

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci.ru.org

6 2020

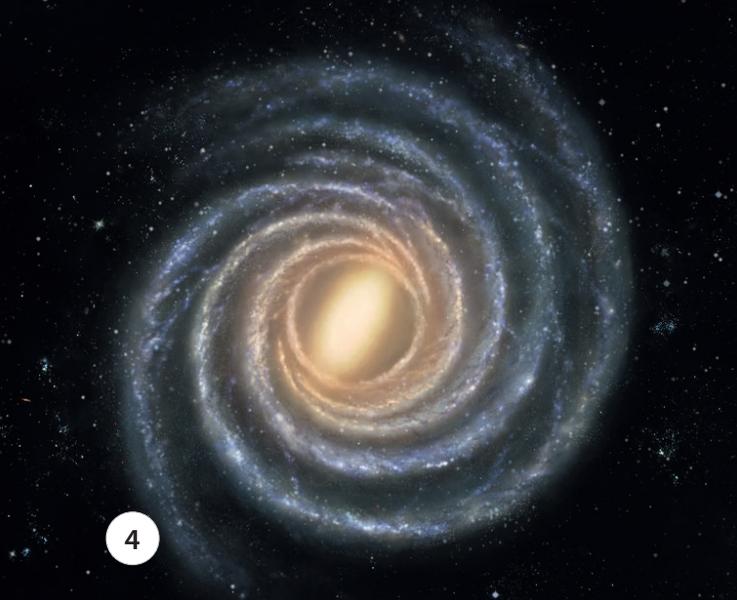
12+

ПРОБЛЕМЫ С ЗУБАМИ // ДИНОЗАВРЫ В РОССИИ // ЖИЗНЬ ВО ЛЬДАХ

НОВЫЙ ОБЛИК МЛЕЧНОГО ПУТИ

На последних картах
нашей Галактики
стали видны
ее скрытые
глубины





4



84

Темы номера

АСТРОНОМИЯ

Новый взгляд на Млечный Путь

Марк Рейд и Синьву Чжэн

Предпринятые недавно усилия по составлению карты спиральной структуры нашей Галактики дают беспрецедентную возможность взглянуть со стороны на наш космический дом

МЕДИЦИНА

Жизнь после пандемии

Наталья Лескова

Главный внештатный пульмонолог Минздрава России по ЦФО профессор **Андрей Малявин** — о психофизиологических последствиях перенесения COVID-19 и его лечения

ПСИХОЛОГИЯ

Зона когнитивной уязвимости

Елена Кокурина

Специалист в области изучения измененных состояний сознания профессор **Юрий Бубеев** — об опыте космонавтов как полезном для людей, переживших изоляцию

СОДЕРЖАНИЕ

Июнь 2020

4

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Россия — родина динозавров?

32

Валерий Чумаков

О том, чем живет современная российская палеонтология, мы побеседовали с директором Палеонтологического института РАН академиком **Алексеем Лопатиным**



14



22



14



74





56



22

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Инструмент для починки генома из Курчатковского института

В НИЦ «Курчатковский институт» создают точные и универсальные тесты для любого инфекционного заболевания

ХИМИЯ

Продавцы воздуха

Наталья Лескова

Зачем нужны аэрогели и почему ученые считают, что скоро они могут заменить пластмассу, рассказывает профессор **Владимир Иванов**

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Кошки против хомяков

Кэрри Арнольд

Как защитить исчезающих животных, если их главные враги — всеобщие пушистые любимцы?

ЭВОЛЮЦИЯ

Проблемы с зубами

Питер Ангар

Нашим зубам тесно, они перекошены и страдают от кариеса. Но так было не всегда

БИОЛОГИЯ

Ледяная эволюция

74

40 *Дуглас Фоке*

В Антарктиде до наших дней сохранились крошечные шестинogie животные, пережившие более 30 ледниковых периодов. Сегодня ученые пытаются выяснить, как им это удалось



48 **АНТРОПОЛОГИЯ**

Помощь после цунами

84

Аджай Саини и Симрон Сингх

Как ликвидация последствий стихийного бедствия уничтожила сообщество коренных жителей



СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

56 **Искусственный интеллект и электронное здравоохранение**

94

Как ИИ изменит современную медицину? Новые лекарства, роботы-радиологи, повышение эффективности электронных медкарт и другие перспективы

