирургии, стимуляции мозга или других методов.

Появляющиеся данные о наличии неврологических нарушений у людей, заключенных в тюрьму за насильственные преступления, поднимают этические вопросы о юридической ответственности и о том, должны ли психиатрическая экспертиза психического здоровья пациентов включать данные электроэнцефалографии и сканирования мозга для выявления признаков патологии. Возможно, именно этого добивался Уитмен, когда паковал свой сундучок и писал предсмертную записку с просьбой исследовать его мозг после кровавой бойни, которую он собирался устроить. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Functional Identification of an Aggression Locus in the Mouse Hypothalamus. Dayu Lin et al. in *Nature*, Vol. 470, pages 221–226; February 10, 2011.
- Ventral Premammillary Nucleus as a Critical Sensory Relay to the Maternal Aggression Network. Simone C. Motta et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 110, No. 35, pages 14,438–14,443; August 27, 2013.
- High Prevalence of Brain Pathology in Violent Prisoners: A Qualitative CT and MRI Scan Study. Kolja Schiltz et al. in *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, Vol. 263, pages 607–616; October 2013.
- Why We Snap: Understanding the Rage Circuit in Your Brain. R. Douglas Fields. Dutton, 2016.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Возрождение биоразнообразия риса

Восстановление давно забытого биоразнообразия основной зерновой культуры стран Азии поможет пережить наводнение, засуху и другие бедствия. Для этого нужно вернуть к жизни исчезнувшие виды растения

Дебал Деб

Метелки риса разных сортов
с полей фермы Vasudha





ОБ АВТОРЕ

Дебал Деб (Debal Deb) — основатель фермы *Basudha*, специализирующейся на сохранении биоразнообразия риса, и центра по распределению семян *Vrihi* в Карандигуде, основатель и глава Центра междисциплинарных исследований в Баракпуре.

Одним жарким летним днем

1991 г., проведя несколько часов на скудных рисовых полях юга Западной Бенгалии (Индия), я решил отдохнуть в хижине Рагху Мурму (Raghu Murmu), молодого человека из народности санталов. Хозяин усадил меня в тени огромного мангового дерева, а его дочь принесла холодной воды и сладостей, приготовленных из риса. Наслаждаясь угощением, я заметил, что беременная жена Рагху пьет какой-то красноватый напиток. Предупреждая мой вопрос, Рагху объяснил, что напиток изготовлен на основе крахмала риса *Bhutmuri*, что означает «голова призрака». По-видимому, такое название этот сорт получил по причине темной шелухи рисовых зерен. «Он устраняет дефицит крови во время беременности и после родов», — пояснил Мурму. Я набрал горстку противоязвенного риса, в чудодейственную силу которого так верили местные жители, а Рагху рассказал о другом сорте, *Paramai-sal* («рис долголетия»), укрепляющем здоровье детей.



Как я впоследствии выяснил, *Bhutmuri* — это одна из разновидностей местного риса Южной Азии, богатого железом и содержащего витамин В. В *Paramai-sal* много антиоксидантов, микроэлементов и крахмала, который легко расщепляется с высвобождением энергии. В то время эти необычные разновидности риса с их экзотическими названиями и лечебными свойствами были мне неизвестны. Вернувшись домой в Калькутту, я проштудировал литературу на предмет генетического разнообразия индийского риса и понял, как мне повезло, что я встретился с Рагху. Такие фермеры, как он, выращивающие местные сорта риса и осведомленные об их целебных свойствах, находятся под угрозой исчезновения, как и сами растения.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Когда-то в Индии выращивали 110 тыс. сортов риса, обладающих разнообразными ценными качествами. Среди них были разновидности, чьи семена содержали жизненно важные питательные вещества; растения, устойчивые к засухам и наводнениям.
- С приходом эры «зеленой революции» все их вытеснили несколько высокоурожайных сортов, и в результате с ферм исчезли 90% местных разновидностей риса.
- Выращивание высокоурожайных сортов обходится дорого, небольшим хозяйствам это не по средствам. Фермерам приходится брать кредиты, которые они не могут погасить в срок и разоряются.
- Первоочередная задача автора — сбор, восстановление, описание традиционных сортов и снабжение семенами мелких фермерских хозяйств. Это поможет возродить биоразнообразие ценнейшей культуры.



За прошедшие с тех давних пор годы я, можно сказать, сроднился с миром природных разновидностей риса во всем его разнообразии, представители которого обладают многими полезными качествами. Одни успешно противостоят наводнениям, другие — засухам, третьи — засоленности почвы, четвертые — вредителям культурных растений. Есть сорта, богатые витаминами и минералами, есть — обладающие необычным вкусом и запахом, благодаря чему их используют во время религиозных церемоний. Поиск, сбор, возвращение таких экзотических сортов стали делом моей жизни.

Утраченное сокровище

Азиатский культурный рис (*Oryza sativa*) — продукт многовековой селекции и межвидового скрещивания диких разновидностей, того, что Чарлз Дарвин назвал искусственным отбором, плод труда людей раннего неолита. Археологические и генетические изыскания позволяют предположить, что индийские разновидности азиатского риса (почти весь культурный рис, экспортируемый из Индии, относится к этой группе) произрастали 7–9 тыс. лет назад в предгорьях Гималаев. В последующие тысячелетия культивирования крестьяне создали настоящую сокровищницу местных сортов, прекрасно адаптированных к различным



Для возрождения былого разнообразия сортов риса нужно ежегодно высевать более 1 тыс. вариантов растений, ухаживать за ними, собирать и хранить урожай. Фотографии, сделанные на ферме Vasudha, изображают местных фермеров, высаживающих ростки риса на покрытых водой полях (1) и осуществляющих другие работы (2).

видам почв и микроклимата и удовлетворяющих культурные, пищевые и медицинские запросы населения.

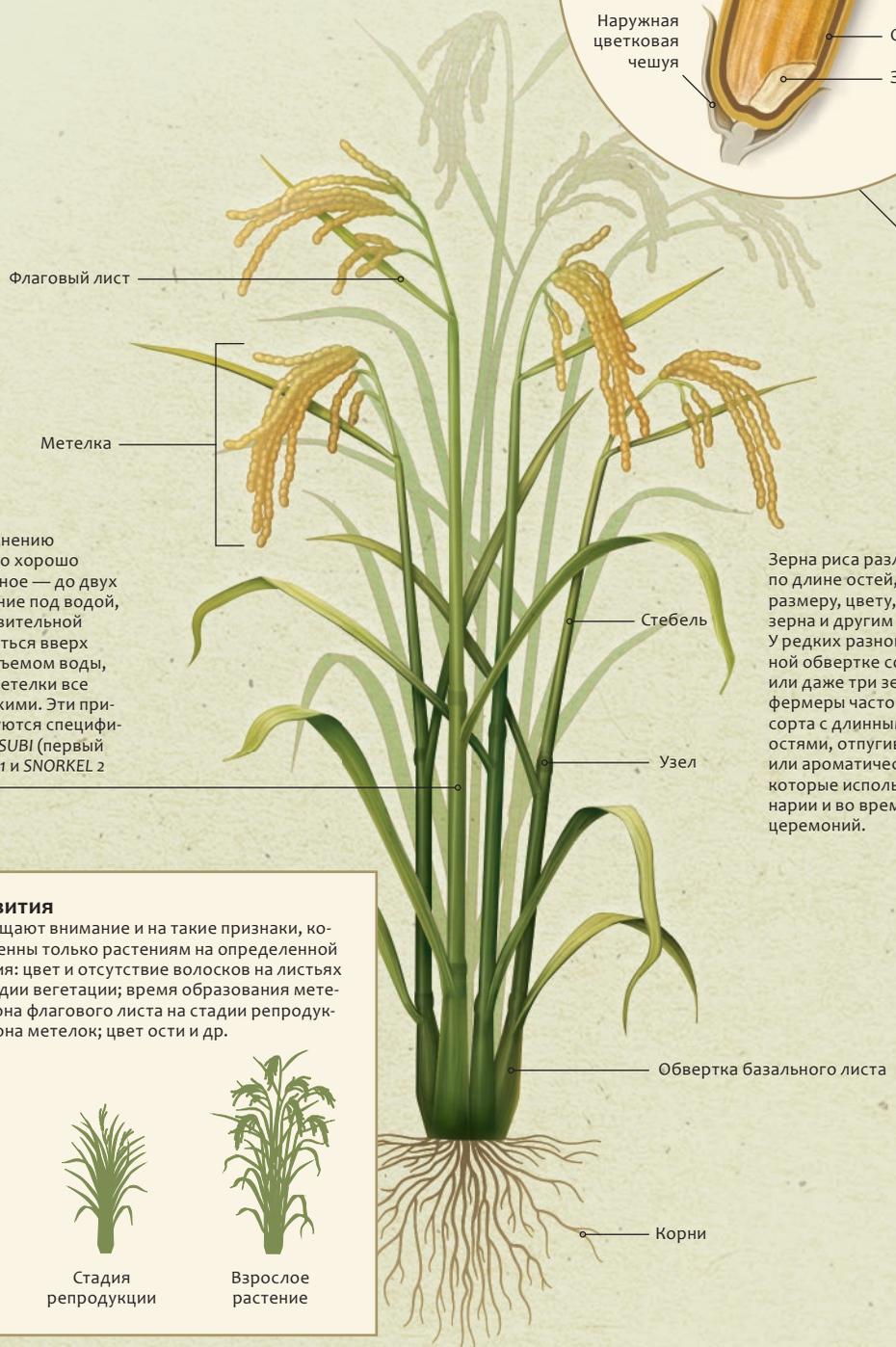
По данным пионера в исследовании биоразнообразия риса Радхелала Харелала Риххарии (R.N. Richharia), на полях Индии с 1970-х гг. выращивают 140 тыс. местных сортов риса. Если исключить синонимы (на разных территориях одинаковые разновидности называют по-разному), то эта цифра снизится до 110 тыс. Впрочем, по результатам моих литературных изысканий, со времен «зеленой революции» генетическое разнообразие индийского риса постепенно снижается.

В конце 1960-х гг. Международный институт по изучению риса (IRRI) представил правительству Индии несколько высокопродуктивных разновидностей риса (*high-yielding varieties, HYV*), дающих высокий урожай при наличии в достаточном количестве воды, опылителей и пестицидов. Вслед за международными агентствами IRRI инициировал замену традиционных сортов риса на всех полях этой чудодейственной разновидностью. Несмотря на противодействие жителей, новый сорт риса быстро вытеснил местные традиционные виды.

На рубеже 1970–1980-х гг. IRRI составил список из 5556 местных сортов риса Западной Бенгалии и собрал 3,5 тыс. из них. В 1994 г., не найдя никаких документов о культивируемых разновидностях в этом штате, я предпринял собственные поиски. Ко времени окончания работы в 2006 г. обнаружилось, что 90% задокументированных разновидностей исчезли с полей. Это означало, что на всей территории Индии произрастает не более 6 тыс. традиционных сортов. Аналогично

Россыпь драгоценных рисовых зерен

Когда-то фермеры Южной Азии могли различить тысячи разновидностей риса, основываясь на 50 с лишним признаках. Одни признаки имели временной характер — период цветения или созревания, другие были физического свойства — размер и окраска метелки; угол наклона флагового листа; высота, диаметр и цвет стебля; размер, форма и цвет зерен; цвет узловой части и пр. Такой опыт, по большей части утраченный, позволял фермерам тщательно отбирать те сорта, которые наилучшим образом соответствовали местным условиям: наклону участка, вероятности наводнения, особенностям почвы, культурным традициям.



Устойчивая к наводнению разновидность либо хорошо переносит длительное — до двух недель — пребывание под водой, либо обладает удивительной способностью тянуться вверх согласованно с подъемом воды, в результате чего метелки все время остаются сухими. Эти признаки детерминируются специфическими генами — *SUB1* (первый пример) и *SNORKEL 1* и *SNORKEL 2* (второй пример).

Зерна риса различаются по длине остей, цвету шелухи, размеру, цвету, форме, запаху зерна и другим признакам. У редких разновидностей в одной обертке содержатся два или даже три зерна. Местные фермеры часто предпочитают сорта с длинными острыми осями, отпугивающими скот, или ароматические виды, которые используются в кулинарии и во время различных церемоний.

Стадии развития

Фермеры обращают внимание и на такие признаки, которые свойственны только растениям на определенной стадии развития: цвет и отсутствие волосков на листьях на поздней стадии вегетации; время образования метелок; угол наклона флагового листа на стадии репродукции; угол наклона метелок; цвет ости и др.



в Бангладеш в период с 1979 г. по 1981 г. задокументировано 12 479 разновидностей, но мои исследования показывают, что по всей стране культивируется не более 720 местных сортов.

Утрата биоразнообразия по всему субконтиненту шокировала меня как биолога и просто как гражданина. Меня удивило, почему власти не озаботились вопросом генетической эрозии наиболее важной для данного региона сельскохозяйственной культуры. Ведь всем известны ужасные последствия утраты биоразнообразия во время Великого голода в Ирландии (1845–1849). Все «разнообразие» картофеля, выращиваемого в то время в Ирландии, ограничивалось единственным сортом, не обладавшим наследственной устойчивостью к *Phytophthora infestans*, микроорганизму, который вызывает увядание листьев без гниения. В 1846 г. заражение этим патогеном привело к утрате трех четвертей урожая с катастрофическими последствиями для посевного материала и демографии: от голода и болезней умерло примерно 1,5 млн человек, а за десять лет из страны в Австралию и Северную Америку эмигрировало примерно 1,3 млн жителей. Незабываемый урок для всех, имеющих отношение к сельскому хозяйству: отсутствие разновидностей зерновых может привести к беспрецедентной чувствительности монокультуры к вредителям и иметь долговременные катастрофические последствия. С приходом «зеленой революции» такие вредители, как бурая цикадка, раньше не создававшие особых проблем, опустошили рисовые поля некоторых азиатских стран.

Экспансия монокультур привела к процветанию некоторых насекомых-вредителей. Их пытались уничтожить с помощью пестицидов, что привело к гибели природных врагов этих насекомых. Результат — увеличение разнообразия и численности насекомых-вредителей. Генетическое единообразие зерновых, в особенности продуктов «зеленой революции», отобранных по единственному признаку — урожайности, означает также исчезновение растений со свойствами, благодаря которым они могли бы противостоять неблагоприятным погодным условиям — отсутствию дождей, сезонным наводнениям, штормовым ветрам. Это бьет прежде всего по бедным фермерам, у которых нет средств, скажем, на откачивание воды с полей или полив.

Исчезновение местных сортов сопряжено с утратой навыков их распознавания и культивирования. Так, раньше фермеры могли различать сорта, ориентируясь на время их цветения, окраску обвертки базального листа, угол наклона флагового листа, длину метелки, цвет, размер и форму зерен. Используя подобные признаки, они исключали все атипичные растения, чтобы поддержать генетическую чистоту местных сортов. Сегодня, однако, подавляющее большинство фермеров Южной

Африки используют посевной материал из других стран и необходимость в сохранении чистоты местных семян отпадает. Когда местные сорта выходят из употребления, знания об их агрономических и культурных особенностях стираются из памяти фермеров. Выработанные столетиями стратегии использования биоразнообразия для противостояния насекомым-вредителям и болезням уступили место рекомендациям производителей пестицидов.

«Зеленая революция» и — более широко — модернизация сельского хозяйства тоже имели социальные и экономические последствия. Увеличение расходов на покупку семян, опылителей, пестицидов и горючего для поливальных машин заставляет фермеров брать кредиты, часто у негосударственных компаний под большие проценты. Вместе со снижением цен на выращенные продукты это приводит к разорению мелких хозяйств и росту числа самоубийств среди фермеров. Имея дело с фермерами, которые все еще выращивают рис местных сортов на своих небольших фермах, я не столкнулся ни с одним случаем самоубийства по причине разорения.

В 1996 г., располагая семенами 152 местных разновидностей риса, я обратился в администрацию центра, занимающегося исследованиями по культивированию риса, находящегося в Западной Бенгалии. Здесь, как я полагал, хранятся все бесценные образцы рисовой зародышевой плазмы. Директор не только отказался принять мою лекцию, но и обвинил меня в преследовании «антинаучной цели возрождения давно забытых сортов». Настаивая на их выращивании, я, по его словам, призываю к «возвращению к пещерному образу жизни» и обрекаю крестьян на полуголодное существование. Когда я возразил ему, сказав, что ни один из высокопродуктивных сортов не выживет без орошения или на засоленных почвах вблизи берегов моря, он ответил, что скоро сюда придут трансгенные растения, так что я должен оставить свои бредовые идеи и изучить труды современных экспертов.

Живые семена

Будучи экологом, специалистом по структуре и функциям экосистем, я работал в восточном офисе Всемирного фонда по изучению природы Индии. В то время эта и другие организации занимались в первую очередь спасением таких крупных харизматичных животных, как тигры, и поскольку сельскохозяйственные культуры не относились к «дикой природе», они находились на периферии интересов данных учреждений. Научно-исследовательские институты тоже не проявляли никакого интереса к проблеме, поскольку работы по сохранению местных сортов растений не финансировались.



Мне оставалось одно: работать в одиночку. В 1996 г. я уволился с работы и поселился в одной из деревень Западной Бенгалии с намерением основать банк семян риса местных сортов и центр по обмену посевным материалом между фермерами. В 1997 г. я придумал название для своего центра — *Vrihi*, что в переводе с санскрита означает «сеять рис». Первое время я получал поддержку от базирующейся в Нью-Дели некоммерческой организации *Navdanya* и собирал семена редких разновидностей риса в разных частях страны, безвозмездно раздавая их фермерам. Однако начиная с 2000 г. меня спонсировали в основном друзья и немногочисленные коллеги.

В 1999 г., отправившись в Северную Бенгалию, чтобы по просьбе властей штата исследовать биообразные лесных массивов региона, я воспользовался возможностью осмотреть поля этих мест. В один из дней, после семичасовой тряски в автобусе и пешей прогулки до глухой деревни под названием Латагури, я собрал семена почти исчезнувшего сорта риса *Agni* («огонь»), прочный стебель которого не ломался даже при штормовом ветре. К следующему посевному сезону я дал семена одному из фермеров, который как раз хотел найти подходящий сорт для своей расположенной в гористой местности фермы, где временами

Дебал Деб и его неизменный ассистент *Дебдулал Бхаттачарья* отбирают зерна (1) и идентифицируют их признаки (2)

дуют сильные ветра. На следующий год он получил богатый урожай — причем один из циклонов опустошил поля соседних хозяйств. Он навестил меня, чтобы поблагодарить за ценный подарок. К несчастью, на следующий год департамент региона вынудил его отказаться от *Agni-sal* и заменить его *HYV*-продуктом. Так *Agni-sal* исчез из полей региона. Я отправился в Латагури, чтобы собрать новую коллекцию семян у того же фермера, что и в первый раз, но оказалось, что он уже год как покинул родные места, а его сын не продолжил дело отца. Как мне кажется, *Agni-sal* исчез с лица земли.

Примерно в то же время произошло событие, убедившее меня в том, что недостаточно просто собрать семена какого-либо уникального сорта и раздать его фермерам. По традиции фермеры, чьи угодья располагаются в низинах, культивируют два сорта риса, устойчивых к наводнениям. У одного из них ствол тянется вверх в унисон с подъемом воды. За такой признак отвечают гены *SNORKEL 1* и *SNORKEL 2*, расположенные на хромосоме 12; ими обладают традиционные

сорта *Lakshmi dighal*, *Jabrah*, *Pantara* и *Rani kajal*. Растения второго вида, устойчивого к наводнению, могут долгое время находиться под водой. Один из генов, детерминирующих этот признак, *SUB1*, обнаружен у нескольких местных бенгальских сортов риса.

В июне 1999 г. один из южных регионов Западной Бенгалии подвергся мощнейшему наводнению. Все растения риса погибли. В то время я не располагал семенами разновидностей, которые могли бы долгое время находиться под водой, но мне было известно, что они имелись в Международном институте по изучению риса и у Национального бюро генетических ресурсов растений в Нью-Дели. Я написал в обе организации, полагая, что они могли бы прислать мне 10–20 г семян, но не получил никакого ответа. Если образованный человек, пишущий на одном из европейских языков, имеющий ученую степень и занимающийся наукой, не удостоился внимания национального и международных банков генов, на что может надеяться какой-нибудь бедный фермер из Кении или Бангладеш? По моим сведениям, никто из пострадавших жителей этих и других стран не дождался помощи от банков генов, хотя свои коллекции они составили из материала, полученного от местных жителей.

А между тем такую помощь банки обязаны оказывать; они должны также предоставлять семе-

исключительные права на выращивание одного из местных сортов риса, гибридной разновидности басмати, чьи предки росли в Южной Азии и имелись в коллекции *IRRI*. Институт получил в 2014 г. патент на работу с повышающим урожайность геном *SPIKE*, обнаруженным в геноме индонезийского местного сорта *Daringhan*.

Мало того что банки семян *ex situ* физически недоступны для фермеров, хранящиеся в них семена еще и утрачивают свою полноценность вследствие длительной изоляции. Их высушивают и содержат при -20°C с сохранением жизнеспособности до 35 лет, а их «родственники» все это время эволюционируют. И когда замороженные семена возвращают к жизни, обнаруживается, что они утратили природную устойчивость к патогенам, которые также эволюционировали. В отличие от этого банки *in situ* в силу недостаточности финансирования вынуждены каждый год расходовать все свои запасы — в противном случае большая часть семян не прорастет. В результате семена, хранящиеся на фермах, эволюционируют в унисон с патогенами.

Итогом всех моих размышлений стало решение создать собственное хранилище, с тем чтобы поддерживать небольшие коллекции семян местных сортов. Я израсходовал все свои сбережения, оставшиеся от аспирантуры в Калифорнийском университете в Беркли, чтобы основать ферму *Basudha*. Шел 2001 г. Самый крупный на сегодня в Южной Азии банк генов риса — *Vrihi*. 1420 сортов этого растения ежегодно выращивают на ферме *Basudha* на юге штата Одиша (ранее Орисса).

На 0,7 га имеющейся в нашем распоряжении земли мы должны были вырастить по 64 растения каждого сорта. (Минимальное число растений, необходимое для поддержания всех генетических вариантов данного сорта, равно 50.) Поскольку мы не могли следовать международным нормам, согласно которым расстояние между растениями разных сортов должно составлять не менее 110 м, чтобы предотвратить перекрестное опыление, мы рассадили наши саженцы так, чтобы они цвели в разное время. Более того, мы

удаляли нетипичные растения в каждой популяции на разных стадиях вегетации, для чего нам пришлось наблюдать за 56 разными признаками в соответствии с Международным руководством по поддержанию биоразнообразия. В результате все собранные семена были генетически идентичными на 100%, если не считать небольшого числа неидентифицированных мутаций.



на компаниям в рамках программы по гибридизации. Согласно оценкам Международного исследовательского института продовольственной политики, к 1996 г. примерно три четверти рисовых плантаций в США были засажены продуктами из коллекции *IRRI*. А в 1997 г. Патентное бюро США выдало компании *RiceTec*, базирующейся в Техасе, патент, который предоставляет

На ферме *Basudha* все местные сорта риса выращивают в соответствии с агроэкологическим принципом «никаких внешних факторов» — внесения химикатов, отвода грунтовых вод и т.д. Источником питательных веществ служат листья и соломенная мульча, бобовые (чьи корни богаты азотфиксирующими бактериями), растительный компост и навоз, почвенные микроорганизмы. Мы боролись с сельскохозяйственными вредителями, высаживая «сорняки» и кустарники, где селились такие хищники, как пауки, муравьи, рептилии и паразиты, которые иначе могли бы выбрать местом своего обитания наши растения. Другая стратегия заключалась в образовании луж воды, где могли бы размножиться водные насекомые и лягушки, которые охотятся на насекомых-вредителей. Иногда мы использовали репелленты, отпугивающие вредителей: табак, чеснок, базилик. Болезни зерновых никогда не были проблемой для нашей фермы: биоразнообразие неоднократно упоминалось в документации как лучшая стратегия против патогенов.