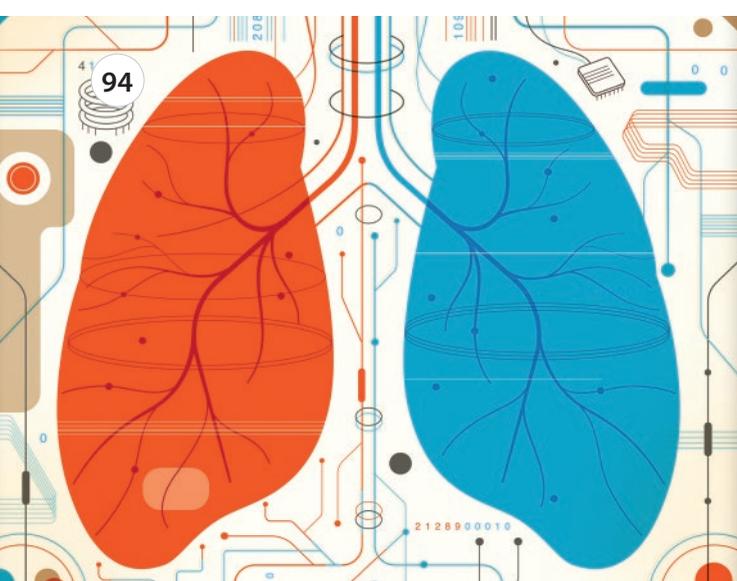
66 **Разделы**

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

120



В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ



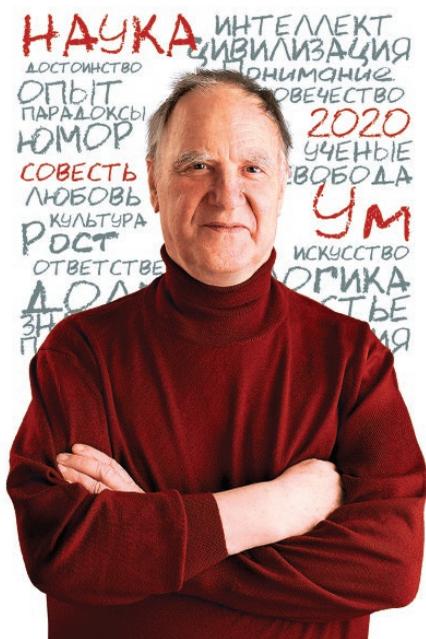
Сибирское отделение РАН



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. Фортвов

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:

д.м.н. Ю.А. Бубеев; д.х.н. В.К. Иванов; акад. А.В. Лопатин; д.м.н. А.Г. Малявин;

к.б.н. М.В. Патрушев; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, Е.В. Кокурина, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, И.В. Ногаев,

А.В. Щеглов

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

Фотографы:

И.Ф. Бадиков, Н.Н. Малахин, Н.А. Мохначев

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

В.Е. Фортвов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

А.Ш. Геворгян

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Малахина

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 № 0948

© 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.

Пределы выносливости

Ученые, исследующие Млечный Путь, не видят нашу Галактику целиком, поскольку вместе со всеми нами находимся внутри нее. К счастью, есть современные радиотелескопы. В главной статье этого номера «Новый взгляд на Млечный Путь» рассказывается, как астрономы на основе тысяч часов наблюдений в рамках различных программ смогли составить беспрецедентно подробную карту спиральной структуры Млечного Пути и точно указать местоположение в ней нашей Солнечной системы. Результатом стала потрясающая новая картина круговорота звезд в нашей Вселенной, которую мы считаем своим космическим домом.

И этот дом населен самыми разными существами. Некоторые из них имеют намного более древнюю историю, чем люди. Статья «Ледяная эволюция» посвящена самым необыкновенным существам, пережившим 30 эпох оледенения. *Tullbergia mediantarctica*, животное размером меньше, чем кунжутное зернышко, обитает на склонах Трансантарктических гор, окруженных ледяными глыбами с одной стороны, и безжизненными почвами — с другой. Впервые упомянутое в 1964 г. и открытое заново два года назад, оно принадлежит к группе примитивных бескрылых родственников насекомых, называемых ногохвостками. Результаты исследования этих существ, возможно, заставят ученых переписать историю великих перемещений массивных ледниковых щитов по континенту по мере изменения климата на планете на протяжении миллионов лет. Кроме того, изучение *Tullbergia mediantarctica* и других подобных им организмов значительно расширяет наши представления о пределах выносливости живых существ.