Мы храним некоторое количество семян собранного урожая в глиняных горшках, где они защищены от патогенов и грызунов и в то же время «дышат». Остальные семена раздаем фермерам в обмен на горстку семян другого местного сорта. Такая система есть не что иное, как воссоздание древнего обычая обмена семенами, который когда-то способствовал распространению всех сортов риса по странам и континентам.

Мы с коллегами помогли создать более 20 банков семян в разных регионах Индии, так что местным фермерам не надо отправляться во *Vrihi* за нужным посевным материалом. Мы также организовали систему обмена семенами между фермерами. Она охватывает более 7,8 тыс. фермерских хозяйств в пяти штатах Индии. Более того, мы описали признаки и свойства каждой разновидности риса и присвоили местным сортам имена фермеров, предваряя их патентование в будущем. Таким способом за фермерами закрепляется эксклюзивное право на распоряжение собственным посевным материалом и обеспечивается долговременная защита их финансовых интересов.

Рог изобилия

Выращивание традиционных сортов риса — единственный доступный для небогатых фермеров способ избежать разорения в результате засухи или наводнения. 22-летний опыт работы с такими местными сортами, как *Kelas*, *Rangi*, *Gadaba*, *Kaya* и *Velchi*, убедил меня в том, что в условиях засухи они дают более высокий урожай, чем любой из *HYV*-сортов. Сортам *Lakshmi dighal*, *Rani kaja* и *Jabra* не страшны наводнения — их стебель с метелками всегда остается выше уровня воды, даже когда он достигает 4 м. *Matla*, *Getu*, *Talmugur* и *Kallurundai* могут расти на засоленных почвах

и землях, подтапливаемых во время приливов. Все вместе эти сорта обеспечивают небывалую адаптивную пластичность такой важной для Азии культуры, как рис.

Более того, при оптимальной засоленности почвы на неорошаемых землях существенная часть традиционных разновидностей риса — в частности *Bahurupi*, *Bourani*, *Kerala sundari* и *Nagra* — превосходят по урожайности современные *HYV*-сорта. Очень редко встречающиеся высокоурожайные виды содержат не одно, а два-три зерна в одной обертке; по видимому, это результат мутаций в структурных генах цветков. Один такой трехзерновой вид, *Sateen*, имеется только в репозитории фермы *Basudha*.

Несколько традиционных сортов обладают также устойчивостью к насекомым-вредителям и патогенам. Среди первых — *Kalo nunia*, *Kalanamak*, *Kartik-sal* и *Tulsi manjari*, *Bishnubhog* и *Rani kaja* устойчивы к бактериальным инфекциям, а *Kataribhog* — к вирусным. *Gour-Nitai*, *Jashua* и *Shatia*, по-видимому, резистентны к огневкам, *Khudi khasa* — к стеблевому рисовым сверлильщикам. Раздача семян этих сортов привела к уменьшению гибели риса от насекомых-вредителей и болезней на тысячах ферм за последние 25 лет.

Скрещивание современных сортов направлено в основном на повышение урожайности, но семена многих традиционных разновидностей содержат ценные микроэлементы, отсутствующие у гибридов. В ходе наших недавних исследований идентифицировано почти 80 традиционных видов,

В связи с провалом современной сельскохозяйственной науки в обеспечении многочисленных небольших ферм новыми сортами риса создание обширной коллекции традиционных сортов, хорошо приспособленных к разным условиям, становится нашим приоритетом

которые содержат более 20 миллиграммов железа на килограмм зерен; среди них — рекордсмены *Harin kajli*, *Dudhé bolta* и *Jhuli* с 131–140 мг/кг. Сравните это с 9,8 мг/кг очень дорогого трансгенного сорта *IR68I44-2B-2-2-3*, созданного Международным институтом по изучению риса специально для выработки повышенных количеств железа.

Некоторые традиционные разновидности риса применяются в медицине. Аюрведа, система народной индийской медицины, рекомендует сорт *Nyavara* из штата Керала при одном из неврологических заболеваний. Мы определили химический состав его зерен и намереваемся исследовать их эффективность как биологической добавки. Другой сорт риса, *Garibsal*, применяют в традиционной медицине для борьбы с кишечными инфекциями. В статье, опубликованной в 2017 г. в журнале *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, мы с коллегами сообщили о содержании серебра в семенах этого сорта в концентрации 15 частей на миллион. Частицы серебра уничтожают патогенные микроорганизмы (в 2017 г. статья об этом вышла в журнале *Chemistry Letters*), что позволяет применять этот рис при заболеваниях желудочно-кишечного тракта.

Фермеры культивируют те или иные сорта риса исходя также из эстетических соображений: у некоторых сортов желтоватая кожица зерна испещрена золотистыми, пурпурными и черными полосками, кончики бывают красными, а ости — черными и т.д. У многих произрастающих на востоке страны местных сортов наружная цветочная чешуя похожа на распахнутые крылья, что придает растениям живописный вид. Есть и ароматические сорта, используемые во время религиозных церемоний и праздников. Если подобные растения исчезнут, вместе с ними из жизни людей уйдут и многочисленные кулинарные деликатесы. В коллекции фермы *Basudha* — 195 ароматических сортов риса, что способствует сохранению местных культурных традиций.

Многообразие экологических связей отразилось и на других признаках местных сортов. Владельцы небольших ферм Западной Бенгалии предпочитают разновидности с длинными прочными шиповидными отростками на концах оболочки зерна, которые отпугивают пасущихся коз и коров, а также сорта с торчащими флаговыми листьями, которые защищают метелки от зерноядных птиц.

Любопытно, что некоторые фермеры штата Одиша выращивают сорта как с длинными осями, так и вообще без остей — не ориентируясь ни на какие их преимущества. Без всякой связи с практической стороной дела иногда также культивируют разновидности культурных сортов, например *Buno dhan* (*Oryza rufipogon*) и *Uri dhan* (*Hygroryza asiatica*), используя их при исполнении местных обрядов. Такой обширный генный пул

очень важен как источник экзотических признаков, которые со временем могут пригодиться. Отметим еще один момент: хорошо, если на рисовых полях растут такие деревья, как ним (*Azadirachta indica*), чьи листья — природный пестицид.

Спасти фермеров

В связи с провалом современной сельскохозяйственной науки в обеспечении многочисленных небольших ферм новыми сортами риса создание обширной коллекции традиционных сортов, хорошо приспособленных к разным условиям, становится нашим приоритетом. Будучи уверенными в неизменно высокой урожайности местных сортов, более 2 тыс. фермеров в штатах Одиша, Андхра-Прадеш, Западная Бенгалия, Карнатака, Керала и Махараштра приобретают их во *Vrihi* и отказываются от выращивания НУВ.

В мае 2009 г. на побережье Западной Бенгалии обрушился циклон «Айла». Погибли 350 человек, были разрушены дома более 1 млн жителей. Океанская вода затопила рисовые поля и засолила почву. Это обрекло местных жителей на голод и смерть. Мы снабдили их из банка *Vrihi* небольшим количеством семян традиционных сортов, устойчивых к избытку соли, — *Lal Getu*, *Nona Bokra* и *Talmugur*. Это единственные сорта, давшие устойчиво высокий урожай на засоленных почвах в тот сезон. В 1999 г. несколько традиционных сортов спасли фермеров на юге Бенгалии от разорения после разлива реки Хугли. В 2010 г. аналогичным образом избежали катастрофы фермеры западных регионов округа Пурулия, где долго не наступал сезон муссонных дождей и началась засуха.

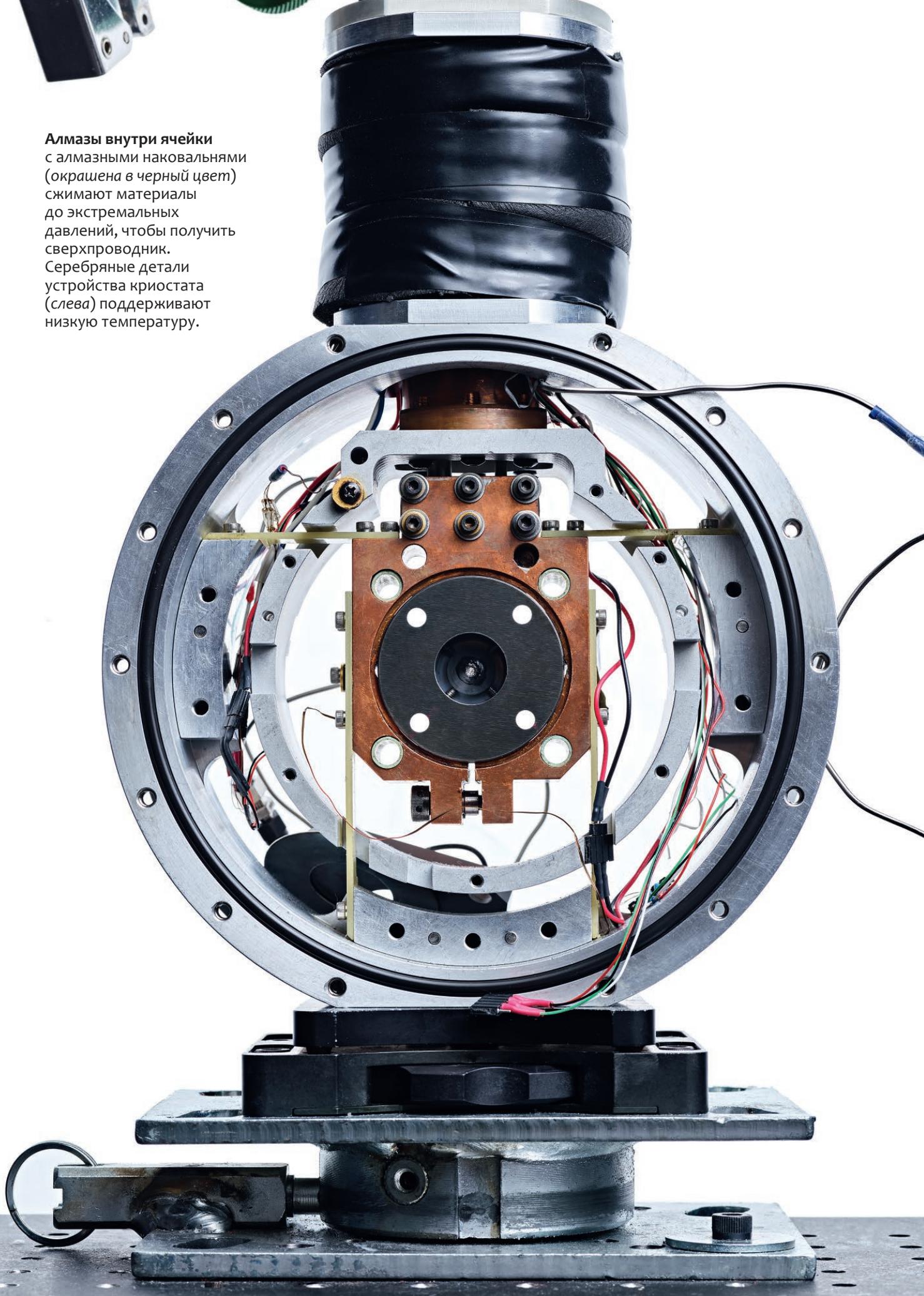
Подобные бедствия раз за разом показывали, что спасение для фермеров заключается в возрождении традиционного способа выращивания риса, основанного на биоразнообразии и использовании всего спектра сортов сельскохозяйственных культур, которые пережили натиск промышленного земледелия. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Beyond Developmentality: Constructing Inclusive Freedom and Sustainability. Debal Deb. Earthscan, 2009.
- Rice: Origin, Antiquity and History. Edited by S.D. Sharma. CRC Press, 2010.
- The Imperial Roots of Hunger. Madhusree Mukerjee in *Himal Southasian*. Vol. 26, No. 2, pages 12-25; April 2013.
- A Profile of Heavy Metals in Rice (*Oryza sativa* ssp. *indica*) Landraces. Debal Deb et al. in *Current Science*, Vol. 109, No. 3, pages 407-409; August 10, 2015.

Алмазы внутри ячейки
с алмазными наковальнями
(окрашена в черный цвет)
сжимают материалы
до экстремальных
давлений, чтобы получить
сверхпроводник.
Серебряные детали
устройства криостата
(слева) поддерживают
низкую температуру.



ФИЗИКА

МАТЕРИАЛ МЕЧТЫ



Приведут ли наконец новые успехи в теоретической физике и вычислительной технике к созданию сверхпроводника при комнатной температуре?

Боб Хендерсон

ОБ АВТОРЕ

Боб Хендерсон (Bob Henderson) — независимый автор, проживающий на севере штата Нью-Йорк. Защитил диссертацию в области теоретической физики высоких энергий в Университете Рочестера. В разные годы работал фотожурналистом, инженером-электриком, а также анализировал деривативы и торговал ими на финансовом рынке.



М

аддурри Сомаязулу (Maddury Somayazulu), физик-экспериментатор, по происхождению зулус, мог только надеяться на то, что заветная цель близка. В заставленной оборудованием Аргоннской национальной лаборатории в штате Иллинойс они с постдоком Закари Гебалле (Zachary Geballe) возились с цилиндрическим устройством размером со сливу, называемым ячейкой с алмазными наковальнями. Внутри — образец из редкоземельного металла лантана не больше пылинки и немного газообразного водорода, которые, согласно теоретическим предсказаниям, при огромном давлении в 2,1 млн атмосфер, возможно, обретут новую структуру. Это больше половины величины давления в центре Земли и на тот июньский день в 2017 г. было пределом возможности ячейки сжать ее содержимое между двумя размером с гальку алмазами — одним из самых твердых материалов из существующих в природе.

Когда ученые закрутили болты ячейки до давления 1,7 млн атмосфер, они почувствовали, как те напряглись. Алмазы, уже деформированные давлением, могли разрушиться. «Окей, достаточно. Дальше увеличивать нельзя, — сказал Сомаязулу. — Давай попробуем синтезировать при этом давлении и посмотрим, что получится».

Ученые окружили ячейку с наковальнями чем-то вроде высокотехнологической расстрельной команды: две длинные трубки для бомбардировки ее рентгеновскими лучами, система линз и зеркал для облучения лазером и видеокамера для того, чтобы запечатлеть акт насилия над образцом. Они надеялись, что лазерное излучение послужит катализатором реакции между лантаном

и водородом. Снаружи, за раздвижными металлическими дверьми, которые защищают их от рентгеновских лучей, ученые всматривались в экран компьютера, показывающего график рентгеновского излучения, прошедшего через микроскопическую структуру их смеси. Кривая быстро приобрела желаемую форму. Они успешно спрессовали и спекли элементы в гидрид лантана, или LaH_{10} . «Мы были потрясены, — вспоминает Сомаязулу. — Нам даже не потребовалось сильно нагревать образец, соединение образовалось и так», — и не просто какое-то химическое соединение.

Теория и моделирование на компьютерах давали основание предполагать, что LaH_{10} может стать сверхпроводником, материалом со сверхъестест-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Мечта ученых — создание сверхпроводника (материала, который способен проводить электричество, не оказывая сопротивления), работающего при комнатной температуре. На сегодня все сверхпроводники требуют низкой температуры и порой высокого давления.
- Исторически ученые открывали новые сверхпроводники методом проб и ошибок, однако недавний прорыв случился благодаря теоретическим алгоритмам, которые используют новые инструменты, такие как машинное обучение, чтобы предсказать новые сверхпроводящие материалы.
- Физики надеются, что усовершенствование теории и накопление экспериментальных данных смогут помочь им открыть более полезные с точки зрения практики сверхпроводники, которые расширят сферу применения технологии возобновляемой энергии, улучшат работу энергосетей и позволят создать батареи, не теряющие заряд.



Новая форма сверхпроводников внутри ячейки с алмазными наковальнями удерживается внутри центрального круглого окошка этого охлаждающего криостата в Аргоннской национальной лаборатории

венной способностью проводить электричество без потери энергии, которая так все портит в обычных проводах. Эта способность дает возможность огромному току течь по проводнику небольшого сечения и циркулировать в нем вечно, наподобие вечного двигателя. Но, что еще важнее, как ожидается, LaH_{10} обладает этим чудесным свойством при температуре около 7°C (280°K), температуре намного более высокой, чем была достигнута в любом из известных сверхпроводников, и соблазнительно близкой к комнатной температуре — долгожданной цели. Глубокий холод, необходимый существующим сверхпроводникам, ограничивает их использование в таких узких областях, как магниторезонансная томография и ускорители элементарных частиц. А вот сверхпроводники, работающие при комнатной температуре, возможно, обретут намного более широкую сферу применения, включая передачу солнечной энергии и энергии ветра на большие расстояния, чем практически оправдано сегодня, увеличение пропускной способности работающих на пределе энергетических систем, создание батарей, которые не теряют своего заряда, и бесчисленное множество других приложений в компьютерах и в медицине.

Проведенный Сомаязулу и Гебалле рентгеноструктурный анализ показал, что образцы LaH_{10} , которые они получили, демонстрируют в точности такую микроструктуру, которая была предсказана теоретиками. «Это сразило нас наповал, — сказал мне Сомаязулу во время моего недавнего посещения Аргоннской лаборатории, где он работает с мая 2019 г. Когда он с коллегами синтезировал LaH_{10} , он еще работал в Геофизической лаборатории Института науки Карнеги в Вашингтоне. Его

начальник в то время, Рассел Хемли (Russell Hemley), называет LaH_{10} «прекрасным примером намеренно полученного материала». Хемли руководил группой, которая создала этот материал, а также теоретической группой, которая предсказала его существование и свойства. «Сначала мы создали этот материал на компьютере, и результаты вычислений подсказали нам, где его искать».

В этом и заключалась настоящая новизна LaH_{10} . Ученые занимались поисками высокотемпературных сверхпроводников более 100 лет, но почти каждый новый прорыв возникал в результате комбинации интуитивных догадок — по сути, испытывалось множество различных компонентов и процессов в надежде добиться успеха — и удачи. До того только однажды

компьютерная программа напророчила высокотемпературный сверхпроводник — H_3S , еще одно соединение, полученное под высоким давлением в 2014 г., которое также попадает в водородосодержащий класс «гидридов», — но даже в этом случае его создатели фактически пытались получить нечто другое. Давление, при котором разрушаются даже алмазы, необходимое, чтобы сохранить в целостности гидриды, делает маловероятным их практическое использование, но алгоритмы, с помощью которых они были предсказаны, наряду с другими достижениями в вычислительной технике обладают потенциалом, позволяющим сделать поиски более практичных сверхпроводников более систематизированными и, возможно, более плодотворными, чем когда-либо ранее.

Теория сверхпроводимости

« LaH_{10} воистину был послан нам богом», — говорит Сомаязулу, рассказывая о годах работы, которая привела к открытию этого материала. Чувствуется, что он возбужден, когда вспоминает минувшие события, словно все еще не верит, что сделал открытие. По его словам, он так и остался бы в тупике, «потерянным» и блуждающим в потемках, с «приблизительными представлениями» и «знанием химии на уровне средней школы», если бы не новые алгоритмы и их предсказания.

Но даже теперь, когда, словно по волшебству, был выкован LaH_{10} , его следующая задача — придумать, как проверить его на сверхпроводимость. С тех самых пор, когда в 1911 г. это явление было открыто — когда голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес наблюдал, как электрическое сопротивление ртутной проволоки, погруженной в жидкий гелий,

неожиданно исчезает при $4,2^\circ \text{K}$, — обнаружение новых сверхпроводящих материалов обычно предшествовало созданию теорий, которые этот эффект объясняли. Хотя сверхпроводимость оказалась на удивление широко распространенным явлением и было показано, что многие другие элементы становятся сверхпроводящими (все при температуре ниже 10°K), никто не мог найти ему объяснение до тех пор, пока в 1920-х гг. не была разработана квантовая механика. Объяснение построено на том, что электроны, ответственные за электрический ток, ведут себя одновременно как локальные частицы и как бегущие волны, — так, по утверждению квантовой механики, ведут себя и все другие субатомные частицы. На этой основе ученые Джон Бардин, Леон Купер и Джон Шриффер создали теорию, получившую название БКШ (по их инициалам), чтобы описать физику сверхпроводников, и опубликовали ее в 1957 г.

Эта теория построена на фундаментальном понимании учеными природы тока: внутри металла атомы (точнее, ядра атомов плюс несколько связанных электронов, образующих положительно заряженные ионы) создают кристаллическую решетку — структуру с регулярными расстояниями между ионами — плюс море свободных электронов, которые при приложении электрического потенциала текут сквозь решетку, образуя электрический ток. В обычных проводниках дефекты решетки и ее тепловые колебания препятствуют этому течению и вызывают сопротивление. В то же время, согласно БКШ-теории, электроны могут избежать этого трения с помощью квантового айкидо (яп. «*путь слияния жизненной энергии*». — *Примеч. пер.*), которое превращает колебания решетки из противника в помощника. Во-первых, при движении электронов вдоль кристаллической решетки они немного сдвигают атомы решетки в направлении своего течения (из-за притяжения между их отрицательным зарядом и положительным зарядом решетки). Этот сдвиг группирует положительные заряды вместе, и в результате концентрации положительного заряда сюда же вслед за первым притягивается и второй электрон — происходит связывание двух электронов в так называемые куперовские пары. Во-вторых, эти пары, теперь ведущие себя скорее как волны, а не частицы, частично перекрывают друг друга, синхронизируются и сливаются в одну большую волну, называемую конденсатом Бозе — Эйнштейна, которая слишком велика, чтобы испытывать сопротивление решетки, и поэтому течет сквозь нее, не ощущая ни малейшего сопротивления.

Теория БКШ привела ко многим успешным предсказаниям, включая так называемые критические температуры, выше которых сверхпроводники теряют свою сверхспособность. Тем не менее она, как правило, оказывается бесполезна для



Маддурри Сомаязулу несколько десятков лет пытался создать сверхпроводники, которые смогут работать при комнатной температуре

поиска новых сверхпроводников с высокой критической температурой. Кстати, самым успешным охотником за сверхпроводниками в истории был экспериментатор по имени Бернд Маттиас (Bernd Matthias), который сам считал, что теория БКШ не имеет никакого отношения к его поискам. В 1950–1970-е гг. Маттиас открыл сотни сверхпроводников (многие из которых были сплавами металлов), проводя в своей лаборатории исследования огромного количества различных материалов и руководствуясь главным образом пятью эмпирическими правилами, относящимися к свойствам материалов (например, «высокая степень симметрии — это плюс»), и одним универсальным принципом: «Держись подальше от теоретиков».

Но несмотря на множество побед Маттиаса, самая высокая критическая температура, наблюдаемая у сверхпроводников, с 1955 по 1973 г. выросла совсем ненамного, с 17 до 23°K . И таковой она оставалась вплоть до 1986 г., когда Георг Беднорц и Алекс Мюллер, два ученых компании IBM из Цюриха, обнаружили сверхпроводимость в одном из классов сложной многослойной керамики, называемой купратами (*семейства сложных соединений меди*. — *Примеч. пер.*). Эти материалы до сих пор держат рекорд температуры при нормальном давлении, который они установили в 1993 г.: 135°K . В отличие от Маттиаса Беднорц и Мюллер «имели

очень отчетливые теоретические представления о том, что они искали, — рассказывает физик Питер Литтлвуд (Peter Littlewood) из Чикагского университета. — Сегодня те идеи, вероятно, неверны.