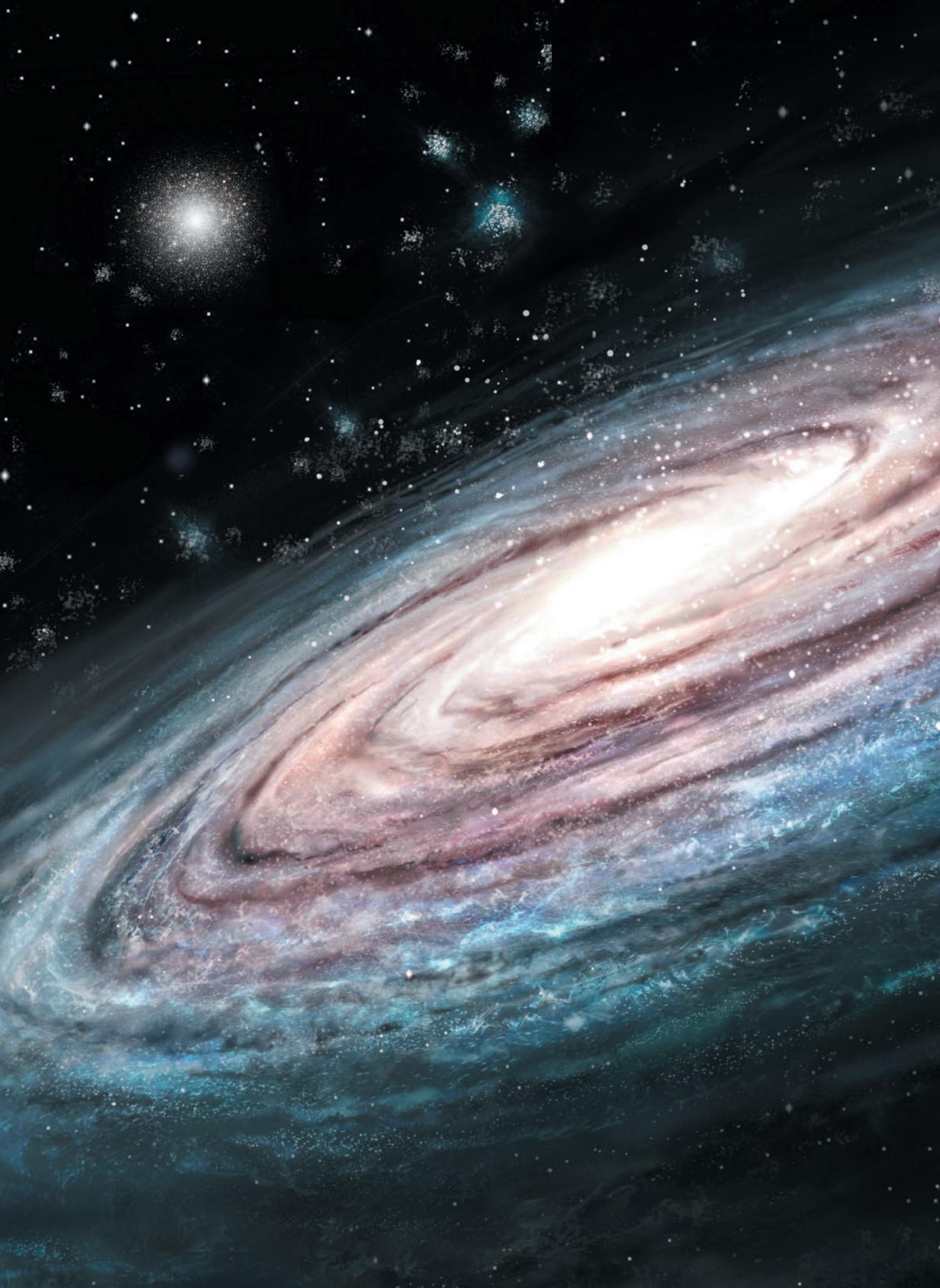
Жизнь на Земле в прошедшие геологические периоды — как известно, предмет палеонтологии. И в Москве есть Институт палеонтологии РАН, который в этом году отмечает 90-летний юбилей. О том, чем живет сегодня институт,



рассказывает его директор академик А.В. Лопатин в статье «Россия — родина динозавров?». Речь идет об уникальных находках ископаемых остатков динозавров на европейской территории России, об открытии древней плейстоценовой фауны позвоночных в пещере Тавриде в Крыму и многом другом.