Неверны, потому что они основывались на теории БКШ, а также из-за того, каким образом эта теория рассматривает роль колебаний атомов кристаллической решетки, или фононов, в формировании куперовских пар. Хотя считается, что такие пары и конденсат Бозе — Эйнштейна, который они образуют, лежат в основе сверхпроводимости купратов, многие специалисты сегодня полагают, что куперовские связи в купратах связаны с некоей формой прямого электромагнитного взаимодействия между электронами, а не с фононами, или, по крайней мере, в дополнение к ним. Увы, эти непосредственные взаимодействия настолько сложно математически моделировать, что более чем три десятилетия интенсивных исследований не привели к построению для купратов теории, эквивалентной БКШ, и даже к единой точке зрения на детали механизма спаривания электронов. Ученые сваливают купраты в смешанную категорию с несколькими другими классами сверхпроводников, свойства которых, по-видимому, зависят от различных типов непосредственного электрон-электронного взаимодействия. Эти материалы называются необычными сверхпроводниками, чтобы отличать их от обычных, с фононным механизмом образования куперовских пар, описанным теорией БКШ.

Так что Беднорц и Мюллер нашли именно то, что и искали, но это работало совсем не так, как, по их представлениям, должно было работать. Однако это пример обнаружения сверхпроводимости в силу благоприятных случайных обстоятельств. Так в 2006 г. ученые случайно наткнулись на сверхпроводники на основе железа (другой необычный класс сверхпроводников, для которых не существует теории, описывающей или предсказывающей их свойства), проводя исследования с целью усовершенствовать плоские экраны. «Практически всегда, когда обнаруживаются какие-то новые материалы со странными свойствами, — объясняет Литтлвуд, — это раскрывает нам новый механизм [спаривания электронов], о котором мы и не догадывались».

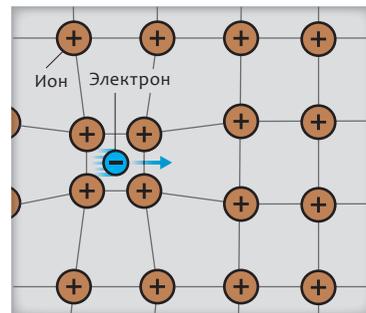
Температурный барьер

Сверхпроводимость любит холод, говорит Майкл Норман (Michael Norman), материаловед из Аргоннской лаборатории, потому что «температура просто вредна» для поддержания волновых квантовых свойств в макроскопических масштабах, что необходимо для их практического использования. Тепловая энергия стремится разорвать связи куперовских пар и разрушить согласованное квантовое состояние обладающего волновыми свойствами конденсата.

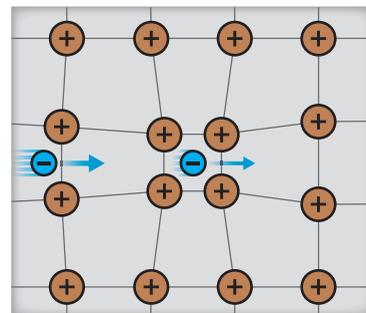
Основы теории сверхпроводников

Внутри сверхпроводника сложные квантово-механические эффекты позволяют электричеству течь без сопротивления. Теория, получившая название БКШ (по инициалам трех авторов открытия), описывает фундаментальную картину происходящего, хотя физики полагают, что детали явления во многих сверхпроводящих материалах более сложны. Согласно теории БКШ, процессы происходят примерно следующим образом:

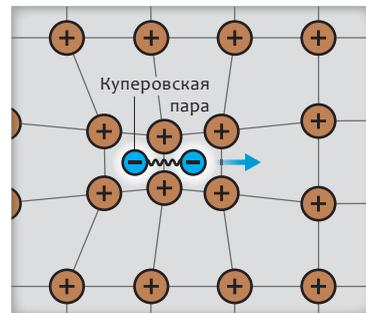
- 1 Когда отрицательно заряженный электрон проходит через решетку положительно заряженных ионов, ионы притягиваются к нему, деформируя решетку.



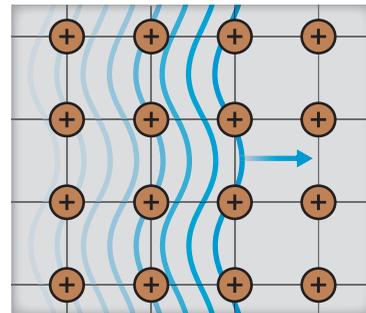
- 2 Возникшая в результате локальная концентрация положительного заряда притягивает другой электрон к первому.



- 3 Два электрона образуют связь, которая объединяет их в одну сущность, называемую куперовской парой.

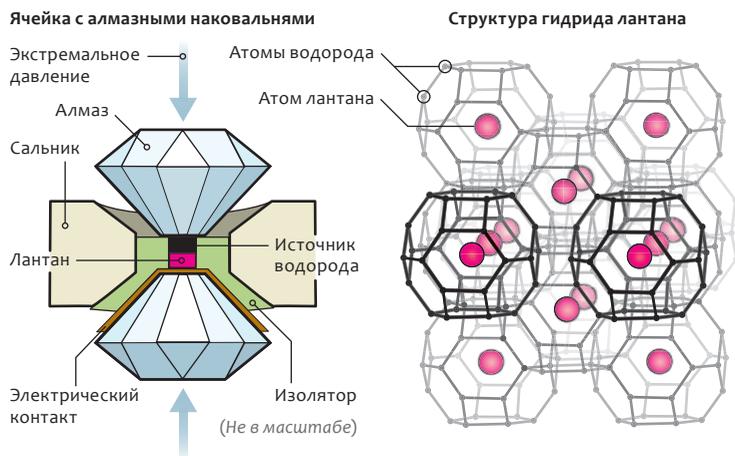


- 4 Большое число куперовских пар синхронизируются и объединяются в гигантскую волну, получившую название «конденсат Бозе — Эйнштейна»; она настолько велика, что свободно проходит сквозь решетку.



Гидрид лантана

Гидрид лантана, или LaH_{10} , самый высокотемпературный из известных сверхпроводников, может работать при удивительно высокой температуре $-8,3^\circ\text{C}$, а возможно и выше, хотя и при убийственно высоком давлении. Ученые получили LaH_{10} , используя так называемую ячейку с алмазными наковальнями, чтобы сжать водород и лантан. Получившийся в результате материал представляет собой решетку, в которой атомы водорода окружают один атом лантана (розовый) в структуре, напоминающей клетку, что, по-видимому, в наибольшей степени способствует сверхпроводимости.



Число пар в конденсате и сила связей, удерживающих электроны вместе, служат барьером тепловому разрушению. Критическая температура сверхпроводника представляет собой высоту этого барьера — выше этой точки он уже не может противостоять теплу. (Например, высокие температурные барьеры купратов, как полагают, — результат того, что непосредственное взаимодействие «электрон — электрон» в них образует более сильные связи куперовских пар, чем те, что возникают в результате механизма непрямого взаимодействия посредством фононов.)

И все же Норман утверждает: «Я не думаю, что кто-нибудь сейчас сомневается, что существует возможность получения сверхпроводника при комнатной температуре и нормальном давлении», — отчасти потому, что новые сверхпроводники и новые механизмы спаривания неуклонно множатся. Даже для обычных сверхпроводников не существует «фундаментального предела» критической температуры, говорит физик Военно-морской научной лаборатории в Вашингтоне Игорь Мазин (*Игорь Ильич Мазин — выпускник Московского института стали и сплавов 1977 г., с 1977 г. по 1990 г. работал в Физическом институте им. П. Лебедева АН СССР, лауреат премии Ленинского комсомола 1988 г. — Примеч. пер.*). Вместо этого, продолжает он, существует «нечто вроде статистического предела», то есть просто вероятность существования таких материалов меньше. Спаривание, обусловленное фононами, как правило, сильнее в более подверженных колебаниям атомных решетках (идеально жесткая решетка не может обладать обычной сверхпроводимостью, потому что необходимо, чтобы атомы решетки притягивались к электрону). Следовательно, исключительно устойчивое спаривание, необходимое для обычной высокотемпературной сверхпроводимости, по-видимому, требует особого типа кристаллической структуры, схожей с той, что искусные инженеры-конструкторы используют при проектировании

современных мостов, чтобы те сохраняли прочность, несмотря на изгибы под действием ветра.

Поэтому сверхпроводники, работающие при комнатной температуре, если они существуют, вне всякого сомнения, редки. Однако надежда произрастает из необъятности поля для поисков: приблизительно 100 стабильных элементов Периодической системы позволяют построить 4950 комбинаций из двух видов атомов, 161 700 — из трех и т.д. А если еще принять во внимание различия в стехиометрии (соотношении элементов в химическом соединении) и в структуре решетки, то возможности просто бесконечны. Так как же ученым найти этот исключительный материал в химическом стого сена?

Сверхпроводниковая мечта

Как-то утром в ноябре 2017 г. Сомаязулу ехал на машине на работу и ломал голову. Тест с целью подтвердить сверхпроводимость LaH_{10} никак не удался. Требовалась замена металлической прокладки в ячейке с алмазными наковальнями на изолирующий материал, чтобы при измерении сопротивления не происходило короткое замыкание. Но уже несколько месяцев из каждой из конструкций, которые они опробовали, газообразный водород улетучивался наружу. «Каждый день мы собирались вместе и обсуждали, и пробовали снова, — рассказывает Сомаязулу. — Все это вызывало глубокое разочарование».

И вот, когда он торчал в пробке, у него родилась идея: «А почему бы не использовать твердый источник водорода?» Сомаязулу подумал, что боран, или боран аммиака, богатое водородом вещество, о котором он знал из прошлых исследований, вероятно, выделяет водород именно так, как требуется. После нескольких месяцев отладки схема заработала. Он увидел, как сопротивление LaH_{10} стремительно падает при 265°K . Он быстро снял картинку с помощью своего мобильного, и тут же программа рабочего компьютера упала и алмазы в ячейке рассыпались. Фотография —

единственное, что осталось от минуты их торжества. Потребуется еще шесть месяцев, прежде чем они смогут все это повторить.

Сомаязулу потратил почти четверть века, пытаясь под давлением закачать водород в сверхпроводник. Это была мечта, которую Хемли преследовал несколько десятилетий, уверовав в предсказания, первое из которых сделал физик Нил Эшкрофт (Neil Ashcroft) из Корнеллского университета в 1968 г. Чтобы получить такой материал, возможно, потребуется давление в 10 млн атм., признался Эшкрофт в 1983 г., но, по его расчетам, второй элемент, добавленный в водород, вероятно, позволит снизить такие жесткие требования и, действуя как клин, расщепит молекулу H_2 , которую водород стремится образовать. Высвобожденные таким образом атомы водорода могли бы колебаться именно так, как необходимо для высокотемпературной сверхпроводимости: гибкие связи между ними будут способствовать сильной фононной связи между электронами, а их маленькая атомная масса будет побуждать фононы, которые колеблются с необычайно высокой частотой (а значит, обладают высокой энергией), что заставит большое число электронов перейти в конденсат Бозе — Эйнштейна.

В течение нескольких лет после переезда из Индии в 1994 г., чтобы работать с Хемли в качестве научного сотрудника в Институте науки Карнеги, Сомаязулу послушно измельчал и разогревал несметное число водородных смесей самыми различными способами, обнаружив множество интересных физических явлений, но никакой сверхпроводимости. «Я систематически пытаюсь легировать водород всем, чем возможно, — рассказывает он. — Я подвергаю его все большему и большему давлению, и ничего не происходит, и мне на ум приходит что-то вроде: "А не ошибался ли Эшкрофт?"»

Как оказалось, Эшкрофт оказался прав, но, чтобы доказать это, потребовалась помощь нового класса компьютерных программ «поиска структуры». Эти программы ищут подходящие химические соединения, перемещая атомы в виртуальном мире в поисках стабильной кристаллической структуры, которая, в соответствии со вторым законом термодинамики, обладает наименьшей способностью терять энергию в виде тепла. Некоторые программы используют подход эволюционного поиска, который начинается с группы кристаллических структур, сминает их, выбирает наиболее подходящие для размножения, а затем повторяет этот процесс до тех пор, пока не находит лучший вариант из лучших. Затем ученые используют метод БКШ, чтобы оценить потенциал этой структуры с точки зрения сверхпроводимости и для оценки критической температуры.

В 2012 г. в Китае научная группа под руководством Яньмина Ма (Yanming Ma) использовала одну из подобных программ, чтобы в русле

идей Эшкрофта предсказать, что гидрид кальция (CaH_2), возможно, удастся получить при давлениях, создаваемых в ячейках с алмазными наковальнями, и что он останется сверхпроводником при высокой температуре. Хемли и его группа вскоре после этого занялись легированием водорода кальцием, и они не были одиноки.

В 2014 г. в Германии ученые научной группы, возглавляемой Михаилом Еремцом (*Михаил Иванович Еремец — выпускник МИФИ, в 1978 г. защитил докторскую диссертацию в Институте общей физики и до 1991 г. работал в Институте физики высоких давлений в Троицке. С 2001 г. ведет исследования в Химическом институте Общества Макса Планка в Майнце. — Примеч. пер.*), проводя исследования в русле другого предсказания Ма — что сероводород (H_2S), ядовитый газ, который испускают гниющие яйца, перейдет в сверхпроводящее состояние при $80^\circ K$ под достаточно сильным давлением, — сжали вонючий газ в ячейке с алмазными наковальнями и увидели к своему удивлению, что он остается сверхпроводником даже при $203^\circ K$. Еремец случайно наткнулся на другое сверхпроводящее соединение, H_3S , державшее рекорд высокотемпературной сверхпроводимости до того, как был синтезирован LaH_{10} .

Научный поиск Хемли превратился в гонку преследования. В 2017 г. с помощью постдока Ханьюя Лю (HanYu Liu) из группы Ма он использовал алгоритм поиска структуры, чтобы предсказать LaH_{10} , и отдал своей группе приказ о выступлении, что привело к синтезу этого химического соединения. Еремец вскоре проделал это тоже; он подтвердил характерное падение сопротивления и совсем недавно с помощью всеобъемлющего набора всевозможных тестов подтвердил его согласованность с теорией БКШ. Экзамен сдан.

Эти открытия сочетают в себе элементы предвидения и случайности. Например, LaH_{10} вырос из предложения Хемли Лю сфокусировать свое внимание на химических соединениях с максимально возможным содержанием водорода с целью наилучшим образом приблизиться к первоначальной идее Эшкрофта. С другой стороны, считается, что LaH_{10} приобретает свои свойства высокотемпературной сверхпроводимости отчасти благодаря колебательным модам его особой кларатной структуры, когда атомы водорода окружают атом лантана «как тигра в клетке» — конфигурация, о которой теоретики «никогда бы не догадались», — говорит Эва Зурек (Eva Zurek), химик, ведущая структурный анализ в Университете Буффало. Но, то ли это так и было задумано, то ли стало приятным сюрпризом, новые программы неожиданно возвели теоретиков, таких как Ма или Зурек, на пьедестал и сделали их работы более актуальными для поиска сверхпроводников. «Я полагаю, экспериментаторы воспринимают нас более серьезно, нежели в прошлом», — говорит Зурек.

Принципы конструирования

То, что теоретики облегчили открытие H_3S и LaH_{10} , обычных сверхпроводников, к которым применима теория БКШ, — это одно дело. Но более удивительно то, что они смогли проделать то же самое и в случае необычных сверхпроводников, в отношении которых у физиков нет никакой рабочей теории.

Открытие LaH_{10} , вообще говоря, было не единственным большим событием в мире сверхпроводников в 2018 г. Другим стало открытие этого явления в двухслойном графене с повернутыми слоями. Графен — это лист атомов углерода толщиной в один атом, которые упакованы в гексагональную решетку. Двухслойный графен с повернутыми слоями состоит из двух таких листов, расположенных один над другим так, что их решетки повернуты относительно друг друга на некоторый угол. Несмотря на низкую критическую температуру (1,7° K), этот материал обладает необычно сильными связями своих куперовских пар. Его простая структура, построенная из одного элемента, породила надежду, что его можно изучить теоретически и что он, возможно, позволит пролить свет на необычную сверхпроводимость в целом. Это открытие находится на стыке между интуитивной прозорливостью и компьютерным предсказанием — «половина на половину», говорит Пабло Харийо-Эрреро (Pablo Jarillo-Herrero), руководитель группы Массачусетского технологического института, которой принадлежит это открытие. Материал становится сверхпроводником только при особом «волшебном» угле поворота в 1,1 градуса, величине, которая сначала выскочила из компьютерной модели. Все же, хотя теоретики верно предсказали, что этот угол вызывает резкий скачок во взаимодействиях «электрон — электрон», они не догадывались, что это приведет к сверхпроводимости. Это неожиданное открытие было сделано в лаборатории.

Тем не менее это открытие проливает свет на потенциал того, что Норман называет принципами конструирования: поддающиеся вычислению свойства, которые могут помочь предсказать сверхпроводимость даже в отсутствие всеобъемлющей теории. Первые пять правил Маттиаса были именно такими принципами, но исключения из каждого из них в конечном счете возникают при работе с необычными сверхпроводниками. Однако Норман в своей статье 2016 г. показал, что даже необычные сверхпроводники различных классов демонстрируют наводящие на определенные мысли аналогии, включая многие характеристики их фазовых диаграмм — графиков, которые показывают, как их свойства зависят от переменных, таких как давление и температура. Он также отметил, что слоистые квазидвумерные структуры, такие как купраты, по всей видимости, поддерживают высокие критические температуры и что

определенные кристаллические структуры обладают преимуществом. По мере того как появляются новые классы сверхпроводников, размышляет он, должны появиться новые принципы конструирования. Но даже сейчас, когда занесено в каталоги и подробно описано более 12 тыс. известных сверхпроводящих материалов, имеет смысл выяснить, существуют ли полезные, но еще не открытые принципы конструирования, прячущиеся в уже полученных данных.

Алгоритмы машинного обучения — это компьютерные программы, которые изменяют сами себя, когда получают дополнительные данные. В 2018 г. один из таких алгоритмов, настроенный на обработку базы данных тысяч химических соединений, выработал способность находить сверхпроводники (обычные и необычные) в других наборах данных с точностью 92% и оценивать их критические температуры. Более того, он проделал это, используя простые свойства элементов, такие как атомный вес и температура плавления. Но «совсем не факт, что алгоритмы машинного обучения способны это делать, — говорит ведущий автор исследования Валентин Станев (Valentin Stanev) из Университета Мэриленда. — Интересно посмотреть, как он это делает. На самом деле нужно понять, какие именно переменные использует машина [для предсказания]»

Станев отмечает, что самый главный принцип конструирования, который алгоритм нашел для критической температуры купратов, — это один из параметров (относящийся к числу электронов на внешних орбитах атомов химического соединения), на который, насколько ему известно, никто ранее не обращал внимания. Он надеется, что по мере того, как будут выявлены такие дополнительные переменные для предсказания, их можно будет использовать совместно, чтобы ускорить поиски новых и лучших сверхпроводников.

Вместо того чтобы надеяться на удачу в лабораторных исследованиях, замечает соавтор Станева, материаловед из Дюкского университета Стефано Куртароло (Stefano Curtarolo), «в результате машинного обучения будет выявлено подмножество соединений для дальнейших исследований. Экспериментаторы вместо того, чтобы изучать десять химических соединений и потратить на это год работы в лаборатории, проверят 10 тыс. соединений на компьютере, и это займет всего несколько недель».

Черная магия

Хотя теоретики начали предсказывать новые и интересные [с точки зрения сверхпроводимости] химические соединения, они все еще далеки от того, чтобы выработать пошаговые инструкции, как получать их в лаборатории. «Вы делаете что-то, что работает, — объясняет Сомаязулу,

описывая процесс синтеза материала. — И вы просто продолжаете делать ровно то же самое, чтобы заставить это работать, и у вас нет ни малейшего представления, почему вы все это делаете». Например, ему потребовалось шесть месяцев, чтобы повторить измерение сверхпроводимости LaH_{10} , поскольку ученые все еще устраняли ошибки методики создания этого соединения. Но они по крайней мере сумели синтезировать LaH_{10} , что не удалось сделать в случае с CaH_6 — соединением, [высокотемпературную сверхпроводимость] которого предсказали исследования Ма в 2012 г., но которое все еще неуловимо, несмотря на все попытки его синтезировать. А иттрий? Сомаязулу еще даже не приступал к иттрию. Гидрид иттрия (YH_{10}), как предполагают, — сверхпроводник при еще более высокой температуре, чем LaH_{10} , но поведение его в экспериментах Сомаязулу было просто ужасным. Например, его фокус с боразаном в случае гидрида иттрия не проходит — как не прошел он и с селеном при высоком давлении, хотя при низком все получалось. А вспомните, как Еремец случайно вышел на H_3S , когда охотился на H_2S . Ясно одно: синтез материалов все еще остается во многом черной магией.

Исследованиям структуры, в свою очередь, присущи свои собственные трудности. «Чтобы использовать алгоритмы, достаточно нажать клавишу, — замечает Зурек. — Но сам анализ может потребовать разного рода хитростей, и я не хотела бы, чтобы это выполнял не эксперт», — добавляет она с усмешкой. Чтобы выполнить поиск для данных стехиометрии и давления, в среднем требуется примерно неделя расчетов на суперкомпьютере, и для данной пары элементов интересными могут быть многие из таких комбинаций. Большой объем вычислений, а также хитрости анализа ограничивают большинство исследований соединениями, состоящими всего из двух элементов, при не слишком большом числе атомов в элементарной ячейке — фундаментальном строительном блоке кристалла. «Мы пока еще не можем надежно предсказывать систему, которая содержит три химических элемента и 50 атомов в элементарной ячейке», — объясняет Зурек.

Программы машинного обучения, с другой стороны, не требуют слишком больших вычислительных систем. Станев гоняет свою программу на ноутбуке. Их существенное ограничение, как и ограничение принципа конструирования в целом, заключается в том, что они могут только использовать данные, полученные при изучении известных сверхпроводников, что делает маловероятным открытие ими совершенно нового класса.

Что же касается LaH_{10} и других гидридов, их возможное значение зависит от того, кого именно вы спросите. Хемли, который недавно перебрался в Университет штата Иллинойс в Чикаго, надеется,

что они получили достаточное количество уроков, чтобы создать «материал-аналог», способный поддерживать высокотемпературную потенцию сверхпроводимости при нормальном давлении. Литтлвуд не видит причины, по которой это было бы невозможно. Хотя другие настроены скептически из-за наблюдаемой пока что ключевой роли в характеристиках сверхпроводников высокого давления. «Вы можете позволить себе получить сильную электрон-фононную связь, не разрушая кристалл, — говорит Мазин, — благодаря тому, что его целостность поддерживается внешним давлением».