К сожалению, тема коронавируса еще не закрыта. Две статьи номера посвящены продолжающейся борьбе с последствиями новой инфекции. Об осложнениях после этого тяжелого заболевания читайте в интервью с профессором А.Г. Малявиным, ученым и доктором, в статье «Жизнь после пандемии». Психологическим последствиям длительной изоляции посвящен материал «Зона когнитивной уязвимости»: руководитель отдела психологии и психофизиологии Института медико-биологических проблем РАН, главный психолог проекта «Марс-500» профессор Ю.А. Бубеев рассказывает о том, как психофизиологические исследования космонавтов могут помочь обычным людям справиться с такой ситуацией. ■

Редакция журнала
«В мире науки / Scientific American»



АСТРОНОМИЯ

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ

Предпринятые недавно усилия по составлению карты спиральной структуры нашей Галактики дают беспрецедентную возможность взглянуть со стороны на наш космический дом

Марк Рейд и Синь Чжэн

ОБ АВТОРАХ

Марк Рейд (Mark J. Reid) — старший радиоастроном Смитсоновской астрофизической обсерватории Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра. Недавно был избран членом Национальной академии наук США.

Синьву Чжэн (Xing-Wu Zheng) — профессор астрономии Нанкинского университета. В течение нескольких десятилетий изучал астрономические мазеры и процесс формирования звезд.



Сотни лет назад первопроходцы переплывали океаны и пересекали неизведанные континенты, чтобы составить карту Земли, а за минувшую половину столетия космические аппараты сфотографировали большую часть нашей Солнечной системы. И тем не менее, хотя мы уже неплохо знаем свои галактические окрестности, картина более обширного пространства — галактики Млечный Путь в целом — остается смазанной. Представьте, что мы посылаем космический корабль в путешествие за пределы нашей Галактики, которое займет много миллионов лет, и, оглянувшись, делаем фотографию: ясно, что это практически невозможно.

У нас остается много открытых вопросов относительно нашего космического дома — таких как, например: сколько у нашей Галактики спиральных рукавов, считать ли рукавом ближайшую к Солнцу крупную структуру и где в Галактике расположена наша Солнечная система?

Однако в последнее время были предприняты попытки составить карту Млечного Пути изнутри, которые впервые позволят нам скомпоновать точную фотографию ее структуры. Это стало возможным в результате выполнения нескольких крупных научных программ с использованием самых современных радио- и оптических телескопов, в том числе нашей программы *BeSSeL Survey* («Обзор структуры перемычки и спиралей»). В рамках этой программы нам было предоставлено беспрецедентно протяженное время для наблюдений (5 тыс. ч) на *VLBA* («Антенная решетка

со сверхдлинной базой») — интерферометре, принадлежащем Национальной радиоастрономической обсерватории США и финансируемом Национальным научным фондом.

Наши первые результаты позволяют по-новому и более пристально взглянуть на Млечный Путь. Помимо более точной картины того, как выглядит Млечный Путь, мы надеемся прояснить вопрос, почему галактики, подобные нашей, демонстрируют спиральную структуру и как наш астрономический дом вписывается во Вселенную в целом.

Космические окрестности

В начале 1800-х гг. Уильям Парсонс, третий граф Росс, построил телескоп с диаметром зеркала 72 дюйма — гигантский по тем временам. Он наблюдал и зарисовал то, что сейчас мы называем галактикой Водоворот, которая имеет явную

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Астрономы на удивление мало знают о структуре нашей галактики Млечный Путь, включая число ее спиральных рукавов и расположение нашего Солнца внутри нее.
- Недавно ученые сложили воедино лучшие из существующих карт нашей Галактики, воспользовавшись данными нескольких новых научных программ, в частности программы «Обзор структуры перемычки и спиралей» (*BeSSeL*) в радиодиапазоне.
- Эта карта позволила выявить в Млечном Пути по крайней мере четыре крупных спиральных рукава и несколько более мелких особенностей, показав, что Солнце лежит почти строго в центральной плоскости диска Галактики.



Как и Млечный Путь, соседняя галактика NGC 1300 — звездная спираль с баром диаметром более 100 тыс. световых лет, но она не служит точным зеркальным отображением Млечного Пути: исследования показывают, что наша Галактика имеет четыре крупных спиральных рукава, а не два

спиральную структуру. Однако без знания того, как далеко она находится и насколько велик Млечный Путь, было непонятно, то ли Водоворот — небольшая структура внутри нашей Галактики, то ли это такая же большая туманность. Споры по этим вопросам продолжались до начала 1900-х гг., когда Эдвин Хаббл, используя метод, разработанный Генриеттой Левитт для измерения расстояния до ярких звезд, показал, что Водоворот и аналогичные спирали находятся далеко за пределами Млечного Пути. Это открытие опровергло представление о том, что Млечный Путь, возможно, охватывает всю Вселенную.

Астрономы выяснили, что мы живем в спиральной галактике, измерив движение газа в диске — большой, похожей на блин области, которая образует основное тело Млечного Пути. Спиральные, а также эллиптические галактики представляют собой основные типы галактик. Расположенные поблизости спирали NGC 1300 и Мессье 101 (M101) дают хороший пример того, как может выглядеть со стороны Млечный Путь. NGC 1300 имеет в своем центре яркую линейную структуру, которую астрономы называют перемычкой или «баром», и два голубоватых спиральных рукава, которые начинаются у концов перемычки и медленно разгибаются наружу по мере ее охвата. Перемычки можно наблюдать у большинства спиральных галактик. Возникают они, вероятно, из-за гравитационной неустойчивости в плотном диске галактики. В свою очередь, завихрение вращающейся центральной перемычки, вероятно, приводит к появлению спиральных рукавов. (Другие процессы,

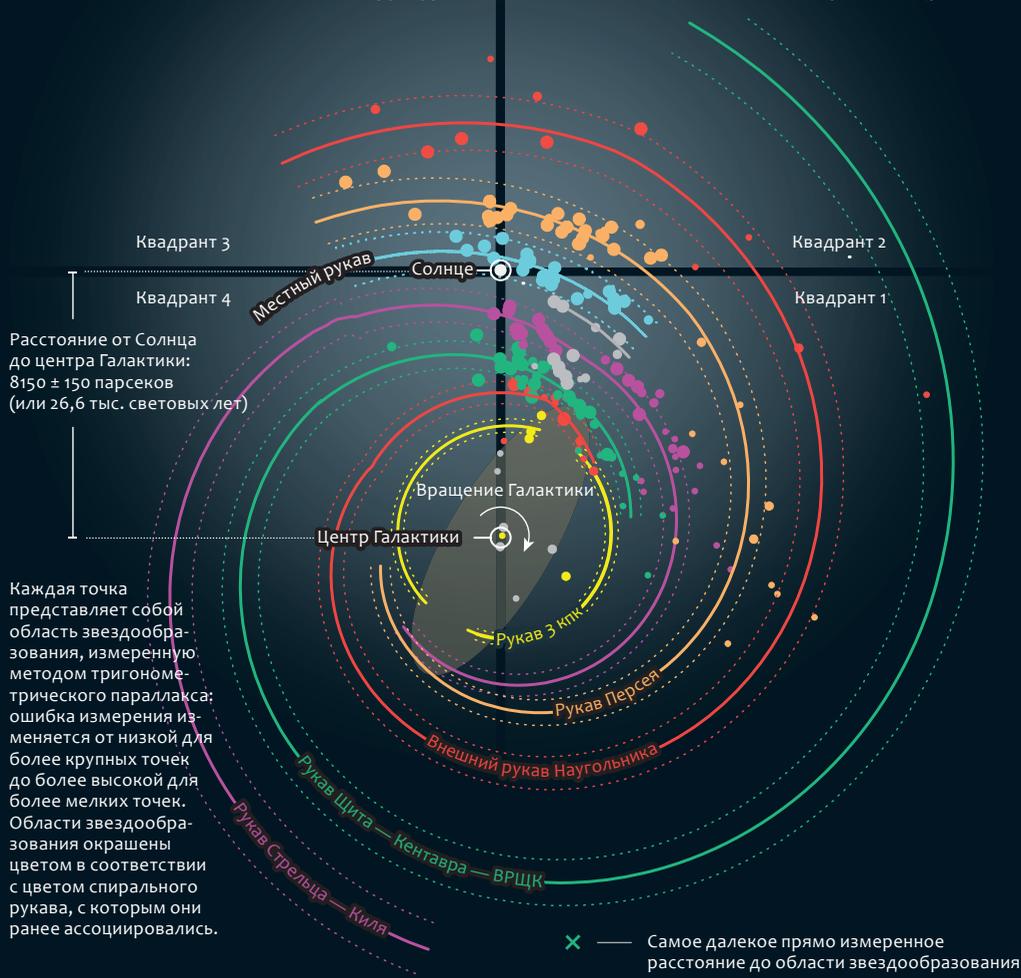
такие как неустойчивость, связанная с концентрацией большой массы внутри диска или гравитационные возмущения со стороны находящихся рядом галактик, также могут приводить к образованию рукавов.) Спиральные рукава чаще всего сияют голубым светом, который исходит от гигантских звездных «яслей», где формируются массивные звезды. Галактика M101, названная Вертушкой, — другой возможный близнец Млечного Пути; хотя у нее отсутствует яркая перемычка, как у NGC 1300, зато у нее больше спиральных рукавов.