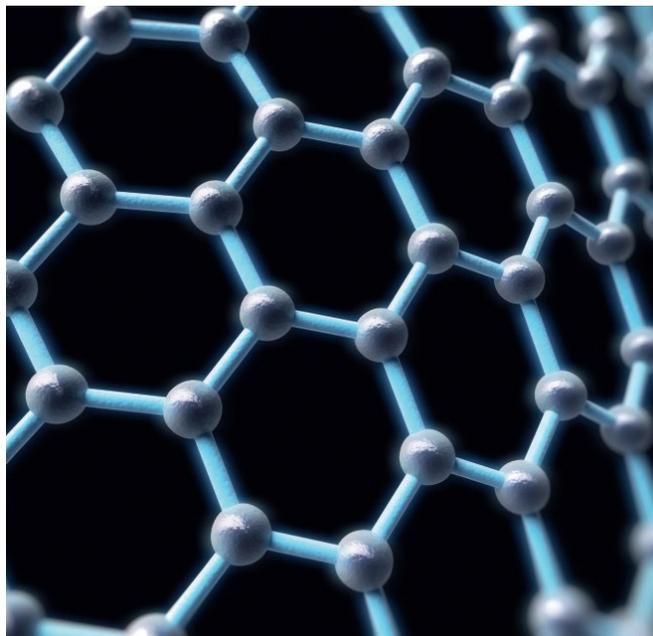
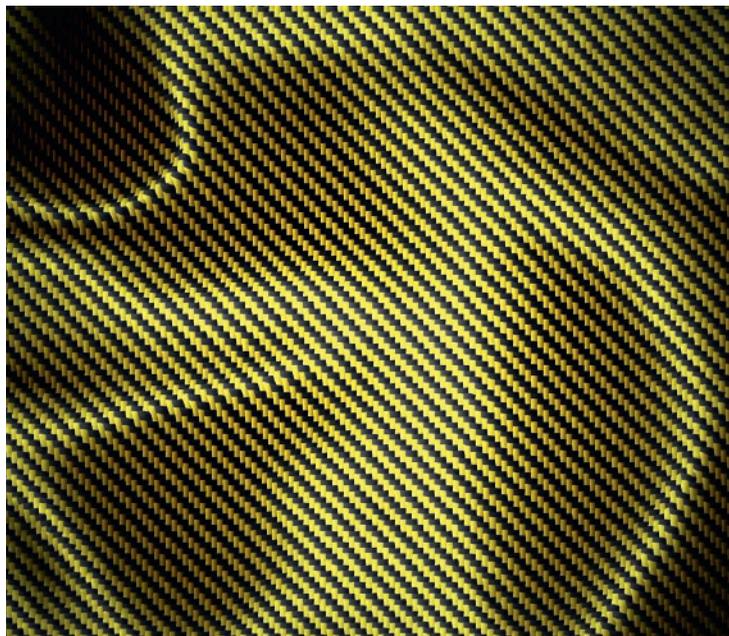
Если такой аналог и возможен, то он, вероятно, состоит по крайней мере из трех химических элементов, говорит Зурек, и, по мнению Мазина, имеет сложную кристаллическую структуру. В более общем смысле дуга высокотемпературных сверхпроводников, по-видимому, изгибается в сторону более сложных материалов. Одноэлементные сверхпроводники с критическими температурами от $0^\circ K$ до $9^\circ K$ были повержены металлическими сплавами Маттиаса, которые в свою очередь были превзойдены материалами с большим числом химических элементов и более сложными кристаллическими структурами. Если, как считают многие эксперты, главная надежда высокотемпературной мечты — еще неизвестный на сегодня класс сверхпроводников, то они, вероятно, расположены где-то глубоко на бесконечных рубежах периодической таблицы.

Сомаязулу, например, рад тому, что вместе с Маттиасом освободился от предубеждений в отношении теоретиков. В Аргоннской лаборатории он вдохновенно рассказывает о неудачных попытках получить CaH_6 : трудностях при попытке его создать и дискуссиях с теоретиками, которые он параллельно вел. Иногда теоретики учат чему-нибудь экспериментаторов. Иногда все наоборот. Для Сомаязулу самым важным уроком работы с гидридами стала эта новая «петля обратной связи» между экспериментами и теорией. «Каждый раз, когда ребята-теоретики делают предсказание, шансы 50 на 50, что это будет работать, — говорит он. — Но, по крайней мере, сейчас у нас этот пятидесятипроцентный шанс существует». ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Будько С., Кенфилд П. Низкотемпературная сверхпроводимость становится теплее // ВМН, № 7, 2005.
- Мойер М. Сверхпроводимость при комнатной температуре (12 событий, которые могут изменить мир) // ВМН, № 8–9, 2010.
- Superconductivity at 250 K in Lanthanum Hydride under High Pressures. A.P. Drozdov et al. in Nature, Vol. 569, pages 528–531; May 23, 2019.

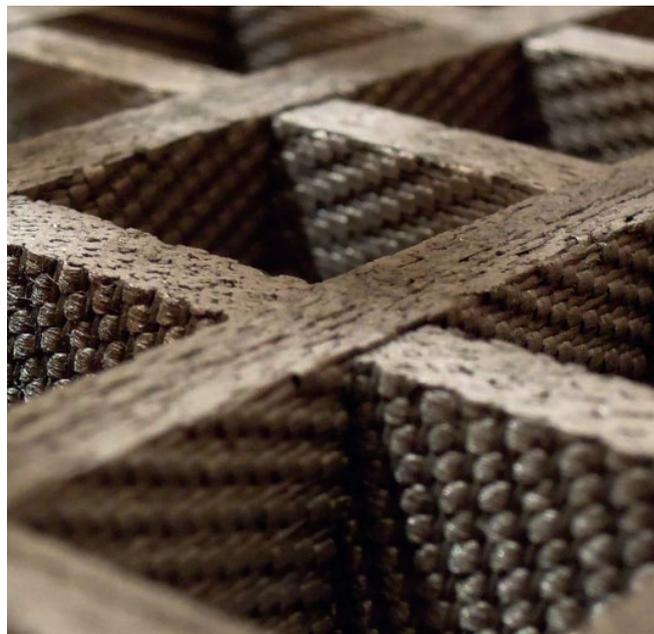
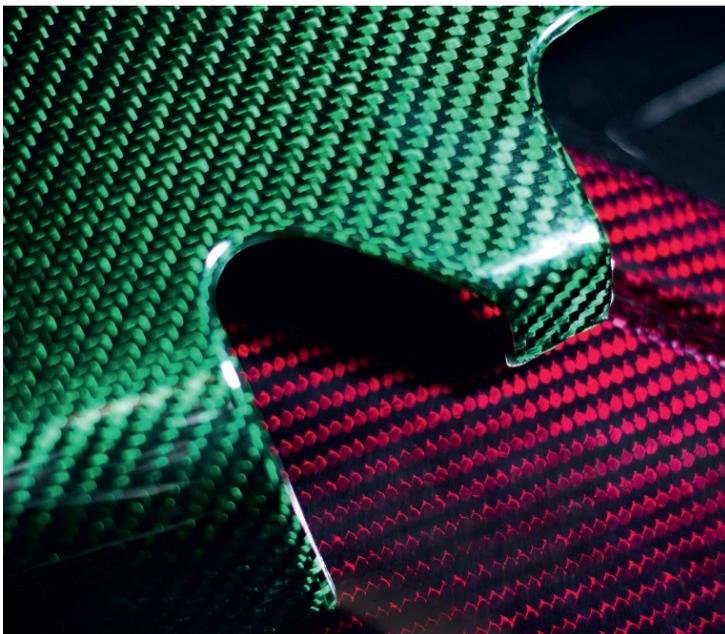


ФИЗИКА

ПРОЧНЕЕ,

В физическом корпусе Томского политехнического университета всегда царит оживление. После занятий никто не уходит домой, студенты обсуждают лекции, дискутируют друг с другом и с преподавателями. Здесь создана атмосфера, в которой зарождаются новые идеи.

О том, что это за идеи и как удастся их осуществлять, — наш разговор с **Романом Анатольевичем Сурменевым**, директором Научно-исследовательского центра «Физическое материаловедение и композитные материалы» Томского политехнического университета.



ЧЕМ КОСТЬ

— Роман Анатольевич, на входе в ваш корпус висит доска, гласящая о том, что здесь учился в аспирантуре будущий нобелевский лауреат по физике Н.Н. Семенов. Это накладывает какой-то отпечаток на вашу жизнь и работу?

— Да, конечно. Это дополнительная ответственность для нас и свидетельство того, каким важным направлением мы занимаемся. Сложно проводить соответствующие нобелевскому уровню исследования, но мы стараемся.

— А какие исследования нобелевского уровня вы стараетесь проводить?

— Наш центр занимается разработками в нескольких направлениях. Это биомедицинское материаловедение, а также модифицирование материалов для биомедицинского применения. В сотрудничестве с нашими коллегами мы ведем исследования по разработке новых материалов с использованием, в частности, аддитивных технологий. Это технологии, которые позволяют, если мы говорим о медицинских имплантатах, получать изделие для каждого конкретного клинического случая. В данном случае мы можем говорить о персонализированной медицине.

— Мы посетили вашу производственную базу, находящуюся в подвале этого корпуса, увидели удивительные установки. Можете пояснить, что это за кладовая чудес?

— Мы занимаемся получением металлических и полимерных материалов, а также композитов на основании полимерных материалов с различными неорганическими включениями. В одной из наших лабораторий находятся приборы и установки для получения полимерных композитов на основе полимерных материалов. В другой лаборатории есть оборудование для модифицирования поверхностных свойств различных материалов с использованием низкотемпературной ионно-плазменной обработки. Это означает, что мы можем в широких пределах контролировать поверхность топографию, смачиваемость, физикохимию поверхности — те ключевые свойства, которые как раз определяют поведение материала. Естественно, наша цель — создать такую поверхность или такой материал, который приживался бы в организме и выполнял свою функцию в течение заданного времени, что способствовало бы сокращению сроков лечения и определяло его эффективность.



Кандидат физико-математических наук Р.А. Сурменев

— Это ваша собственная разработка?

— Эта разработка нашего центра, которая начиналась довольно давно, а сейчас мы продолжаем это направление, стараемся его развивать.

— А как все начиналось? Кому эта идея пришла в голову?

— Моему учителю, профессору В.Ф. Пичугину, который в свое время стал заниматься биомедицинским направлением в ТПУ, в частности получением биоактивных покрытий на основе гидроксипатита с использованием метода высокочастотного магнетронного распыления. До него никто в нашей стране не осуществлял такие разработки этим способом. Тогда я еще был студентом, потом аспирантом. Начал заниматься научной работой, увлекся. Позже это стало темой моей кандидатской диссертации. А сейчас уже готова к представлению в совет докторская диссертация по данной тематике. Вообще, в ТПУ в рамках одного направления есть несколько научных групп, которые занимаются близкими материалами, но каждый работает в своей области, занимается чем-то новым.

— Чем же занимаетесь конкретно вы?

— Наш интерес в первую очередь направлен на пьезополимерные композиты, а также на металлические материалы, полученные аддитивными способами. Как я уже сказал, аддитивные способы позволяют получать материалы с заранее заданными свойствами и формой по изначально спроектированной компьютерной модели или с использованием компьютерной томографии. За этими материалами будущее, поэтому основной акцент нашей научной

работы делается именно на получение гибридных материалов на основе аддитивных способов. Или, говоря простым языком, — на использование в работе технологии трехмерной печати.

— Есть какой-то заказ на вашу работу?

— Мы очень активно взаимодействуем с зарубежными коллегами. Все исследования, которые мы проводим, — фундаментальные с перспективой практического использования. Наша основная цель — внедрение наших разработок. Но мы ученые, в нашей команде нет маркетологов, которые могли бы продвигать наши разработки на рынок. Естественно, мы открыты для сотрудничества. И на базе нашего университета есть необходимые структурные подразделения. Надеемся, что с их помощью наши фундаментальные исследования найдут практическое применение. У нас динамичное сотрудничество с учеными Сибирского государственного медицинского университета и учеными из других российских городов, в частности Саратова, Москвы.

— Но уже получается что-то внедрять? Или пока это только мечты?

— Я бы не сказал, что это мечты. Если говорить о биомедицинском направлении, мы активно работаем с медиками, биологами. Провели довольно широкую серию экспериментов на различных материалах с клеточными линиями, а также эксперименты с животными. Можно сказать, что доклиническую часть исследований мы прошли.

— С какими животными вы работаете?

— Мы работаем с крысами. Используем две модели. Первая — модель подкожной имплантации, вторая — модель костная.

Соответственно, если мы говорим о костной имплантации, то наши имплантаты должны выдерживать нагрузки, а если подразумеваем подкожную имплантацию, то тестируем общую биосовместимость. Для этого мы имплантируем животному какие-либо биологические материалы и смотрим, как наши материалы ведут себя в организме или как организм реагирует на вживление этих материалов.

— И как он реагирует?

— Пока все идет хорошо. Наша основная задача — выбрать те материалы, которые максимально стимулируют, если речь о сломанной кости, механизмы костеобразования. То есть эти материалы должны запускать остеоинтеграционные процессы между материалом и костью. В идеале наши материалы в конце концов должны резорбироваться, растворяться и стимулировать образование на месте этого материала костной ткани.

— Собственной костной ткани?

— Именно. Материалы выступают в роли так называемых скаффолдов. Это скаффолд-технологии, которые очень активно развиваются как на Западе, так и в России.

— Как себя чувствуют крысы?

— С ними все в порядке. Доклинические эксперименты показали перспективу этих разработок. Поэтому следующий этап — уже проведение клинических исследований.

— При каких заболеваниях это может быть применено у людей?

— У людей это может использоваться для устранения последствий травм костной системы или утраты костной ткани в результате различных несчастных случаев, осложнений онкологических заболеваний. В идеале наши материалы должны быть временной помощью, но при этом стимулировать формирование у пациента собственной ткани.

— Что представляют собой ваши материалы?

— Наши материалы — это полимерные образцы с различными включениями биоактивных неорганических наночастиц — стимуляторов остеогенеза. Они имеют пористую структуру для вставания костной ткани или миграции и инфильтрации клеток, а также образования кровеносных сосудов — ангиогенеза.

— Знаю, что ученые любят проводить опыты на себе, не раз наблюдала такое. Как с этим у вас? Скажите по секрету.

— В себя мы пока еще ничего не имплантировали. Слава богу, не было такой необходимости. Все-таки наши разработки

предназначены для людей с серьезными повреждениями. Хотя в наших планах — применение наших разработок и для раневых повязок. В данном случае мы сможем исследовать их и на себе.

— Раневые повязки при ожогах, порезах, язвах?

— Совершенно верно. Повязки должны способствовать образованию нового кожного покрова. Особенно это актуально при повреждении большой площади.

— Мы находимся в стенах учебного заведения, поэтому у вас много молодежи. Я видела, что и студенты, и аспиранты работают у вас очень воодушевленно, глаза у ребят горят. Мне не показалось?

Наши материалы — это полимерные образцы с различными включениями биоактивных неорганических наночастиц — стимуляторов остеогенеза. Они имеют пористую структуру для вставания костной ткани или миграции и инфильтрации клеток

— Нет. Я бы сказал, что аспиранты и студенты — двигатель прогресса. Без них мы бы всего этого не добились. Я считаю, что наш центр — один из ведущих в Томске. Поэтому студентам и аспирантам я отвожу существенную роль. Они выполняют ключевые задачи и делают это успешно. Например, у нас была аспирантка Светлана Шкарина. Она защитила диссертацию. Ее работа была посвящена как раз гибридным пористым пьезоматериалам, которые содержат неорганические включения, например кремний и стронций. Вы спрашивали о внедрении в практику. Так вот, эта работа завершилась таким внедрением в сотрудничестве с нашими коллегами из Института теоретической и экспериментальной биофизики в Пущине. Другие наши талантливые аспирантки, Ирина Грубова и Анна Иванова, успешно защитили диссертации с одновременным присвоением кандидатской степени и *PhD*. К сожалению, не могу всех перечислить, но еще приведу два примера — Екатерина Чудинова и Роман Чернозем.



Небольшая часть коллектива Научно-исследовательского центра «Физическое материаловедение и композитные материалы» Исследовательской школы химических и биомедицинских технологий ТПУ

Наша цель — не просто заниматься фундаментальными исследованиями, а понимать, где наша разработка может быть использована

Екатерина развивает аддитивные технологии, Роман — пьезополимерные материалы. Оба стали стипендиатами президента для обучения за рубежом, стипендиатами различных конкурсов, участниками и победителями грантовых программ.

А что касается других студентов и аспирантов — у нас их немало, в том числе из Китая и Индии. Молодежь перспективна. И молодежь, должен отметить, в науке может себя реализовать в большей степени, чем это было раньше. Это означает, что наше государство и политика нашей исследовательской школы химических и биомедицинских технологий (директор — профессор М.С. Юсубов, заместитель директора — профессор М.Е. Трусова) и всего университета в целом стимулируют привлечение талантливой молодежи, мотивируют молодых заниматься наукой. Поэтому я вижу здесь мощный задел для успешного будущего России. И очень важно наличие большого количества грантов, программ-стипендий не только для проведения фундаментальных исследований, но и для их

практической реализации. Конечно, они проходят на конкурсной основе, но они есть. Нужно участвовать в конкурсах, выигрывать, не только генерировать идеи, но и понимать, как их реализовать. Наша цель — не просто заниматься фундаментальными исследованиями, а понимать, где наша разработка может быть использована. То есть мы начинаем с конца.

— А это правильно? Ведь многие ученые говорят, что фундаментальная наука самоценна, и только потом из исследований, возможно, что-то получится, но может быть и нет.

— Наука состоит из различных областей. Если мы говорим о практическом использовании конкретных материалов, то все-таки должны сначала прийти к врачу и спросить, что ему нужно, а не рассказать о миллионах способов синтеза каких-то материалов, находящихся в нашей лаборатории. Врач вас послушает и скажет, что ему это не надо. В нашем случае это в первую очередь прикладная задача. А дальше мы, понимая эту задачу, должны подобрать конкретный материал или конкретный состав различных материалов и на основе этого провести тестирование. Наша работа — междисциплинарная. Конечный успех зависит от всей группы осуществляющих ее физиков, биологов, химиков или медиков. Это комплексная работа, где каждый выполняет свою важную функцию, а результат — общий на всех. ■

Беседовала Наталья Лескова

Всё, всем, всегда ДОСТУПНО



Номера журнала за все годы
читайте в **любом удобном** для вас формате

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

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

www.sciam.ru



Google play



**В мире
науки** SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИС
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧ



ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«У НАС НЕТ

ХИМИЯ

ПОСРЕДСТВЕННОСТЕЙ»

Чем химическая школа Томского политехнического отличается от остальных школ, почему молодому ученому в России во многом легче реализовать себя, чем за границей, и чем может удивить сегодня химическая наука — обо всем этом наш разговор с кандидатом химических наук Павлом Сергеевичем Постниковым, доцентом Исследовательской школы химических и биомедицинских технологий Томского политехнического университета.



Кандидат химических наук П.С. Постников

— Павел Сергеевич, ваша химическая лаборатория полна студентами, жизнь в ней кипит. Так происходит всегда?

— Всегда. В нашей исследовательской школе проводятся важные исследования в области как органической химии, так и химии поверхностей. Студенты — наше все. Мы исследовательская школа, и каждый из этих студентов — будущий профессиональный ученый. Мы занимаемся здесь не только научными исследованиями, но и подготовкой новых кадров для инновационной России, в том числе для нацпроекта «Наука». Наша цель — интегрированная магистерская и аспирантская программа, когда мы доводим студентов до кандидатской диссертации. Поэтому все эти студенты работают здесь каждый день. Вы верно подметили — это очень живая лаборатория, очень молодая. Мы можем с уверенностью утверждать, что в этом плане лидируем в Томске.

— Расскажите, чем конкретно вы занимаетесь.

— Наше традиционное направление — химия соединений гипервалентного иода. Его родоначальник в Томске — директор нашей исследовательской школы М.С. Юсубов. Здесь очень активно проводятся работы по химии материалов, в том числе поверхностной химии. Интересно, что в мир поверхностной химии мы пришли из химии органической. Мы посчитали, что как органики мы сможем привнести нечто новое и в химию новых материалов, и в методы их создания, и в их

практическое использование. С этого вся история началась, и сейчас мы добились действительно больших успехов в приложениях методов органической химии в абсолютно новой для нас области.

В частности, мы занимаемся сенсорикой — создаем сенсоры для особо опасных веществ. Это классические экотоксиканты, тяжелые металлы, пестициды в максимально экспрессном исполнении. Мы занимаемся материалами с контролируемой смачиваемостью. Это очень нужное для техники свойство, когда мы можем управлять каплей жидкости на поверхности. И третий аспект, некоторая конъюгирующая область, куда вошли как химия материалов, так и классическая органическая химия, — так называемый плазменный катализ. Эта тематика, наверное, сейчас самая трендовая в нашей лаборатории, она требует специфического методического аппарата, и мы уже добились в этом некоторых успехов.

— Давайте остановимся на химии поверхностей. Расскажите, что в этой области делается для того, чтобы получить результат.

— Это представители широкого класса диазониевых солей, которые обладают очень интересной способностью. При контакте с поверхностями они начинают самопроизвольно разлагаться, и в результате у нас органическая молекула напрямую пришивается к поверхности. Мы получаем некий гибрид — материал, который сохраняет свои физические свойства. Но мы

можем управлять именно поверхностными свойствами этого материала в широких пределах. В итоге мы получаем действительно уникальный — как с практической, так и с теоретической точки зрения — материал, обладающий новыми свойствами, и мы используем эти свойства. Важно, что для этого не нужно никаких сложных дорогостоящих установок — только вещество и обычный стеклянный стаканчик.

— **Это уже находит свое применение?**

— Потенциальное — определенно. Сейчас в большей степени наша задача — проведение фундаментальных исследований. Если действительно найдутся люди, которые захотят это применить, мы, конечно же, поможем.

— **Давайте пофантазируем, что вы закончили работу. Где конкретно вы видите такое применение?**

— Даже без фантазии — это, например, анализ воды. Сейчас проблема заключается в использовании достаточно громоздкого оборудования. Это рождает новые проблемы — отбор, консервация, транспорт проб, где должен работать высококвалифицированный профессионал, проведение анализа на заключительном этапе. Наши сенсоры работают на основе других принципов, и для анализа достаточно капли воды, отобранной непосредственно на месте. Это действительно большое достижение, которое может решить все перечисленные проблемы разом. Именно за эти технологии в прошлом году наш коллектив получил премию журнала «Сноб» «Сделано в России». Подобные сенсоры мы разрабатываем для определения пестицидов в почве или продуктах питания, а также для анализа биологически активных веществ, лекарственных препаратов на предмет фальсификации. Мы можем таким же методом определять, например, серосодержащие соединения в топливе, что тоже косвенно говорит о фальсификации. И это тоже очень большая проблема. Сейчас наши работы на указанные темы находятся на стадии опубликования.

— **Как выглядят эти сенсоры?**

— Маленькая пластинка, буквально 1×2 см, обычное стеклышко, покрытое тонким слоем золота.

— **Золота?**

— Слой золота там всего 25 нм, так что ювелирного интереса они не представляют.

— **Но для чего оно там нужно?**

— Золото создает аналитический сигнал на основе эффекта поверхностного плазмонного резонанса. Это явление позволяет добиваться высоких пределов обнаружения опасных веществ.

— **Для того чтобы произвести такой анализ, нужно, чтобы эти вещества попали в вашу лабораторию? Или вы, наоборот, можете выехать на место и произвести анализ?**

— Нам даже ехать никуда не нужно. Наша квалификация не нужна. Такой анализ может сделать практически любой человек. Это совершенно открытая информация, которой в принципе может воспользоваться каждый. Никаких секретов мы не делаем.

— **Но они у вас все же есть?**

Внутри исследовательской школы у нас не существует структурных подразделений, каких-то рамок и искусственных преград. Внутри школы есть научные лидеры, тесно взаимодействующие между собой. Уже есть совместные публикации, и мы понимаем, насколько удобнее нам стало работать

— Наверное, наш главный секрет — создание специфических исследовательских школ, благодаря чему все и стало возможным. Это был эксперимент, который сейчас можно считать абсолютно состоявшимся. У нас в университете была создана точка научного роста. В нашей школе на бюджетном финансировании находятся всего 15 человек, и они в науке делают столь много, что наши научные результаты весьма значимы. А произошло это по одной простой причине — был создан новый формат работ. Наш директор М.С. Юсубов довольно долгое время работал за рубежом, и для него стало интересным, как можно переместить зарубежную организационную модель науки в условия России. Мы считаем, ему это удалось. Внутри исследовательской школы у нас не существует структурных



Упаривание органических растворителей на роторном испарителе

подразделений, каких-то рамок и искусственных преград. Внутри школы есть научные лидеры, которые очень тесно взаимодействуют между собой. Примеры подобного взаимодействия мы видим. Уже есть совместные публикации, и мы понимаем, насколько удобнее нам стало работать. Именно такая модель способствует развитию междисциплинарных исследований, и это крайне важно. Наш вуз в данном случае стал междисциплинарной платформой, где основная задача — научная и образовательная деятельность. Формат исследовательской школы позволяет внедрить абсолютно новую концепцию. Мы начинаем готовить исследователей с первого курса магистратуры.

— **И уже есть выпускники?**

— Мы еще не успели выпустить наших профессиональных ученых, но они уже

на подходе. Совсем недавно моя аспирантка успешно защитила кандидатскую диссертацию, а неделей раньше получила и степень *PhD* в пражском Химико-технологическом университете. Вторая ключевая сторона этого процесса — активная включенность в мировую научную среду. Практически все преуспевающие магистранты и аспиранты в обязательном порядке должны пройти стажировку за рубежом.

— **Почему это важно? Разве здесь им нечему научиться?**

— Почти все эксперименты, особенно с точки зрения органической химии, можно проводить и здесь, но погружение в другой стиль работы, другие концепции, другую организационную модель крайне важно. Поэтому на выходе у нас — не просто опытный специалист, а ученый, который уже многое видел и способен, по сути, начинать организацию своей маленькой научной группы. Собственно говоря, в нашей практике такие примеры действительно есть и они реализуются. Недавний наш аспирант, который защитился в начале лета, уже сейчас формирует свое собственное научное направление в не менее интересной тематике — химии стабильных радикалов, в органической химии. Сейчас мы с уверенностью можем утверждать, что такая структурная модель, которая в свое время была революционной и, возможно, изначально порождала некое отторжение, действительно работает.

— **Скажите честно: нужны ли мы в этих зарубежных лабораториях?**

— Да, мы там очень востребованы. У меня еще не было прецедента, чтобы мои зарубежные коллеги, к которым приезжают студенты, хоть сколько-нибудь были недовольны качеством образования Томского политехнического университета. Это практика, важная как для самих ребят, так и для принимающей стороны. Сейчас мы тесно сотрудничаем с четырьмя лабораториями во Франции, двумя — в Германии и двумя — в Чехии. Поддерживаем отношения также с Испанией, Англией, Италией и Америкой.

— **Все ли возвращаются?**

— Нет, не все, но это нормально. Обратоно приезжает примерно половина.



Доцент П.С. Постников со студентами и аспирантами лаборатории

И ничего в этом страшного нет. Я считаю, что человек после окончания аспирантуры и успешной защиты кандидатской диссертации должен два года провести вне стен альма-матер. Это очень важно для его развития как будущего специалиста. А к вопросу невозвращения я отношусь абсолютно спокойно. Ведь что делают эти люди в стенах других университетов? Они начинают организовывать российскую науку, российское образование. И можем ли мы говорить, что это плохо? Я думаю, нет.

Мир науки — это мир мобильности. Сегодня нельзя делать работу в рамках одного узкого коллектива. Это неправильно, это чревато вырождением, застоем, болотом, когда идеи не поступают извне. Ни к чему хорошему это никогда не приводило.

— Не можем ли мы сказать, что лучшие уехали, а здесь остались посредственности?

— Нет. У нас нет посредственностей. Среди наших ребят очень много ярких представителей науки. С теми, кто уехал, мы продолжаем оставаться в близких дружеских отношениях. Остаются те, кто в большей степени нацелен на построение карьеры как таковой. Потому что здесь, в России, проще получить постоянную позицию. В нашей стране, особенно в нашей демократической исследовательской школе, очень просто начинать свое исследование, формирование собственных групп.

— Почему так?

— Потому что мы это поддерживаем. При этом это не говорит о том, что мы кидаем

Мир науки — это мир мобильности. Сегодня нельзя делать работу в рамках одного узкого коллектива. Это неправильно, это чревато вырождением, застоем, болотом, когда идеи не поступают извне

молодого человека, еще не умеющего плавать, в воду. Наоборот, мы стараемся его вырастить, чтобы он как можно быстрее создал собственную научную группу.

— А тем, кто уехал, это сделать нельзя?

— У них обычно другие приоритеты — например, знакомство с другими культурами. Очевидно, что сейчас на Западе построить научную карьеру сложнее, чем в России, потому что западный рынок весьма перенасыщен и получить постоянную позицию в западном университете практически невозможно (но все-таки можно). А у нас — вполне. Поэтому, отвечая на ваш вопрос, могу сказать: да, лучшие уезжают — но и остаются лучшие. Мы растим большое дерево, которое разветвляется во все стороны, дает множество побегов и приносит свои плоды. Надеюсь, будет приносить и впредь. ■

Беседовала Наталия Лескова



ОБРАЗОВАНИЕ

УМНЫЙ СТАРТ

Дети, посещающие детские сады, в которых поощряются речевые игры и задания, связанные с концентрацией внимания, добиваются бóльших успехов в школе и в дальнейшей жизни

Лиза Гернси

ОБ АВТОРЕ

Лиза Гернси (Lisa Guernsey) — директор программы «Обучение и технологии» и старший советник программы «Политика в области дошкольного и младшего школьного образования» научного центра «Новая Америка» в Вашингтоне, округ Колумбия.



Дон Брэдли (Dawn Bradley), педагог дошкольного образования, провела достаточно времени с детьми возрастом от трех до пяти лет, чтобы понять, что зачастую они не получают того признания, которого заслуживают. Дон рассказывает: «Детям просто говорят, чтобы они выполняли указания или отвечали только на вопросы "да" и "нет"». Но в течение пяти лет преподавания в школе *Libertas* в Мемфисе, штат Теннесси, Брэдли постоянно наблюдала, как дети пытаются решить математические задачки до тех пор, пока не получают правильный ответ, учатся вести себя вежливо, если случайно столкнутся с другом, и задают умные вопросы о частях тела насекомых или особенностях протекающей поблизости реки Миссисипи.

В США во многих дошкольных учреждениях детей просят лишь определить форму предмета или назвать буквы и сидеть тихо на ковриках, когда им рассказывают сказки и истории. Однако данные все большего количества исследований переворачивают представления о том, каким может быть раннее образование. Исследования подтверждают то, что наблюдает Брэдли в своей работе: когда дети обучаются определенным навыкам, таким как способность концентрировать внимание, — навыкам, развивающимся, если учителя используют игры и беседы, побуждающие детей думать о том, что они делают, — впоследствии они добиваются большего успеха и в учебе, и в повседневной жизни. Результаты опубликованного в 2018 г. исследования, в котором прослеживали судьбу детей в течение десяти лет, начиная с детского сада, свидетельствуют о том, что малыши, занимавшиеся с учителями, специально обученными развивать

такие способности, могут получать более высокие оценки по сравнению с теми, кто не имел такой подготовки.

Политики регулярно обещают дать больше денег на дошкольное образование, но теперь на сцене появился новый участник, особенно заинтересованный в новом подходе. Около года назад Джефф Безос, один из богатейших людей в мире, дал обязательство пожертвовать по меньшей мере \$1 млрд на создание сети детских садов, доступных для детей из малообеспеченных семей. На это Безоса вдохновила программа Монтессори, по которой он, когда был маленьким, занимался в Альбукерке, штат Нью-Мексико. Во многих программах Монтессори основной акцент делается на такого рода игровую активность и принятие решений. Инициатива Безоса пока еще прорабатывается, и не сообщалось, сколько денег будет потрачено. Но, по мнению специалистов, для того чтобы принести

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Во многих детских садах детей учат буквам и цифрам, но новые исследования демонстрируют, что в раннем образовании должны быть другие приоритеты.
- Речевые навыки, приобретаемые в ходе бесед и направляемой игры, формируют серьезную основу для будущих достижений в учебе.
- Способность сосредоточиваться и контролировать импульсы, которую можно развивать с помощью игр, где требуется делать выбор, также оказывает положительное влияние в течение долгого времени.



Освобождая фруктовые зерна от шелухи, малыш из государственного детского сада Монтессори, развлекаясь, развивает способность сосредоточиваться и учиться

пользу детям, любая программа должна сосредоточиться по крайней мере на двух основных навыках: управлении поведением (управляющих функциях) и устной речи.

Управляющие функции включают комплекс когнитивных навыков, таких как способность запоминать и удерживать в памяти определенную идею, а затем вспомнить о ней через короткое время (рабочая память), способность контролировать импульсы и эмоции и гибкость в переключении внимания с одной задачи на другую. Навыки устной речи означают не просто говорение, а использование звуков и слов в связном разговоре с постепенным усложнением структуры предложений.

«Это основы, определяющие успех в будущем, — говорит Роберт Пьянта (Robert C. Pianta), декан Школы образования и развития человека им. Джабеза Ламара Монро Карри Виргинского университета. — И чем больше мы о них узнаем, тем больше понимаем, что находится в основе учебных навыков, которые ценятся». Преимущества в долгосрочной перспективе имеют огромное значение для детей из семей с низким доходом. Именно на них рассчитаны многие государственные дошкольные программы, а исследования показывают, что такие дети, идущие в первый класс, чаще отстают от своих сверстников в том, что касается грамотности и навыков решения математических задач.

Фактор внимания

Чуть ранее в этом году в 10:00 утра около деревянного столика в вашингтонской государственной чартерной школе «Прорыв по Монтессори» стояла девочка трех с половиной лет. Малышка в розовом

платье с аккуратно заплетенными тугими косичками держала в руке свежий гранат и смотрела на пустую стеклянную миску, поставленную ее педагогом Мариссой Хаусер (Marissa Howser) рядом с другими предметами, подобранными для тщательно продуманных вариантов занятий, которые дети могут выбрать. Каждое из таких занятий направлено на формирование новых навыков, таких как выполнение задания без помощи взрослых и развитие мелкой моторики и координации движений.

Занятие с гранатом давало стимул — возможность перекусить, поэтому девочка с нетерпением приступила к выполнению задачи: отделению глянцевых красных зерен от белой мякоти. Крошечными пальчиками она вытаскивала и вытягивала зерна, лицо сосредоточенное. «О, вот одно!» — вдруг воскликнула девочка и, бросив зернышко в миску, стала дальше отделять зерна,

действуя по меньшей мере в течение 20 минут без вмешательства или инструкций со стороны педагога.

Может показаться, что такое занятие — освобождение фрукта от зерен, стоя около столика, — вряд ли похоже на очевидный первый шаг на пути к успеху в школе и жизни. Однако несколько десятилетий назад когнитивисты и исследователи поведения начали изучать, как и когда у детей развивается способность к «саморегуляции» — знание о том, когда контролировать эмоции и как доводить дело до конца, даже если оно может быть трудным. Настойчивое стремление девочки отделить скользкие зерна граната продемонстрировало такого рода доведение дела до конца. (Термины «саморегуляция» и «управляющая функция» иногда используются как синонимы.)

Клэнси Блэр (Clancy Blair), профессор психологии развития в Нью-Йоркском университете, был одним из первых исследователей, разработавших эксперименты для того, чтобы понять, как работают управляющие функции у маленьких детей. «Я начал с рассмотрения того, что влияет на развитие управляющих функций, — говорит Блэр. — Можно ли это культивировать? Можно ли это развивать?»

В некоторых экспериментах, проведенных Блэром и другими исследователями, детей просили играть в игры, в которых от них требовалось запомнить правила и сопротивляться побуждению сделать что-то иное. Например, в одной игре использовалось постукивание палочкой: когда исследователь постучал один раз, дети должны были постучать дважды, и наоборот. В 2005 г. Блэр сообщил, что стресс серьезно воздействует

на выполнение такой задачи. Исследователь определял концентрацию гормона стресса — кортизола — в слюне участников игры. Когда концентрация гормона резко повышалась, а затем падала — признак того, что уровень стресса тоже снижался, — дети лучше запоминали правила игры. Успешность выполнения задачи зависела не только от повторения, но и от снижения уровня стресса во время осуществления деятельности.

Кроме создания условий, позволяющих маленьким детям оставаться достаточно спокойными, чтобы они могли сосредоточиться, им также необходимо иметь возможность попрактиковаться в такого рода концентрации. Меган Макклелланд (Megan McClelland), исследовательница из Орегонского университета, занимающаяся вопросами развития детей, вместе с коллегой Шоной Томиной (Shauna Tominey) разработали комплект из шести игр под названием «Красный свет, фиолетовый свет», чтобы посмотреть, смогут ли они помочь детям. Одна из игр похожа на игру «Саймон говорит»: по правилам вы не должны делать что-то, пока не получите соответствующее указание. В другой игре детей просят танцевать, пока музыка играет, и замереть, как только она останавливается. В 2015 г. Сара Шмитт (Sara Schmitt) из Университета Пердью вместе с коллегами, в том числе и Меган Макклелланд, провели исследования с участием 276 детей из *Head Start* — финансируемой из федерального бюджета программы для дошкольников из малообеспеченных семей. Выяснилось, что у детей, игравших в эти игры дважды в неделю, наблюдалось более развитое управление поведением по сравнению с контрольной группой. Исследователи также обнаружили значимую взаимосвязь между более высокой оценкой управляющих функций и более высокими баллами по математике среди испаноязычных учеников, изучающих английский язык.

Возможность проявить независимость и самостоятельность также может быть важным компонентом. В исследовании, опубликованном в 2018 г. в *Journal of Applied Developmental Psychology*, прослеживается взаимосвязь между улучшением управляющих функций у детей и тем, насколько взрослые предоставляют им самостоятельность. Эти результаты поддерживают интерес к модели Монтессори, в которой детям дают возможность выбрать игры, демонстрирующие, на что они способны, будь это сопоставление предметов одинакового цвета или подготовка перекуса для группы. Результаты нескольких исследований, в которых занимающихся по программе Монтессори детей из малообеспеченных семей сравнивали с другими детьми из бедных семей, показали, что занимающиеся по программе Монтессори набирали более высокие баллы в тестах по оценке управляющих функций. Исследователи предположили, что

одна из причин — акцент на независимом выборе, который делается в таких детских садах.

Еще один исследуемый подход — это *Tools of the Mind* («Инструменты разума»), в котором для обучения используется сочетание активности, связанной с решением математических задач и выполнением заданий на грамотность, и сюжетно-ролевых игр с костюмами и реквизитом; кроме того, детям выделено время, чтобы они могли рассказать о своих планах. Дебора Леонг (Deborah Leong), почетный профессор Университета Метрополитен в Денвере, разработавшая программу совместно с психологом — специалистом по развитию детей Еленой Бодровой, сказала, что они хотели стимулировать процесс обучения, но при этом сделать школу «более демократичной и обойтись без зубрежки и натаскивания».

В одном из вариантов для подготовительных классов используется серия книг «Волшебный дом на дереве» о приключениях двух детей, Джека и Энни, которые путешествуют во времени и попадают в разные эпохи, страны и природные ландшафты по всему миру. Ученики могут представить себя в роли Джека и Энни, исследующих дождевой лес. Надевая костюмы и закрепляя рюкзаки, дети говорят о своих планах, будущих приключениях и распределяют роли. Метод *Tools of the Mind* также используется и на более ранних этапах дошкольного образования, но в данном случае он основан не на книгах. Детей просят сыграть роли в знакомых условиях, например управлять рестораном в их общине или отправить письма на почте, при этом педагог ненавязчиво их направляет, но решения о том, как выполнить задачу, они принимают сами. «В классе *Tools of the Mind* степень вовлеченности невероятна, — говорит педагог дошкольного образования начальной школы Gillett в Висконсине Лесли Пекарек (Leslie Pekarek), применяющая этот метод уже четыре года. — Когда дети участвуют в планировании игры, она нравится им гораздо больше. Кажется, будто это их собственная идея».

Адель Даймонд (Adele Diamond), специалист по когнитивному развитию, нейробиолог из Университета Британской Колумбии, — одна из нескольких исследователей, занимающихся изучением результатов применения метода *Tools of the Mind*. В 2007 г. в журнале *Science* была опубликована статья об исследовании, в котором Даймонд с соавторами сравнили 147 детей возрастом в среднем около пяти лет. Все дети были из одних и тех же районов города и занимались с педагогами, имеющими одинаковые ресурсы и уровень подготовки. Но в одной группе педагоги использовали метод *Tools of the Mind*, а в другой группе дети проходили более традиционный, ориентированный на повышение грамотности курс обучения. После года обучения ребята из классов *Tools of the Mind* показали лучшие результаты при



Учебные игры «Красный свет, фиолетовый свет», в которых используется и танец, помогают детям научиться управлять импульсами и эмоциями

выполнении задач, связанных с управляющими функциями, по сравнению с детьми из «группы грамотности». С тех пор программа *Tools of the Mind* была переработана, чтобы учителям было проще ее использовать и модифицировать. Исследование результатов применения обновленной версии программы, проведенное в 2014 г. Клэнси Блэром и его коллегой из Нью-Йоркского университета Сибел Рэйвер (С. Cybele Raver), показало, что дети из группы *Tools of the Mind* в 29 школах также приобрели учебные навыки.

Предмет обсуждения

В программе *Tools of the Mind* или при сходном подходе дети не просто учатся планировать и исполнять роли. Они также развивают речевые навыки — второй комплекс базовых способностей, на котором акцентированы исследования. Педагоги и учителя замечают эти навыки, когда раздраженные дети прекращают истерику или по крайней мере снижают ее накал и начинают «пользоваться своими словами». Такая способность не только упрощает жизнь взрослым, но и дает детям возможность разговаривать со своими сверстниками и слушать их таким образом, что помогает установить дружеские отношения. Кроме того, дети могут задать педагогам или другим взрослым вопросы обо всем новом, что они видят в книгах или на видео. Когда дети переходят в подготовительный и первый класс, такие речевые навыки связаны с их способностью читать и понимать тексты.

Соня Кэйбелл (Sonia Q. Cabell), исследователь проблем грамотности из Университета штата

Флорида, говорит, что крайне важно развивать эти навыки с самого раннего возраста, потому что в дальнейшем от них будет зависеть более сложный подход к языку и обучению. Соня добавляет, что если становление начинается медленно, то трудно сократить отставание и пробелы станут еще больше: «Отстающие не стремятся нагнать».

Представления об устной речи и грамотности берут начало в более ранних исследованиях, посвященных тому, как помочь детям научиться читать. Начавшиеся в конце 1980-х гг. исследования показали, что простое чтение книг с картинками маленьким детям не так эффективно, как чтение с паузами для вовлечения ребенка в диалог — «диалогическое» чтение. Диалог о книге помогал детям выучить новые слова и понять значение истории. Часто упоминаемое исследование 2002 г. продемонстрировало, что различия в том, как педагог разговаривает на занятиях —

читая книгу или в другие моменты, — может влиять на то, как дети в подготовительном классе учатся языку. В исследовании, в котором приняли участие более 300 детей со всего Чикаго из семей с разным социальным и экономическим положением, выяснилось, что дети, занимавшиеся с педагогами, использовавшими в речи сложноподчиненные предложения, сами значительно чаще стали употреблять сложные предложения через год обучения. У тех же, кто занимался с педагогами, чья речь была проще (например, намного реже употреблялись сложноподчиненные предложения с несколькими придаточными), таких результатов не наблюдалось.

Сегодня все больше данных свидетельствуют: более частое использование диалогов со сложными предложениями в разговорах с детьми помогает им в обретении навыков устной речи и закладывает основу для чтения и письма. Например, в исследовании с участием 417 детей из подготовительных классов (статья о котором опубликована в этом году в *Early Education and Development*) Кэйбелл с коллегами изучали, как в разных районах США педагоги читают книги. Выяснилось, что «экстратекстуальная» беседа — моменты, когда педагог делает паузу, чтобы акцентировать внимание детей на каких-то местах в рассказе и задать несколько неформальных вопросов об этом, — имеет большое значение для формирования общей грамотности и речевых навыков детей. Некоторые ученые в настоящее время применяют такие данные о стилях речи педагогов в экспериментах, направленных на поиск методов помощи детям с задержками развития.

Сьюзен Левайн (Susan C. Levine), профессор психологии Чикагского университета, — одна из ученых, проводивших в 2002 г. исследование, посвященное влиянию на учеников сложности речи педагога на занятиях. Сьюзен также изучает, как влияет на развитие способности детей оперировать числами то, каким образом взрослые, родители или учителя, говорят о математике. Для исследования 2006 г. Сьюзен часами проводила мониторинг взаимодействий «педагог — дошкольник». Через год выяснилось, что чем больше педагог использовал слова, связанные с математикой, — фразы, наподобие «разделим поровну» и «все трое можете мне помочь», — тем более высокие баллы набирали ученики в математических тестах.

Стратегии, поощряющие ведение диалога, также представляют собой часть программы *Tools of the Mind*. Леонг говорит, что программа разрабатывалась таким образом, чтобы дети «сначала говорили друг с другом, и лишь потом к ним обращался педагог. Так у них больше практики». Дети учатся не только выражать свои мысли и пользоваться новыми словами, но и слушать друг друга. «Таким образом, — отмечает Леонг, — в аудитории все равны и создается сообщество учеников, где дети ценят мнение друг друга».

Для того чтобы способствовать такого рода беседам, педагоги должны заранее планировать и подготавливать занятия, обеспечивающие ощущение справедливости и упорядоченности в аудитории. Изучая экстратекстуальные беседы, Кэйбелл с коллегами установили, что только в случае высокоорганизованных сеансов чтения беседа о содержании книги влияет на то, насколько хорошо дети заучивают новые слова. Когда занятия имели более хаотичный характер, педагогам реже удавалось вовлечь детей в диалог, который стимулирует развитие их речи.

Меган Макклелланд полагает, что, независимо от того, какой именно метод используется, возможно, многие подобные стратегии, направленные на развитие устной речи и управляющих функций, действуют совместно и взаимосвязаны. Педагоги, предоставляющие детям возможность сделать выбор, способствуют развитию навыков управления поведением, которые потом помогают детям концентрировать внимание и держать под контролем свои эмоции. Такие навыки в свою очередь могут пригодиться детям при решении математических задач и приводят к тому, что дети стараются использовать новые слова и сложные предложения, а это помогает им учиться читать и влияет на успеваемость в школе. Все вышеперечисленное способствует снижению стрессовой нагрузки, и дети больше способны регулировать свое поведение. Вероятно, именно из-за тесных взаимосвязей между указанными комплексами навыков они так важны на протяжении всей жизни. «Все это развивается вместе», — говорит Макклелланд.

Уравнивание возможностей

Долгосрочные эффекты демонстрируют, насколько прискорбно то, что большинство детей из малообеспеченных семей не имеют доступа к хорошим программам для дошкольников. В нескольких штатах (Оклахоме, Западной Виргинии и в Вашингтоне, округ Колумбия) внедрили бесплатные дошкольные программы для всех жителей, желающих записать в них своих детей, но в большинстве штатов доступ к программам ограничен, а в некоторых штатах вообще нет дошкольного образования. По данным Национальной ассоциации *Head Start*, в настоящее время программа *Head Start*, предназначенная для детей из бедных и приемных семей, бездомных детей и детей с ограниченными возможностями, доступна лишь 31% имеющего на это право населения. Национальный исследовательский институт начального образования при Рутгерском университете, отслеживающий уровень подготовки учителей, так же как и другие показатели качества дошкольных программ, финансируемых государством, выявил, что всего 9% дошкольников по всей стране посещают государственные программы, имеющие высокие баллы по всем или почти всем показателям качества.

Такой недостаток имеет долговременные последствия. Исследование результатов обучения маленьких детей показывает, что чем выше качество программы, тем больших успехов дети достигают к концу обучения в средней школе и во взрослой жизни. Недавно проведенный анализ эффективности 21 государственной дошкольной программы, опубликованный в этом году некоммерческим Институтом учебной политики, показал, что программы высокого качества «помогают сократить разрыв между теми, кто воспитывался в малообеспеченных семьях, и их более богатыми сверстниками в том, что касается успеваемости в школе и результатов в дальнейшей жизни». К таким результатам относятся более высокая вероятность окончить среднюю школу и получить работу и меньшая вероятность оказаться в тюрьме.

В настоящее время имеются свидетельства того, что хорошая дошкольная программа может оказать влияние на целые поколения. В новом исследовании нобелевского лауреата экономиста Джеймса Хекмана (James J. Heckman) из Чикагского университета и экономиста Ганеша Карапакулы (Ganesh Karapakula) из Йельского университета прослеживали эффект программы «Дошкольный проект Перри» (*Perry Preschool Project*), начатой в Мичигане в 1960-х гг. В этом проекте использовалась образовательная программа *HighScope* («Большой размах»), которая и сейчас реализуется в некоторых детских садах и в которой так же, как в программе Монтессори и *Tools of the Mind*, особое внимание уделяется развитию управляющей функции и речи. Хекман и Карапакула

обнаружили, что дети тех, кто сам в детском возрасте посещал занятия по программе Перри, лучше учились в школе, имели меньше проблем с дисциплиной и законом, а некоторые даже отличались более крепким здоровьем в сопоставлении с детьми из группы сравнения.

Обучение учителей

Как показывает исследование, для дошкольных программ такого качества требуются квалифицированные педагоги. Следовательно, если правительства когда-нибудь доведут дело до конца и будут вкладывать больше средств в дошкольные программы и если будет создана сеть детских садов Безоса, руководителям придется уделять столько же внимания подготовке педагогов, сколько и обучению детей. «Развитие навыков устной речи и управления поведением явно должно быть частью программы занятий в классе, а не иметь случайный характер, — говорит Роберт Пьянта из Виргинского университета. — Это не просто вдалбливание букв или подход "пусть играют"».

Ученые выявили эффект подготовки педагога в ходе исследований, начавшихся в середине 2000-х гг. Исследователи прослеживали успехи сотен детей в дошкольных учреждениях Чикаго, в которых используется программа *Head Start*. Половина детей занимались с педагогами, обученными методами, способствующим развитию управляющих функций, а педагогов другой половины детей такой подготовки не имели. Педагогов учили, как поддерживать детей в управлении их эмоциями и как организовать аудиторию, но при этом не быть диктатором. Тестируя детей до окончания подготовительного класса и по окончании, исследователи, возглавляемые Сибел Рэйвер из Нью-Йоркского университета, обнаружили, что дети, занимавшиеся с подготовленными педагогами, обладали более развитыми навыками учебы и саморегуляции по сравнению с другими детьми. Десять лет спустя ученые продолжили исследование с участием этих же детей, теперь уже тинейджеров, чтобы выяснить, сохранился ли наблюдавшийся ранее эффект. Результат был опубликован в 2018 г. в *PLOS ONE*. Оказалось, что эффект сохранился: эти ученики имели более высокие оценки.

Другие способы подготовки учителей связаны с использованием методов, которые заставляют взрослых размышлять над тем, что именно они делают каждый день в процессе взаимодействия с детьми. Наблюдатели сидят на задних рядах в классной комнате и делают заметки о способности учителя подробно останавливаться на комментариях детей с одновременным введением новых слов, перенаправлять внимание учеников, когда они отвлекаются, признавать их индивидуальные нужды, внимательно реагировать на их вопросы или жалобы и т.д. Затем такие заметки

используют для оценки обстановки в классе по одной из существующих количественных шкал. Одна из подобных шкал, теперь обязательная в программе *Head Start*, — балльная система оценки классов, разработанная исследователями Виргинского университета, по которой оценивается взаимодействие педагога с детьми, в том числе в форме дискуссий.

Программы подготовки педагогов также все чаще начинают использовать как средство для поддержки учителей с учетом специфики их классов. Инструкторы получают данные оценок обстановки и отправляются в класс, чтобы на деле продемонстрировать новые методы. «Если взрослый рассеян и делает десять разных дел одновременно, [вероятно] так же будет поступать и ребенок», — рассказывает Элизабет Слэйд (Elizabeth Slade), ведущий инструктор Национального центра по применению программ Монтессори в государственных учреждениях. Но когда все внимание педагога сосредоточено на ребенке, один на один, тогда, как говорит Элизабет, учитель демонстрирует: «Вот что значит обращать внимание».

Возможно, именно такая модель поведения объясняет, почему маленькая девочка смогла столь старательно освобождать зерна граната от мякоти так долго. Тем утром ее педагог несколько раз беседовала один на один с другими детьми, позволив мальшке возрастом три с половиной года заниматься фруктом самостоятельно. Ко времени утреннего перекуса у девочки была уже полная миска вкусных сладких зерен граната, которые можно было предложить ребятам из группы. Поставив миску перед мальчиком, сидевшим около полки с кубиками, она громко выговорила только что выученное новое слово: «Гранат. Тебе нравится?» ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Closing the Achievement Gap through Modification of Neurocognitive and Neuroendocrine Function: Results from a Cluster Randomized Controlled Trial of an Innovative Approach to the Education of Children in Kindergarten. Clancy Blair and C. Cybele Raver in *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 11, Article e112393; November 12, 2014.
- Montessori Preschool Elevates and Equalizes Child Outcomes: A Longitudinal Study. Angeline S. Lillard et al. in *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, Article 1783; October 2017.
- The Chicago School Readiness Project: Examining the Long-Term Impacts of an Early Childhood Intervention. Tyler W. Watts et al. in *PLOS ONE*, Vol. 13, No. 7, Article e0200144; July 12, 2018.
- Prekindergarten Interactive Book Reading Quality and Children's Language and Literacy Development: Classroom Organization as a Moderator. Sonia Q. Cabell et al. in *Early Education and Development*, Vol. 30, No. 1, pages 1–18; January 2019.
- The Serious Need for Play. Melinda Wenner; *Scientific American Mind*, February 2009.

ОБ АВТОРЕ

Эллен Руппел Шелл (Ellen Ruppel Shell) — профессор научной журналистики в Бостонском университете и автор книги «Профессия: работа и ее будущее в эпоху радикальных перемен» (*The Job: Work and Its Future in a Time of Radical Change*, 2012). Она часто пишет на медицинские темы, в частности, ее перу принадлежит книга «Голодный ген» (издана на русском в 2004 г.).



И

сследователь питания Кевин Холл (Kevin Hall) старается быть беспристрастным. Его удивляет, как в такой противоречивой области, которой он занимается, ученые склонны «цепляться за свои теории, несмотря на большое количество доказательств их ошибочности». Хитро улыбаясь, он поведал мне, что некоторые специалисты «обладают восхитительной способностью логично объяснять, почему экспериментальные данные не совпадают с их взглядами».

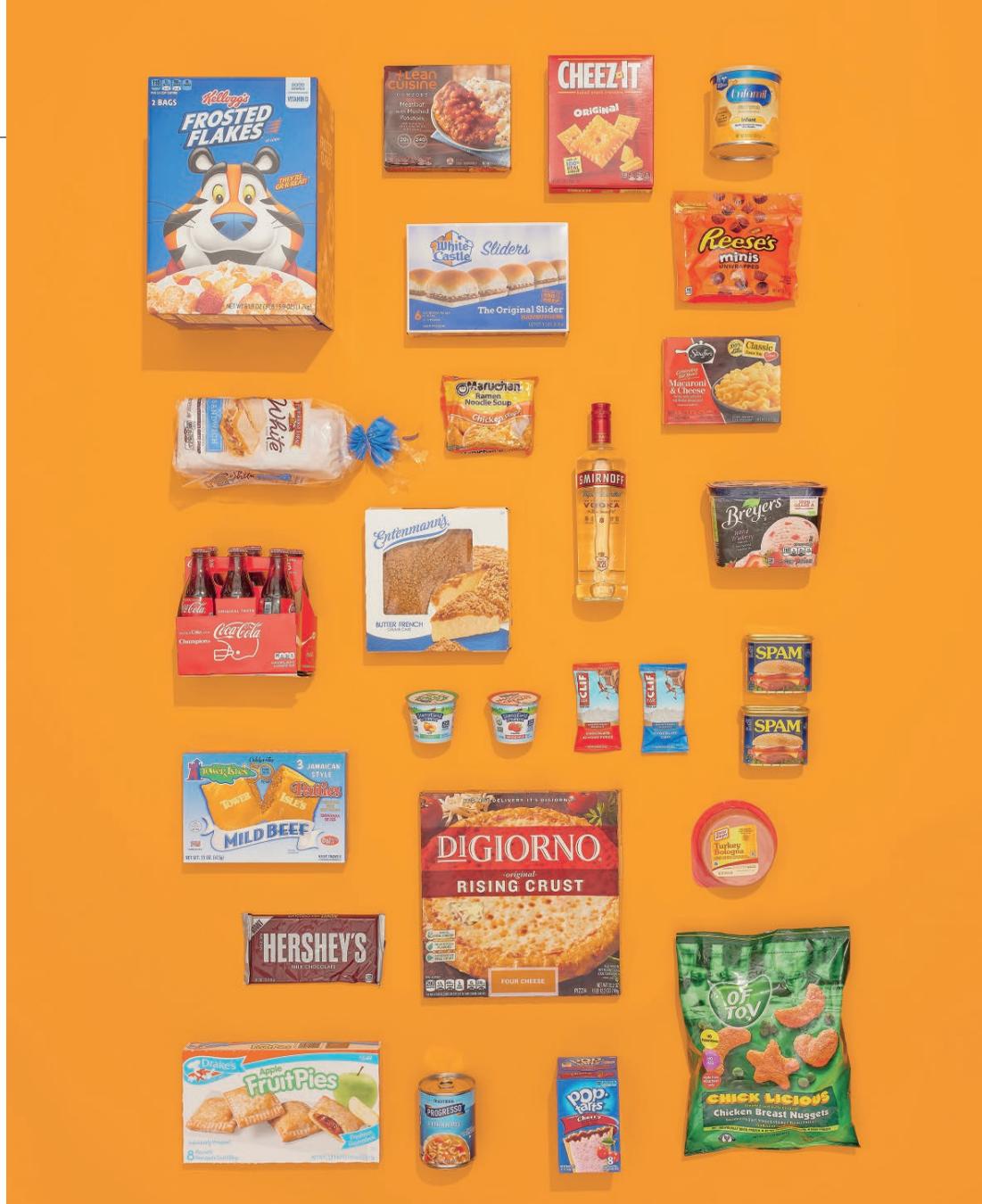
К числу таких взглядов относится и идея, что в опасной эпидемии ожирения виноваты определенные питательные вещества, например жиры или углеводы. (По данным Всемирной организации здравоохранения, в период с 1975 г. по 2016 г. распространенность ожирения в мире увеличилась почти в три раза. С ожирением связаны такие угрозы для здоровья, как заболевания сердца и диабет.) Однако Холл, который руководит Отделением интегративной физиологии в Национальном институте диабета и заболеваний пищеварительной системы и почек, провел эксперименты, которые указывают на существование других причин. По данным его исследований, в первую очередь проблемы обусловлены радикальным изменением способа приготовления пищи — разделением ингредиентов, а затем объединением их в виде замороженных пирожных и других готовых к употреблению блюд из морозильника. Холл и все большее

число других ученых считают, что такие ультрапереработанные продукты искажают передачу сигналов, которые в норме сообщают о насыщении, и это приводит к переяданию.

Холл выполнил два небольших, но тщательных исследования, результаты которых противоречат общепринятому мнению о вреде жиров или углеводов. В обоих экспериментах он поместил участников в больницу на несколько недель и тщательно контролировал их рацион. Холл хотел избежать типичного недостатка большинства исследований питания, когда ученые полагаются на самоотчет участников, который редко соответствует тому, что люди действительно едят. Холл, имеющий ученую степень по физике, предпочел точность измерений, свойственную данной дисциплине. В первом исследовании он показал, что вопреки большинству прогнозов диета с пониженным количеством углеводов на самом деле замедляет скорость

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Многие диетологи связывают повсеместное распространение ожирения с чрезмерным потреблением жиров и углеводов.
- Однако новые исследования указывают в качестве причины преобладание в современных рационах ультрапереработанных продуктов, таких как куриные наггетсы и супы быстрого приготовления.
- По-видимому, при потреблении этих продуктов изменяется передача сигналов о насыщении, идущих от кишечника к мозгу, и поэтому люди переедают.



Ультрапереработанные продукты и напитки производятся уже готовыми к употреблению, с многочисленными добавками, в том числе жирами, усилителями цвета и вкуса, не содержащими сахар подсластителями, веществами, придающими объем и плотность. (Не показана связь ожирения с каким-то конкретным брендом.)

потери жиров в организме. Во втором исследовании, опубликованном в этом году, обнаружилась новая причина увеличения веса. Выяснилось, что если людям предложить съесть столько пищи, сколько им хочется, то при питании ультрапереработанными продуктами они съедают больше на сотни калорий. Участники, питавшиеся такой пищей, набрали примерно 900 г всего за две недели.

«У Холла получилось выдающееся исследование, — говорит Барри Попкин (Barry Popkin), профессор диетологии университета Северной Каролины в Чапел-Хилле,

занимающийся вопросами диеты и ожирения. — Холл был первым, кто доказал не только то, что ультрапереработанные продукты очень притягательны, но и то, что люди еще и склонны есть их в большем количестве». Работа получила признание, хотя тщательно контролируемый эксперимент и не отражает того, как в повседневной жизни люди беспорядочно смешивают разные типы продуктов.

Автор исследования говорит, что не замахивается на изменение пищевых привычек американцев. Холл признает, что любовь его четырехлетнего сына к куриным

нагетсам и пицце остается непоколебимой, да и ему самому, вероятно, тоже следовало бы питаться правильнее. Тем не менее, по его мнению, исследование убедительно доказывает, что не конкретный тип питательных веществ, а именно способ приготовления играет главную роль в общемировом увеличении размера талии. Он утверждает, что не ввязывается в споры о диетах, а просто смотрит на доказательства. «Как только вы попали в один из лагерей и окружили себя избранными предубеждениями, характерными для этого лагеря, оттуда становится сложно выбраться», — говорит Холл. Его лаборатория и исследования финансируются его институтом вне зависимости от того, что он обнаружит, поэтому Холл поясняет: «Я свободен менять свое мнение. В сущности, я могу позволить себе соглашаться с имеющимися доказательствами».

Углеводный тест

Раньше Холл с большой симпатией относился к теории, что определенные питательные вещества, в частности углеводы, виноваты в излишнем весе. «Я знал, что при потреблении углеводов повышается уровень инсулина в крови, а уровень инсулина влияет на откладывание жира и на жировые клетки, — рассказывает Холл. — Поэтому казалось вероятным, что потребление углеводов в отличие от других веществ может вредно влиять на массу тела. Но "правдоподобно" еще не значит, что это действительно так, поэтому я решил это проверить».

В проведенном Холлом углеводном исследовании страдавших от ожирения десятых мужчин и девять женщин поместили в больничную палату Национальных институтов здоровья и в течение двух недель кормили пищей с высоким содержанием углеводов и низким — жиров. Затем пациенты ненадолго ушли, а потом вернулись еще на две недели. В каждый из периодов в течение первых пяти дней в их питании поддерживали баланс: 50% углеводов, 35% жиров и 15% белков, причем потребление калорий соответствовало расходу энергии, определяемому с помощью специально сконструированной метаболической камеры, чтобы гарантировать, что они не набирали и не теряли вес. В последующие шесть дней каждого из периодов в их диете число калорий сократили на 30% за счет углеводов.

«Мы не удивились, обнаружив, что при манипулировании с уровнем углеводов

в отличие от жиров наблюдается очень сильное изменение уровня инсулина», — рассказывает Холл. Он ожидал, что при низкоуглеводной диете снизится активность инсулина. «Но, к нашему удивлению, мы не увидели, чтобы резкое снижение уровня инсулина значительно повлияло на скорость сжигания калорий или на жировые отложения». Обычно пониженный уровень инсулина вливает на сжигание калорий в жировых клетках. Однако, по словам Холла, ученые «обнаружили, что диета с пониженным содержанием углеводов немного замедлила потерю жира в организме». При этом слегка возросла потеря мышечной массы. Год спустя Холл с коллегами провели похожий эксперимент в течение более длительного, восьминедельного периода. На этот раз они сократили потребление углеводов до очень низкого уровня. В итоге они не нашли существенной разницы в потере жировых отложений или расходовании калорий между периодом очень низкоуглеводной диеты и базовым с большим количеством углеводов. Первые результаты ученые опубликовали в 2015 г. в журнале *Cell Metabolism*, а следующие в 2016 г. в *American Journal of Clinical Nutrition*.

Если не углеводы, то что вызывает глобальную проблему ожирения? Конечно, порции в наше время больше, еда изобилует и многие из нас потребляют больше калорий, чем было несколько десятилетий назад. При таком множестве соблазнов переесть могут почти все американцы, однако многие этого не делают. Холл решил, что это настоящая загадка. Какие факторы влияют на людей, нарушая врожденные механизмы восприятия насыщения, которые должны не позволять нам переесть?

Обработанные калории

Холл любит сравнивать людей с автомобилями, говоря, что и те и другие могут использовать разные источники энергии. В зависимости от марки и модели автомобиля он может потреблять дизельное топливо, высокооктановый бензин или электричество. Так же и люди могут прекрасно себя чувствовать на разных диетах, которые зависят от культурных норм и доступности продуктов. Например, традиционная диета с высоким содержанием жиров и низким углеводов хорошо подходит для инуитов в Арктике, а с низким содержанием жиров и высоким углеводов —



Переработанные продукты — это натуральные продукты с немногочисленными добавками, такими как сахар, жир, соль, для улучшения хранения или усиления вкуса. К этой категории относятся консервированные овощи и рыба, соленое и консервированное мясо, сыры и ферментированные напитки, такие как вино и пиво.

для японцев. Но хотя в процессе эволюции люди приспосабливались к большому разнообразию пищевых условий, в последние десятилетия питание изменилось таким образом, что у наших генов и мозга было слишком мало времени на адаптацию. И неудивительно, что каждый из нас по-своему реагирует на эту проблему.

В конце XIX в. большинство американцев жили в сельской местности и примерно половина из них зарабатывали на жизнь трудом на фермах, где обычно пища была свежая или лишь слегка переработанная. Сейчас большинство американцев живут

в городах и не выращивают пищу, а покупают ее, причем все чаще в готовом виде. Приблизительно 58% потребляемых нами калорий и 90% углеводов мы получаем из продуктов промышленного производства, которые в основном или даже полностью состоят из компонентов, будь то пищевые волокна или химические добавки, которые в такой форме или комбинации не встречаются в природе. Это ультрапереработанные продукты — весь спектр, начиная с нездоровой пищи вроде чипсов, сладких хлопьев для завтрака, леденцов, газировки и кондитерских изделий



Непереработанные продукты — это съедобные части растений (например, семена, корни или листья) и животных (мясо или яйца). Основные способы обработки продуктов такого типа — замораживание, сушка или пастеризация для продления срока хранения. Соль, сахар или масло не добавляются.

и заканчивая тем, что кажется безвредным или даже полезным, — хлебом, мясopодуктами, ароматизированными йогуртами и энергетическими батончиками.

Ультрапереработанные продукты, как правило, содержат довольно много сахара, жира и соли. С их помощью американцы стали потреблять дополнительно более 600 калорий в день по сравнению с 1970 г. Однако хотя увеличение числа таких продуктов коррелирует с ростом массы тела, эта корреляция не обязательно означает наличие причинно-следственной связи. Многие вкусные менее переработанные продукты — сыры, жирное мясо,

растительное масло, сливки — могут давать такой же или даже больший вклад. Поэтому Холл хотел выяснить, есть ли в такой ультрапереработке что-то, что способствует увеличению веса. «В сущности, мы задумались, действительно ли люди потребляют больше калорий, если калории поступают из ультрапереработанных продуктов», — рассказывает Холл.

Ответить на этот вопрос непросто. Как уже говорилось, типичные исследования питания опираются на самоотчеты участников, ведущих дневники питания или заполняющих анкету по памяти. Но Холл знал, что при изучении влияния

ультрапереработанных продуктов такой подход не даст убедительных доказательств. Во-первых, к сожалению, известно, что участники исследований питания лукавят при заполнении анкет — утверждают, что ели больше брокколи и меньше печени, чем на самом деле, или «забывают» о третьем стакане пива, выпитом с друзьями. Кроме того, в питании американцев ультрапереработанные продукты встречаются настолько часто, что для сравнения было бы сложно подобрать группу людей с сильно отличающимся рационом.

Для того чтобы избежать этих и подобных проблем, в 2018 г. Холл снова использовал больничную палату и набрал 20 добровольцев, случайным образом разделив их на две группы, одну из которых в течение двух недель кормили ультрапереработанными продуктами, а другую непереработанными. Затем люди менялись и в течение следующих двух недель получали такие же продукты, которыми ранее кормили другую группу. Понятно, что 20 человек — это недостаточно большой объем выборки, чтобы полученные данные можно было применять к человечеству в целом, но это было задумано как пилотный эксперимент, на основе которого можно будет планировать дальнейшие, более масштабные исследования. Холл говорит, что «было бы неэтично» на этом предварительном этапе использовать строгую экспериментальную диету для большего количества людей. Диетологи тщательно подбирали ультрапереработанные и просто переработанные продукты по калорийности, энергетической ценности, жирам, углеводам, натрию и клетчатке. Кроме того, они проверили, что участники не имеют предпочтения какой-то одной категории продуктов. В обеих группах участники могли есть столько еды, сколько хочется.

Прошлой весной в своем кабинете Холл показал мне цветные фотографии всех блюд и закусок. Среди ультрапереработанных продуктов были консервированные равиоли, хот-доги, гамбургеры с плавленым сыром, белый хлеб, маргарин и пачки печенья. На завтрак из этой категории предлагали копченую индейку, сладкие хлопья, заменитель яйца, картофельные шарики, напитки с фруктовым ароматом (как правило, с искусственным подсластителем) и консервированную ветчину. Ужины из непереработанных продуктов включали в себя ростбиф,

рисовый плов, кускус и макароны, а на завтрак предлагали орехи, омлет с обжаренными в масле овощами, картофельные оладьи на сливочном масле и йогурт нормальной жирности.

Многие из нас очень любят ростбиф, макароны и яичницу, и было бы неудивительно, если бы люди их ели больше, чем, например, консервированную ветчину. Но этого не произошло. Как показали результаты, опубликованные Холлом в этом году в журнале *Cell Metabolism*, питаюсь ультрапереработанными продуктами, люди потребляли ежедневно примерно на 500 калорий больше, чем при употреблении непереработанных продуктов, что привело к увеличению массы тела примерно на 900 г за две недели. «Удивительно, как много дополнительных калорий, по данным Холла, потребляют люди, столкнувшись с ультрапереработанной пищей», — говорит Карлуш Аугушту Монтейру (Carlos Augusto Monteiro), врач и профессор диетологии и здравоохранения Школы здравоохранения Университета Сан-Паулу.

Нарушение связи между кишечником и мозгом

Почему большинство из нас скорее будет злоупотреблять заменителями яиц и копченой индейкой, чем настоящими яйцами и картофелем, пожаренном на настоящем сливочном масле? Дана Смолл (Dana Small), нейробиолог и профессор психиатрии Йельского университета, считает, что нашла ключ к разгадке. Смолл изучает влияние современной пищевой среды на нервные связи. Она рассказывает, что нервные клетки в кишечнике посылают сигналы в мозг по большому проводу, который называется блуждающим нервом. Эти сигналы содержат информацию о количестве энергии (калорий), поступающей в желудок и кишечник. Если информация неточна, это может привести к перееданию. Смолл говорит: «Если мозг не получает должного сигнала от кишечника, то он даже не знает о том, что там вообще есть пища».

Исследования с нейровизуализацией, проведенные Смолл и другими учеными, показывают, что характерные для высококалорийных продуктов сенсорные сигналы, такие как запах, цвет и текстура, активируют стриатум — область мозга, участвующую в принятии решений, в том числе касающихся потребления пищи.

По словам Смолл, именно на этом этапе ультрапереработанные продукты создают проблему. Количество энергии, полученной организмом после употребления такой пищи, не соответствует количеству ощущаемой энергии. В результате мозг запутывается, что способствует перееданию. Например, натуральные подсластители, такие как мед, кленовый сироп и сахар, содержат определенное количество калорий, и сладкий вкус сигнализирует организму ожидать получения этих калорий. Однако искусственные подсластители вроде сахараина дают сладкий вкус и предвкушение, но не дают энергии. Мозг, ожидавший калорий, и теперь ощущающий их неполучение, побуждает нас есть больше.

Еще больше ситуацию усложняет то, что ультрапереработанная пища часто содержит сочетание натуральных и искусственных подсластителей. По словам Смолл, это дает неожиданные метаболические последствия и особенно мощный эффект подкрепления. То есть употребление таких продуктов заставляет нас хотеть еще такой еды. «Ясно, что энергетическая ценность продуктов питания и напитков, содержащих одновременно и натуральные, и искусственные подсластители, сообщается в мозг неточно, — поясняет Смолл. — Ясно также, что Холл получил доказательства того, что люди едят больше, когда им дают сильно переработанную пищу. Я полагаю, что, когда мы едим ультрапереработанные продукты, мы не получаем тот метаболический сигнал, который получили бы от менее переработанной пищи, и мозг просто не определяет общую калорийную нагрузку и продолжает требовать еще».

По словам Смолл, исследования на животных подтверждают теорию о том, что ультрапереработанные продукты искажают передачу сигналов между кишечником и мозгом, влияющих на восприятие пищи как подкрепления и на потребление в целом. «Мы неосмотрительно привыкли считать, что калория — это калория, но у многих продуктов есть дополнительные свойства, — рассказывает она. — Например, в натуральных продуктах питательные углеводы практически всегда поставляются в сочетании с клетчаткой, тогда как в ультрапереработанной пище клетчатки либо нет вообще, либо она другая. И редко можно встретить в природе много углеводов и жиров в одном продукте, но в ультрапереработанной пище они часто

встречаются вместе. Мы создали все эти супервкусные продукты, набитые жирами, сахаром, солью и добавками, и мы явно предпочитаем именно такую пищу. Но эти продукты не обязательно вызывают чувство сытости. По-видимому, они пробуждают аппетит».

Смолл и другие ученые предполагают, что ультрапереработанные продукты в некотором смысле похожи на наркотики, вызывающие привыкание, поскольку их употребление приводит не к удовлетворению, а к желанию получить еще. Нейробиолог Энн Грейбил (Ann Graybiel) из Массачусетского технологического института, признанный эксперт по формированию привыкания, говорит, что внешние сигналы, такие как просто вид шоколадного батончика, могут вызывать рефлекторный ответ, заставляя мозг поощрять поведение почти автоматически. Она объясняет, что происходит, когда сформировалась привычка: «Вы выучиваете последовательность поведения, и ваш мозг упаковывает всю последовательность, включая сигналы для начала и окончания поведения так, что в дальнейшем выполняет это не задумываясь». (Некоторые нейроны в стриатуме отвечают за группировку поведения в единую привычную последовательность.)

Употребление большого количества ультрапереработанных продуктов может на самом деле изменять нервные связи так, что повышается чувствительность к пищевым сигналам, поясняет Кент Берридж (Kent Berridge), профессор психологии и нейробиологии Мичиганского университета. Он показал этот эффект на грызунах: «Когда крыс кормили нездоровой пищей, некоторые набирали вес, а другие нет. У потолстевших животных менялась дофаминовая система, они становились сверхчувствительными к пищевым сигналам, они становились сверхсфокусированными на этом единственном подкреплении. Они не демонстрировали больше удовольствия, но проявляли больше желания, и это желание увеличивало активность, то есть они интенсивнее искали пищу».

Однако Берридж подчеркивает, что такое наблюдалось не у всех, и он не думает, что это окажется единственной причиной переедания. «Вероятно, что изменение продуктов питания (с помощью ультрапереработки) вызовет такую реакцию у некоторых из нас, но я не думаю, что это влияет на всех одинаково. Я предполагаю, что

в случае ожирения мы обнаружим подгруппы: в зависимости от генов могут быть различные причины ожирения».

Спор вокруг еды

Не все исследователи согласны с тем, что показанный Холлом путь — употребление ультрапереработанных продуктов — это главный путь к ожирению. По словам Рика Маттеса (Rick Mattes), профессора диетологии в Университете Пердью и главы Американского общества питания, вызывает беспокойство то, что Холл обвиняет большую категорию пищевых продуктов без достаточных на то оснований. «Он говорит, что ультрапереработанные продукты способствуют перееданию, но нет [достаточно большого] массива данных, подтверждающих это утверждение. Я думаю, что причиной нашей реакции на подобную пищу может быть не способ обработки продуктов, а содержание в них питательных веществ».

Холл отмечает, что учитывал содержание питательных веществ в рационах, но у Маттеса есть и несколько дополнительных возражений. Вероятно, наиболее серьезное из них заключается в том, что участникам предлагали только ультрапереработанные или непереработанные продукты на каждом из этапов исследования. «В реальном мире люди будут их смешивать, — написал он по электронной почте. — Это не ошибка исследования, но это становится серьезной проблемой, если пытаться экстраполировать полученные результаты на людей, ведущих обычный образ жизни».

Другая возможная причина переедания при питании ультрапереработанными продуктами — это то, что их едят быстро, поэтому люди успевают съесть много, прежде чем сработают механизмы насыщения и затормозят процесс. Ультрапереработанные продукты обычно обладают высокой энергетической плотностью и содержат много калорий в относительно небольшом объеме. Это тоже может способствовать быстрому потреблению без срабатывания механизмов насыщения. Тем не менее быстрое поедание не объясняет, почему люди продолжают есть больше ультрапереработанных продуктов во время следующего приема пищи, когда теоретически они должны были бы быть менее голодными.

Если ультрапереработанные продукты действительно представляют собой большую проблему, возникает вопрос, надо ли

нам что-то с этим делать. Когда я спросила Холла, он был против строгих мер, таких как введение налога на эти продукты. «Поскольку 60% наших калорий мы получаем из ультрапереработанных продуктов, я боюсь, что введение налога может нарушить продовольственную безопасность некоторых людей, — говорит он. — Мы обнаружили связь между ультрапереработанными продуктами и перееданием, есть много гипотез о возможных причинно-следственных механизмах. Но пока вы не достигли полного их понимания, вмешиваться слишком рано. Может быть, влияют добавки и искусственные ароматизаторы, или в ультрапереработанных продуктах не хватает микроэлементов, организм это чувствует и реагирует перееданием. Могут быть и другие факторы. Мы пока просто не знаем».

В то же время он считает, что имеющихся данных про ультрапереработанные продукты достаточно, чтобы начать беспокоиться: «Мы можем поменять наш рацион, чтобы минимизировать вред. И я думаю, что сейчас именно это должно стать нашей целью». Пищевая промышленность могла бы производить менее переработанные продукты, но для этого люди должны показать, что хотят такую еду, покупая ее больше. «Я не проповедник, — уверяет Холл, — но я действительно думаю, что общественный спрос влияет на продовольственную систему сильнее, чем любое государственное регулирование». Он говорит, что его вклад заключается в том, чтобы качественно проводить научные исследования. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Кенни П. Пищезависимость // ВМН, № 11, 2013.
- Calorie for Calorie, Dietary Fat Restriction Results in More Body Fat Loss Than Carbohydrate Restriction in People with Obesity. Kevin D. Hall et al. in Cell Metabolism, Vol. 22, No. 3, pages 427–436; September 1, 2015.
- Energy Expenditure and Body Composition Changes after an Isocaloric Ketogenic Diet in Overweight and Obese Men. Kevin D. Hall et al. in American Journal of Clinical Nutrition, Vol. 104, No. 2, pages 324–333; August 2016.
- Processed Foods and Food Reward. Dana M. Small and Alexandra G. DiFeliceantonio in Science, Vol. 363, pages 346–347; January 25, 2019.
- Ultra-Processed Diets Cause Excess Calorie Intake and Weight Gain: An Inpatient Randomized Controlled Trial of Ad Libitum Food Intake. Kevin D. Hall et al. in Cell Metabolism, Vol. 30, No. 1, pages 67–77 and e1–e3; July 2, 2019.





ОБ АВТОРЕ

Лидия Дэнуорт (Lydia Denworth) — пишущий редактор *Scientific American*, автор книги «Дружба: эволюция, биология и невероятная сила основополагающей связи жизни» (*Friendship: The Evolution, Biology, and Extraordinary Power of Life's Fundamental Bond*, в печати).



СТАТИСТИКА

Значимая проблема

Стандартные научные методы служат мишенью для нападок. Изменится ли что-нибудь?

Лидия Дэнуорт

В 1925 г. британский генетик и статистик Рональд Фишер опубликовал книгу «Статистические методы для исследователей». По заголовку книгу не отнесешь к бестселлерам, но она имела огромный успех, и Фишера стали называть отцом современной статистики. В своей работе Рональд Фишер взялся за решение следующего вопроса: как исследователи могут применить статистические критерии к числовым данным, чтобы сделать выводы о том, что они обнаружили, и определить, следует ли принимать во внимание эти результаты? Фишер дает ссылку на статистический критерий, обобщающий согласованность данных с предложенной моделью, и представляет p -уровень значимости. Фишер предполагает, что исследователи могут рассматривать p -уровень, равный 0,05, как удобный руководящий принцип: «Представляется удобным взять это значение в качестве критерия для суждений о существенности или несущественности данного отклонения». Рассматривайте результаты

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Почти вековое использование p -уровня для определения статистической значимости экспериментальных результатов привело к возникновению иллюзии достоверности и кризису воспроизводимости результатов во многих областях науки.
- Все больше растет решимость реформировать статистический анализ, но между исследователями нет согласия в том, должна ли это быть просто корректировка или капитальная перестройка. Некоторые предлагают изменить статистические методы, а другие — ликвидировать порог для определения «значимых» результатов.
- В конечном счете p -уровень значимости играет на руку человеческой потребности в уверенности. Поэтому, возможно, и для ученых, и для общества настало время принять дискомфорт неопределенности.

с p -уровнем ниже этого порога, советует Фишер, и не тратьте время на результаты с p -уровнем выше. Так родилась идея о том, что значение критерия p менее 0,05 равноценно тому, что называется статистической значимостью, — математическому определению «значимых» результатов.

Почти столетие спустя во многих областях науки значение p -критерия менее 0,05 рассматривается как золотой стандарт для определения достоинств эксперимента. Он открывает двери к важнейшим составляющим научного мира — финансированию и публикациям — и таким образом подкрепляет большинство опубликованных научных выводов. И тем не менее даже Фишер понимал, что концепция статистической значимости и подкрепляющего ее значения p -уровня имеет существенные ограничения. Наличие подобных ограничений признавали в течение десятилетий. «Чрезмерная опора на проверку значимости, — писал психолог Пол Мил (Paul Meehl) в 1978 г., — плохой способ заниматься наукой». P -уровни значимости постоянно неверно истолковывают, а статистическая и практическая значимость — это не одно и то же. Более того, методологические решения, необходимые в любом исследовании, позволяют экспериментатору сознательно или неосознанно повышать или понижать p -уровень. «Как говорится, с помощью статистики можно доказать что угодно», — говорит статистик и эпидемиолог Сандер Гринленд (Sander Greenland), почетный профессор Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, один из ведущих ученых, выступающих за реформу. Исследования, в которых полагаются только на достижение статистической значимости или доказательство ее отсутствия, постоянно приводят к ошибочным утверждениям: в них доказываются истинность ложных вещей и ложность настоящих фактов. После того как Фишер вышел в отставку (на тот момент он работал в Австралии), ему задали вопрос, было ли что-нибудь за его долгую карьеру, о чем он сожалеет. Говорят, он ответил: «Что вообще упомянул о 0,05».

В последнее десятилетие спор о статистической значимости вспыхнул с необычной силой. В одной публикации непрочную основу статистического анализа назвали «самым грязным секретом науки». В другой упоминали о «ряде серьезных недостатков» в определении значимости. Экспериментальная экономика, биомедицинские исследования и особенно психология охвачены вызывающим споры кризисом повторяемости результатов: обнаружилось, что существенная часть опубликованных данных о новых открытиях невоспроизводима. Один из самых известных примеров — идея о властных позах. Утверждение о том, что агрессивный язык тела меняет не только ваше отношение, но и уровень гормонов, базировалось на статье, от которой с тех пор отрекся один из ее

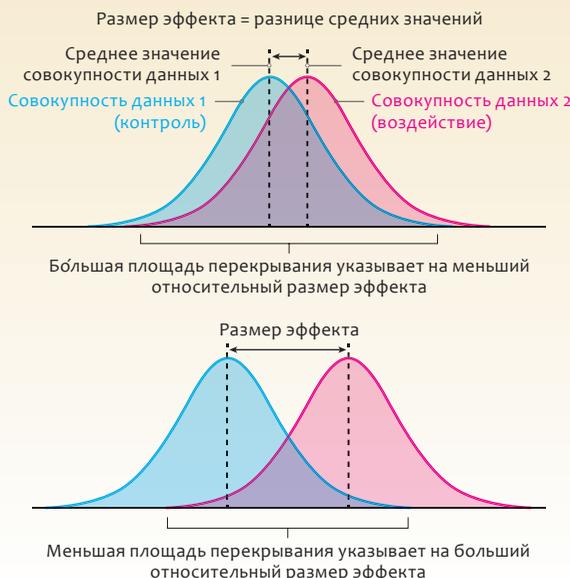
Статистическая значимость

Представьте, что вы выращиваете тыкву в своем саду. Повлияет ли использование удобрения на размер плодов? Исходя из своего опыта без применения удобрений вы знаете, насколько различается вес тыкв и что в среднем масса тыквы составляет 10 фунтов (4,54 кг). Вы решаете вырастить 25 тыкв (это ваша выборка), применяя удобрение. Средняя масса этих 25 тыкв оказалась равна 13,2 фунта (5,99 кг). Как определить, стало ли увеличение средней массы на 3,2 фунта (1,45 кг) по сравнению с прежним весом — гипотетическим «нулевым» уровнем — случайным или при применении удобрения действительно вырастают более крупные тыквы?

Предложенное статистиком Рональдом Фишером решение этой загадки связано с выполнением мысленного эксперимента: представьте, что вы собрались вырастить по 25 тыкв много раз. Каждый раз вы получите разную среднюю массу из-за случайной изменчивости отдельной тыквы. Затем вы строите кривую распределения этих средних и рассматриваете вероятность (**p -уровень**) того, что полученные вами данные были бы возможны, если бы удобрение не оказывало влияния. По договоренности p -уровень, равный 0,05, стал порогом для определения значимых результатов: в данном случае таких, на основе которых исследователь сделает вывод о том, что удобрение не имеет эффекта. Здесь мы рассмотрим некоторые концепции, лежащие в основе мысленного эксперимента для определения статистической значимости.

РАЗМЕР ЭФФЕКТА

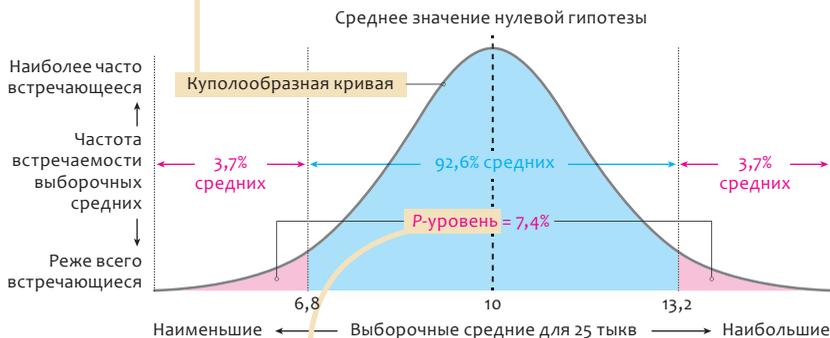
Размер эффекта — это различия между средним результатом, полученным, когда применяется воздействие, по сравнению со средним значением, когда воздействие не применяется. Концепцию можно использовать для сравнения средних в выборках или «истинных» средних для всех распределений. Размер эффекта может выражаться в тех же единицах (например, в случае с массой тыкв — в фунтах/килограммах), что и результат. Но для многих результатов, таких как ответы на вопросы в опросниках по физиологии, не существует натуральных единиц измерения. В этом случае исследователь может использовать относительные размеры эффекта. Один из способов измерения относительного размера эффекта основан на перекрывании кривых контрольного и экспериментального распределения.



Р-УРОВЕНЬ ЗНАЧИМОСТИ

Для вычисления p -уровня нам нужно сравнить среднее значение (13,2 фунта), действительно наблюдаемое нами в выборке из 25 тыков, с распределением случайных средних значений, если бы мы взяли множество новых выборок из 25 тыков.

Куполообразная кривая показывает распределение случайных средних значений массы для выборок из 25 тыков при нулевой гипотезе о том, что удобрение не обладает эффектом.

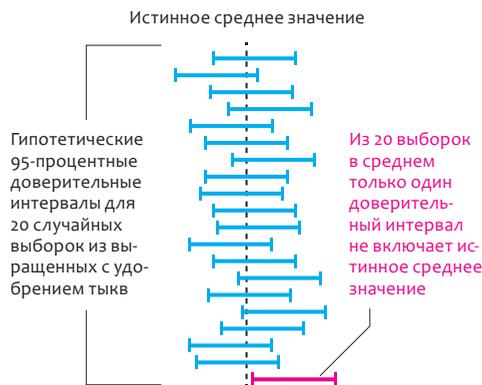


P -уровень значимости — это вероятность получить случайное среднее значение массы, отличающееся от 10 так же, как отличается действительно наблюдаемая средняя, 13,2. Поскольку $13,2 - 10 = 3,2$, мы говорим о вероятности получить среднее значение $\geq 13,2$ или $\leq 6,8$ ($6,8 = 10 - 3,2$). В этом случае такая вероятность равна 0,074 — действительно наблюдаемый p -уровень для вашей выборки. Поскольку значение больше 0,05, ваш результат не будет считаться значимым доказательством того, что разница в весе тыков связана с применением удобрения.

В примере показана двусторонняя проверка, «с двумя хвостами», где при определении значения p -уровня принимается во внимание вероятность получить среднюю массу больше 13,2 фунтов и меньше 6,8 ($10 - 3,2 = 6,8$). При определенных условиях исследователь может выбрать выполнение односторонней проверки, «с одним хвостом». В этом случае p -уровень был бы лишь 0,037, и поскольку он меньше 0,05, то считался бы значимым. Данный пример иллюстрирует один из способов, используя который, исследователи могут изменить свои заявленные намерения в отношении исследования, чтобы получить другие p -уровни при тех же данных.

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ

Мы можем вычислить 95-процентный доверительный интервал для нашей выборки из 25 тыков. Это догадка о том, какова средняя масса тыков, выращенных с применением удобрения. Расчет 95-процентного доверительного интервала включает вычисление, обратное вычислению p -уровня, для того чтобы найти все гипотетические значения, при которых p -уровень $\geq 0,05$. Для нашей выборки из 25 тыков 95-процентный доверительный интервал — от 9,69 до 16,71. «Истинная» средняя масса выращенных с удобрением тыков может попасть, а может и не попасть в этот интервал. Мы не можем быть уверены, что же тогда означает «95%». Представьте, что произошло бы, если бы мы многократно выращивали партии из 25 тыков и брали из них образцы. В каждой выборке был бы случайный, разный доверительный интервал. Мы знаем, что за длительный период времени 95% этих интервалов будет включать истинное значение средней, а 5% — нет. Но что же с нашим конкретным интервалом для первой выборки? Неизвестно, попадает ли он в 95%, которые работают, или в 5%, это процесс, который верен на протяжении 95% времени.



БАЙЕСОВСКИЕ МЕТОДЫ

При байесовском подходе состояние неуверенности человека, касающееся неизвестной величины, представлено распределением вероятности. Теорема Байеса используется для объединения первоначальных убеждений, существующих у индивида, — их распределением до обращения к данным — с информацией, получаемой из данных, которая дает предполагаемое математическое распределение для уточненных представлений. Уточненные представления, полученные в результате одного исследования, становятся новыми начальными представлениями для следующего и т.д. Большинство обсуждений и споров касаются попыток найти «объективные» критерии для первоначальных представлений. Необходимо отыскать способы задания априорных распределений, которые большинство исследователей могли бы считать приемлемыми.



СОБСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ

P -уровень выражает, насколько удивительны наши данные о тыках, если предполагается, что в действительности применение удобрения не влияет на рост тыков. Некоторые исследователи полагают, что p -уровни не отражают «удивительность» способом, интуитивно понятным для большинства людей. Ученые предлагают вместо этого использовать математическую величину, называемую собственной информацией (мерой «удивительности»), которая известна также как s -уровень, или преобразование Шеннона. Она выражает p -уровни в битах (как в компьютерных битах). Критерий «собственная информация» можно объяснить с помощью примера с подбрасыванием монеток.



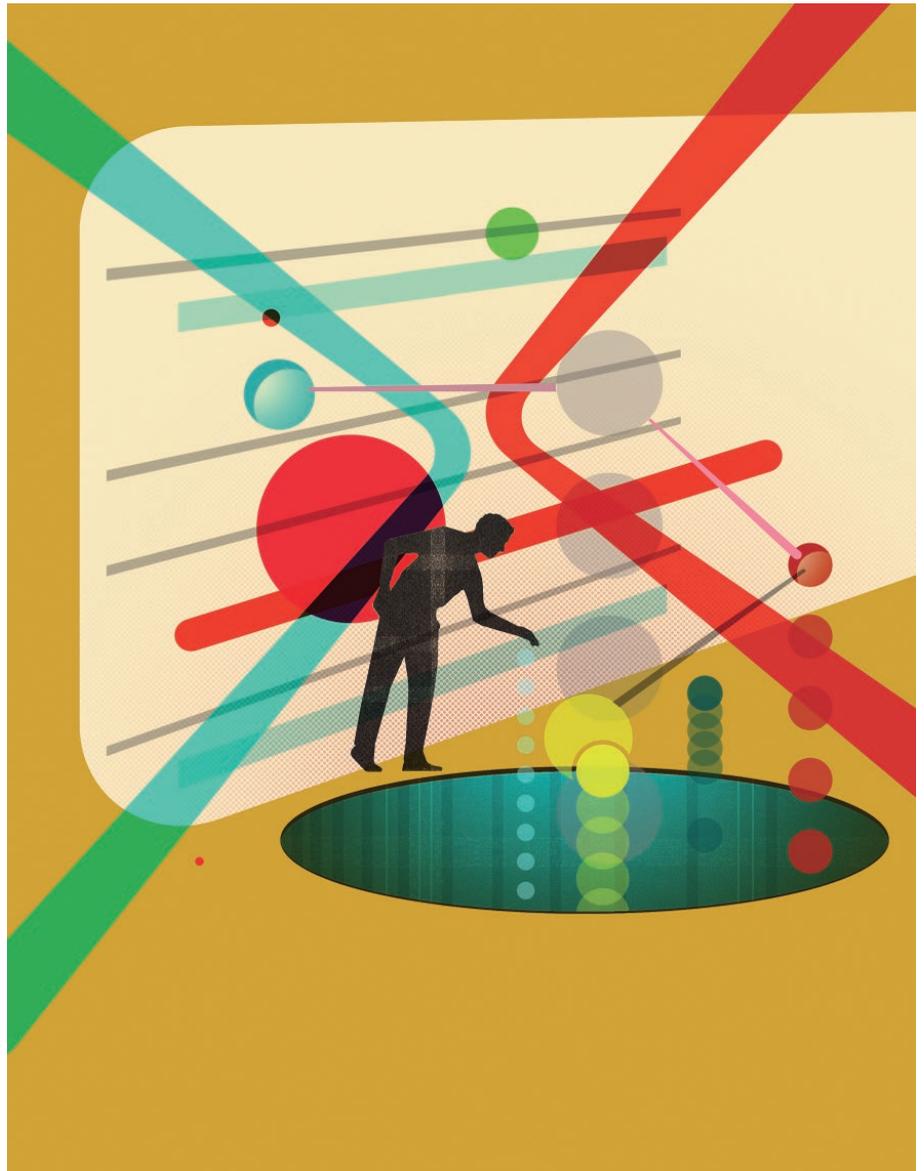
Выборка из 25 тыков со средней массой 13,2 фунта и p -уровнем значимости 0,074 дает количество информации, равное 3,76 бита, поскольку $3,76 = -\log_2(0,074)$.

авторов. Статья об экономике изменений климата (написанная скептиком) «заканчивалась почти таким же числом поправок, сколько в ней было исходных данных, — я не шучу! Но этих поправок для него было недостаточно, чтобы изменить выводы». Так написал статистик из Колумбийского университета Эндрю Гелман (Andrew Gelman) в своем блоге, где он постоянно критикует исследователей за некачественную работу и нежелание признавать наличие проблем в их трудах. Гелман считает: «Нет ничего страшного в том, чтобы заниматься чисто теоретической работой, но тогда не надо сбивать нас с толку данными».

Концепция статистической значимости, хотя она и не единственный фактор, представляет собой очевидную составляющую проблемы. В последние три года сотни исследователей настойчиво требуют реформы, выступая авторами или одобряя статьи в престижных журналах о пересмотре статистической значимости или отказе от нее вообще. Американская статистическая ассоциация (ASA), сделавшая в 2016 г. серьезное и необычное за-

явление по этой проблеме, выступает за «переход к миру за пределами $p < 0,05$ ». Рональд Вассерштейн (Ronald Wasserstein), исполнительный директор ASA, говорит об этом так: «Предполагается, что статистическая значимость указывает всего лишь на определенный уровень интереса. Но, к сожалению, это не то, чем на самом деле стала статистическая значимость. Люди говорят: "Я добился 0,05. Я молодец". Наука останавливается».

Вопрос в том, изменится ли что-нибудь. «Все это не ново. Нас должно отрезвить то, что и в этот раз, возможно, все будет так же, как раньше», — говорит Дэниел Бенджамин (Daniel Benjamin), специалист по поведенческой экономике из Университета Южной Калифорнии, тоже выступающий за реформу. И все же, хотя существуют разногласия по поводу средств, поразительно, как много исследователей сходятся во мнении, что, как написал



экономист Стивен Зилиак (Stephen Ziliak), «существующая культура проверки статистической значимости, интерпретации и составления отчетов должна исчезнуть».

Мир, каков он есть

Цель науки — описать, что в природе истинно. Ученые применяют статистические модели, чтобы сделать выводы об истинном: например, определить, более ли эффективно одно лечение по сравнению с другим или отличается ли одна группа от другой. Каждая статистическая модель основывается на ряде допущений о том, как собираются и анализируются данные и как исследователи представляют свои результаты.

Эти результаты почти всегда базируются на статистическом подходе, называемом проверкой значимости нулевой гипотезы, которая дает

p -уровень. Такая проверка не подразумевает непосредственного определения истины. Это лишь косвенный мимолетный взгляд, поскольку проверка значимости предназначена лишь для того, чтобы указать, стоит ли и дальше двигаться в этом направлении в исследовании. «Что мы желаем знать, когда ставим эксперимент, — так это насколько вероятно то, что наша гипотеза верна, — говорит Бенджамин. — Но [проверка значимости] отвечает на сложный альтернативный вопрос: если бы моя гипотеза была ложной, насколько невероятны были бы мои данные?»

Иногда это работает. Поиск бозона Хиггса, частицы, существование которой впервые было теоретически предсказано физиками в 1960-х гг., — исключительный, но удобный пример. Нулевая гипотеза состояла в том, что бозона Хиггса не существует; альтернативная гипотеза — что он должен существовать. Команда физиков из *CERN* провела множество экспериментов на Большом адронном коллайдере и получила эквивалент p -уровня настолько исчезающе малый, что это означало: вероятность получить имевшиеся результаты, если бы бозона Хиггса не существовало, была равна 1 к 3,5 млн. Таким образом, нулевая гипотеза стала несостоятельной. Затем исследователи дважды проверили результат, чтобы убедиться, что он не вызван ошибкой. «Единственный способ быть уверенным в научной важности результата — и Нобелевской премии — сообщить, что [они] прошли сквозь огненные кольца, чтобы убедиться, что [ни одна] из потенциальных проблем не могла дать такое малое значение, — говорит Гринленд. — Такой ничтожный уровень говорит, точнее, кричит, что Стандартная модель без бозона Хиггса [не может быть верна]».

Однако такой уровень точности, которого позволяет достичь физика, недостижим везде. При тестировании людей, например в психологии, невозможно получить вероятность 1 к 3 млн. При p -уровне значимости, равном 0,05, вероятность многократного отклонения правильной гипотезы в результате множества тестов составляет 1 к 20. (p -уровень = 0,05 не указывает, как часто считают, что вероятность ошибки каждого отдельного теста составляет 5%). Вот почему статистики давно используют доверительные интервалы как средство для обеспечения представления о величине ошибки или неопределенности в оценках, сделанных учеными. Доверительные интервалы математически связаны с p -уровнем значимости. Значение p -уровня находится в пределах от 0 до 1. Вычитая 0,05 из 1, получим 0,95, или 95%, общепринятый доверительный интервал. Однако доверительный интервал — это просто удобный способ обобщения результатов проверки гипотезы для разных размеров эффектов. «В них нет ничего, что должно было бы внушать доверие», — отмечает Сандер

Гринленд. Тем не менее со временем такие критерии, как p -уровни значимости и доверительные интервалы, закрепились, создавая иллюзию достоверности.

P -уровни значимости сами по себе не обязательно представляют проблему. Это удобный инструмент, когда рассматривается в контексте. Как заявляют редакторы журналов, спонсоры науки и регуляторы, так они и поступают. Беспокойство вызывает тот факт, что важность такого показателя, как статистическая значимость, может преувеличиваться или чрезмерно подчеркиваться, что особенно легко сделать при малых выборках. Именно это и привело к существующему кризису повторяемости результатов. В 2015 г. Брайан Носек (Brian Nosek), сооснователь «Центра открытой науки» (*Center for Open Science*), возглавил проект, в котором была предпринята попытка воспроизвести эксперименты, описанные в 100 известных статьях по социальной психологии; выяснилось, что лишь 36,1% результатов можно точно повторить. В 2018 г. сообщалось о результатах точного повторения 21 экспериментального исследования по социологии, статьи о которых были опубликованы в журналах *Nature* и *Science* в период с 2010 г. по 2015 г., в рамках проекта «Социология: повторяемость» (*Social Sciences Replication Project*). Ученые обнаружили значимый эффект того же направления, что и в оригинальном исследовании, для 13 (62%) экспериментов, а размер эффекта в повторных исследованиях в среднем составлял половину от оригинального размера эффекта.

В середине 2000-х гг. в генетике тоже наблюдался кризис повторяемости. После многих споров порог статистической значимости в этой области значительно изменился. «Когда обнаруживается новая генетическая вариация, связанная с какой-либо болезнью или другим фенотипом, стандарт для статистической значимости составляет 5×10^{-8} , то есть 0,05, поделенные на миллион, — говорит Дэниел Бенджамин, который также работал в сфере генетики. — Нынешнее поколение исследований в области генетики человека считается очень надежным».

Однако нельзя сказать то же самое в отношении биомедицинских исследований, где наблюдается тенденция к ложноотрицательным результатам при оценке риска: исследователи сообщают об отсутствии статистической значимости, когда эффекты существуют. Отсутствие доказательств не есть доказательство отсутствия, точно так же как отсутствие обручального кольца на пальце не означает, что человек не женат / не замужем, а лишь свидетельствует о том, что человек не носит кольцо. Иногда такие случаи заканчиваются в суде, когда на карту поставлены корпоративная ответственность и безопасность потребителя.

Размывание четких границ

Так насколько серьезны проблемы в науке? Ученые, работающие в разных областях, в основном согласны в том, что неверная интерпретация и переоценка критерия p и статистической значимости представляют реальную проблему, хотя некоторые более сдержанны в оценке ее серьезности, чем другие. «Я провел анализ за длительное время, — рассказывает социальный психолог Блэр Джонсон (Blair T. Johnson) из Университета Коннектикута. — В науке это происходит постоянно. Маятник будет колебаться между экстремумами, и вам придется с этим жить». Преимущество этого этапа, говорит Джонсон, в том, что он служит напоминанием: надо быть сдержанным в выводах. «Если мы, ученые, не будем скромны, то не сможем двигаться дальше».

Сообщение о важном открытии должно не быть в виде одного предложения, а занимать целый параграф, и оно не должно базироваться на единственном исследовании. В конце концов, удачная теория — та, что десятилетиями выдерживала проверку в повторных исследованиях

Тем не менее, для того чтобы по-настоящему двигаться дальше, ученые должны договориться о решениях. Это почти настолько же трудно, насколько сложны и сами методы статистики. Рональд Вассерштейн считает: «Боятся, что с исключением этой давно устоявшейся практики, позволяющей утверждать, что вещи статистически значимы или нет, в процессе наступит своего рода анархия». И все же предложенный масса. Они касаются изменения статистических методов, терминов, используемых для описания этих методов, и способов применения статистического анализа. Наиболее существенные идеи были выдвинуты в серии статей, последовавших после заявления ASA в 2016 г., в которых более двух десятков статистиков пришли к общему мнению относительно некоторых принципов реформы. Затем последовал специальный выпуск одного из журналов ассоциации,

в котором 45 статей были посвящены способам выхода за рамки статистической значимости.

В 2018 г. группа ученых опубликовала в журнале *Nature Human Behaviour* комментарий под названием «Новое определение статистической значимости», поддерживая изменение порога статистической значимости с 0,05 до 0,005 для объявления о новом открытии. (Результаты при уровне значимости от 0,05 до 0,005 будут называться «предположительными»). Дэниел Бенджамин, ведущий автор этой статьи, рассматривает эту меру как несовершенное и временное решение, однако его можно внедрить немедленно: «Я беспокоюсь, что если не сделать что-нибудь прямо сейчас, то мы в конечном итоге потратим все время на споры об идеальном решении и упустим момент для более серьезных изменений, которые по-настоящему улучшат положение вещей. А между тем вреда будет намного больше». Иными словами, нельзя допустить, чтобы лучшее было врагом хорошего.

Другие ученые полагают, что переопределение порога статистической значимости вообще не даст никаких улучшений, поскольку настоящая проблема заключается в самом существовании такой границы. В марте Сандер Гринленд из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, Валентин Амрхайн (Valentin Amrhein), зоолог из Базельского университета, и Блэйкли Макшейн (Blakeley McShane), статистик и эксперт по маркетингу из Северо-Западного университета, опубликовали в журнале *Nature* заметку, в которой выступают за отказ от концепции статистической значимости. Исследователи предлагают использовать p -уровень как непрерывную переменную среди других элементов доказательств и переименовать доверительные интервалы в «интервалы совместимости» для отражения того, на что они действительно указывают: на совместимость с данными, а не на достоверность результатов. Гринленд с соавторами попросили поддержать их идеи в *Twitter*, и за высказались 800 ученых, в том числе и Бенджамин.

Несомненно, существуют лучшие — или по крайней мере более эффективные — статистические методы. Эндрю Гелман, часто критикующий статистические подходы других ученых, в своей работе вообще не использует проверку значимости нулевой гипотезы. Он предпочитает байесовскую методологию, прямой статистический метод, при котором у ученого уже имеется исходное мнение, затем добавляются новые свидетельства и первоначальные представления пересматриваются. Сандер Гринленд продвигает использование такого критерия, как собственная информация (или метрика *surprisal*, мера «удивительности»), — математической величины, выражающей p -уровни в битах (как компьютерные биты) информации. P -уровень значимости 0,05 — это всего 4,3 бита

информации по сравнению с нулем. «Это равносильно тому, что при подбрасывании монетки орел выпадет четыре раза подряд, — рассказывает Гринленд. — Достаточно ли это свидетельство против идеи о том, что подбрасывание монетки было честным? Нет. Вы увидите, что так происходит постоянно. Вот почему p -уровень значимости 0,05 — слабый стандарт». Если бы исследователи определяли количество информации для каждого p -уровня, считает Гринленд, им бы пришлось придерживаться более высокого стандарта. Помог бы также акцент на размерах эффектов, указывающих на величину обнаруженных различий.

Повышение уровня образования в области статистики (как для ученых, так и для общества) могло бы сделать язык статанализа более доступным. В то время, когда Фишер использовал концепцию «значимости», это слово имело меньшую смысловую нагрузку. «Термин означал "имеющий значение", а не "важный"», — говорит Гринленд. Поэтому неудивительно, что термин «доверительные интервалы», по-видимому, вызывает чрезмерное доверие.

Восприятие неопределенности

Статистическая значимость подпитывала человеческую потребность в уверенности. «Первородный грех, так сказать, заключается в том, что люди хотят определенности, когда это неуместно», — говорит Эндрю Гелман. Возможно, для нас настало время принять дискомфорт неуверенности. Если мы сможем сделать это, то научная литература будет выглядеть по-другому. «Сообщение о важном открытии должно не быть в виде одного предложения, а занимать целый параграф», — говорит Вассерштейн. И оно не должно базироваться на единственном исследовании. В конце концов, удачная теория — та, что десятилетиями выдерживала проверку в повторных исследованиях.

Небольшие изменения происходят среди властвующих в науке сил. «Мы согласны, что иногда p -уровнями злоупотребляют или их неправильно интерпретируют, — говорит Дженнифер Цейс (Jennifer Zeis), представитель *New England Journal of Medicine*. — Выводы о том, что лечение эффективно, если $p < 0,05$, и неэффективно, если $p > 0,05$, — это упрощенный взгляд на медицину, не всегда отражающий реальность». Дженнифер рассказывает, что в размещаемых в их журнале отчетах об исследованиях теперь реже содержатся ссылки на p -уровни и все больше результатов приводится с указанием доверительных интервалов, без p -уровня. Журнал также придерживается принципов открытой науки: публикует более детальные протоколы исследований и требует от авторов, чтобы они следовали предварительно определенному плану анализа и сообщали, если отступают от этого плана.

По словам Джона Скотта (John Scott), руководителя отдела биостатистики Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA), предъявляемые FDA требования к клиническим испытаниям не изменились. «Маловероятно, что в ближайшее время определение p -уровней значимости исчезнет из исследований, связанных с разработкой лекарств, но полагаю, что альтернативные подходы будут применяться все чаще, — говорит Джон Скотт. — Например, среди соискателей растет интерес к использованию байесовских выводов. Современные споры отражают общий рост обеспокоенности в связи с ограниченностью традиционно используемых статистических выводов».

Блэр Джонсон, новый редактор журнала *Psychological Bulletin*, разделяет взгляды нынешнего редактора, но говорит: «Я собираюсь заставить соответствовать довольно строгим стандартам представления отчетов. Таким образом я буду уверен, что все знают, что происходит и почему, и исследователям будет проще решить, надежны ли их методы или в них есть недостатки». Джонсон также подчеркивает важность хорошо выполненного метаанализа и систематических обзоров как способов снизить зависимость от результатов отдельных исследований.

«Важнее всего, чтобы p -уровень значимости не играл роль привратника, — говорит Блэйкли Макшейн. — Давайте придерживаться более целостной точки зрения и в оценках будем внимательны к деталям». Подобное мнение разделяли даже современники Рональда Фишера. В 1928 г. два других гиганта статистики, Юрий (Ежи) Нейман и Эгон Пирсон, писали о статистическом анализе: «Сами по себе проверки не служат окончательным вердиктом, но они помогают исследователю, использующему их в качестве инструментов, принять окончательное решение». ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Палус Ш. Обеспечить воспроизводимость // ВМН, № 12, 2018.
- Evaluating the Replicability of Social Science Experiments in Nature and Science between 2010 and 2015. Colin F. Camerer et al. in *Nature Human Behaviour*, Vol. 2, pages 637–644; September 2018.
- Moving to a World beyond "p < 0.05." Ronald L. Wasserstein, Allen L. Schirm and Nicole A. Lazar in *American Statistician*, Vol. 73, Supplement 1, pages 1–19; 2019.



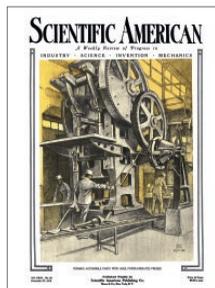
ДЕКАБРЬ 1969

Восприятие травки. Отношение большинства американцев к марихуане слишком обременено эмоциональными предубеждениями. Отчасти это результат «просветительной кампании», инициированной в 1930 гг. Федеральным бюро по наркотикам, организаци-

ей, посеявшей множество искаженных представлений и ложной информации об этом наркотике. В нашей стране все еще сильны пережитки протестантской этики, порицающей марихуану как опиат, употребляемый исключительно с целью получения удовольствия (в то время как алкоголь приемлем, потому что он служит «смазкой» торговли и катализатором социальных контактов). Марихуана, вызывающая состояние самоанализа и физической расслабленности, идет вразрез с культурной традицией, ценящей активность, агрессивность и успешность.

Поздравление с Новым годом. Следующие стихи были написаны после того, как поэт Уистен Хью Оден прочел в нашем журнале статью Мэри Марплс (Mary J. Marples) «Жизнь на коже человека»:

*«В этот день традиция предоставляет
возможность
Подвести итоги нашей жизни,
Мои поздравления всем вам:
Дрожжи, бактерии, вирусы —
Аэробным и анаэробным:
Счастливого Нового года
Всем, для кого моя эктодерма
То же, что Ближний Восток для меня.
Мне хотелось бы думать, что я создал
Не один из возможных миров,
Но он не будет раем:
Мои игры, мои целенаправленные действия,
Возможно, обратятся там катастрофой.
Если вы религиозны,
Как ваши драмы оправдают
Незаслуженные страдания?»*



ДЕКАБРЬ 1919

Природа вещей. Эйнштейн говорит нам, что, когда достигаются скорости, лишь сейчас ставшие областью наших пристальных исследований, происходят невероятные вещи, абсолютно противоречащие современным представлениям о времени, пространстве, массе и размерах. Нас обуревают искушение

посмеяться над ним, объяснить ему, что явления, в существовании которых он пытается нас убедить, абсурдны, ибо противоречат этим представлениям. Ничто не может быть более опрометчивым, чем это. Мы должны быть так же хорошо готовы к тому, что в этих условиях откроется какой-нибудь эпохальный факт, как Галилей, когда он направил в небеса первый телескоп. И если этот факт потребует от нас отказа от нынешних идей о времени, пространстве, массе и размерах, мы должны будем сделать это столь же основательно, как наши средневековые предки вынуждены были отказаться от своих представлений о небесном совершенстве.

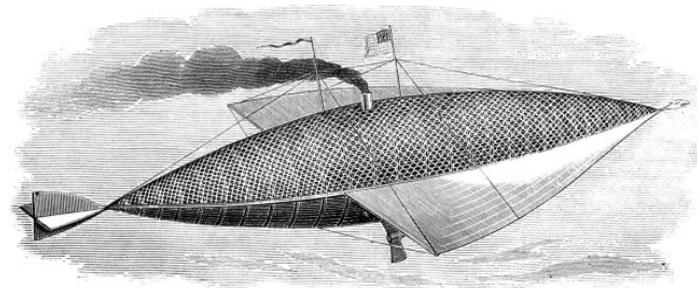


ДЕКАБРЬ 1869

Неудачный полет. Демонстрация летающей машины Avisor г-на Фредерика Мариотта (Frederick Mariott) состоялась в ангаре компании Avisor Works в Калифорнии. Надежды, появившиеся вначале благодаря успеху эксперимента, проведенного под крышей, впоследствии

были развеяны из-за безуспешных попыток управлять машиной в воздушных потоках. Это была лишь пробная машина, воздушный шар в форме сигары длиной около 11 м.

Изобретение почтовой открытки. Правительство Австрии ввело в почтовом деле новшество, которое, вероятно, будет принято во всех странах. Его цель — дать возможность человеку посылать малосущественные сообщения, не беспокоясь о покупке бумаги, ручки и конвертов. Открытки стандартного размера ценой в два крейцера продаются во всех почтовых отделениях, одна сторона используется для адреса, другая — для текста сообщения. Ее бросают в почтовый ящик и доставляют без конвертов. Такого рода почтовые сообщения безусловно будут очень удобными, особенно в больших городах. ■



Avisor хорошо летал как модель, но не совладал с условиями реального мира, 1869 г.

Senior Vice President and Editor in Chief:

Mariette DiChristina

Contributing editors: David Biello, W. Wayt Gibbs, Ferris Jabr, Anna Kuchment, Robin Lloyd, George Musser, Christie Nicholson, John Rennie

Executive Editor:

Fred Guterl

Art Contributors: Edward Bell, Bryan Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins

Design Director:

Michael Mraz

Art director:

Jason Mischka

Managing Editor:

Ricki L. Rusting

Senior Graphics Editor:

Jen Christiansen

Digital Content Manager:

Curtis Brainard

President:

Dean Sanderson

News Editor:

Dean Visser

Executive Vice President:

Michael Florek

Opinion Editor:

Michael D. Lemonick

Executive Vice President,

Senior Editors:

Eliene Augenbraun, Christine Gorman, Steve Mirsky, Clara Moskowitz, Debbie Ponchner, Claudia Wallis, Kate Wong,

Global Advertising and Sponsorship:

Jack Laschever

Associate Editors:

Sunya Bhutta, Lee Billings, Andrea Gawrylowski, Larry Greenemeier, Dina Fine Maron, Annie Sneed, Amber Williams

Publisher and Vice President:

Jeremy A. Abbate

© 2019 by Scientific American, Inc.

В мире науки

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

в почтовых отделениях по каталогам:

«Роспечать», подписной индекс:
81736 — для физических лиц,
19559 — для юридических лиц;
«Почта России», подписной индекс:
16575 — для физических лиц,
11406 — для юридических лиц;
«Пресса России», подписной индекс: 45724,
www.akc.ru

по РФ и странам СНГ:

ООО «Урал-Пресс»,
www.ural-press.ru
СНГ, страны Балтии и далее зарубежье:
ЗАО «МК-Периодика»,
www.periodicals.ru
РФ, СНГ, Латвия:
ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,
www.akc.ru

Читайте в следующем номере

Кристаллы во времени

Неожиданные состояния вещества, называемые временными кристаллами, демонстрируют такие же свойства симметрии во времени, как обычные кристаллы в пространстве.

Лучшая десятка новых технологий 2019 года

Прорывы в виртуальной реальности и робототехнике, биоразлагаемые пластмассы, системы хранения данных на основе ДНК — и другие технологии, изменяющие мир.

Детки в порядке

Нужно учитывать многие факторы, чтобы понять, как социальные сети влияют на благополучие. Согласно последним данным, оснований для беспокойства нет.

Рентгеновское зрение

После 20 лет работы в космосе обсерватория «Чандра» по-прежнему раскрывает новые секреты.

Центр гравитации

Скоро в Японии должна заработать первая крупная гравитационно-волновая обсерватория, построенная под землей.



Фаговая терапия на пороге?

Все больше болезнетворных бактерий становятся резистентными к антибиотикам, и внимание врачей переключается на фаговую терапию.

Пруст среди машин

За время нашей жизни компьютеры могут достичь человеческого уровня интеллекта. Но будут ли они способны осознанно воспринимать мир?



Побег из черной дыры

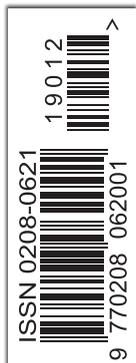
В соответствии с постулатами квантовой механики информация должна избежать разрушения в черной дыре. Новые наблюдения могут помочь нам понять, каким образом.



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>



ISSN 0208-0621

19012

9 770208 062001