Долго астрономы считали, что Млечный Путь напоминает обе эти галактики. По-видимому, у него довольно большая перемычка, похожая на ту, что у NGC 1300, а также множество спиральных рукавов, как у M101. За исключением этих основных выводов в остальном ведутся жаркие споры. Наблюдения в инфракрасном диапазоне, сделанные более десяти лет назад с помощью космического телескопа «Спитцер», дали основания предполагать, что наша Галактика имеет только два спиральных рукава. Однако наблюдения в радиодиапазоне атомарного водорода и монооксида углерода, которые концентрируются в спиральных рукавах других галактик, показывают, что у Млечного Пути четыре рукава. Кроме того, астрономы спорили, насколько далеко Солнце расположено от центра Галактики и насколько высоко оно сидит над плоскостью Млечного Пути — центральной плоскостью диска.

Почти 70 лет назад ученые вычислили расстояния до некоторых ближайших ярких голубых звезд. Когда эти точки нанесли на карту, стали явно видны сегменты трех ближайших

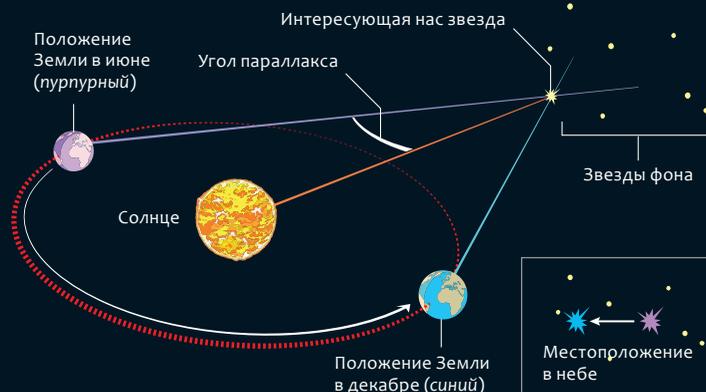
Круговорот звезд

Основанное на измерениях расстояний, полученных в ходе тысяч часов наблюдений с помощью радиотелескопов (ниже), это изображение — лучший вид «с высоты птичьего полета», отражающий структуру Галактики, из когда-либо полученных ранее (справа). Эти данные позволили выявить четыре основных спиральных рукава с перемычкой вокруг центрального балджа из звезд. Наше Солнце, которое астрономы принимают за центр системы координат, расположено на орбите с периодом обращения 212 млн лет вокруг центра Галактики, поблизости от более мелкого фрагмента спирального рукава (окрашено голубым). Будущие исследования с использованием радиотелескопов в Южном полушарии Земли, возможно, позволят выявить дополнительные структуры в недостаточно исследованном четвертом квадранте.



Тригонометрический параллакс

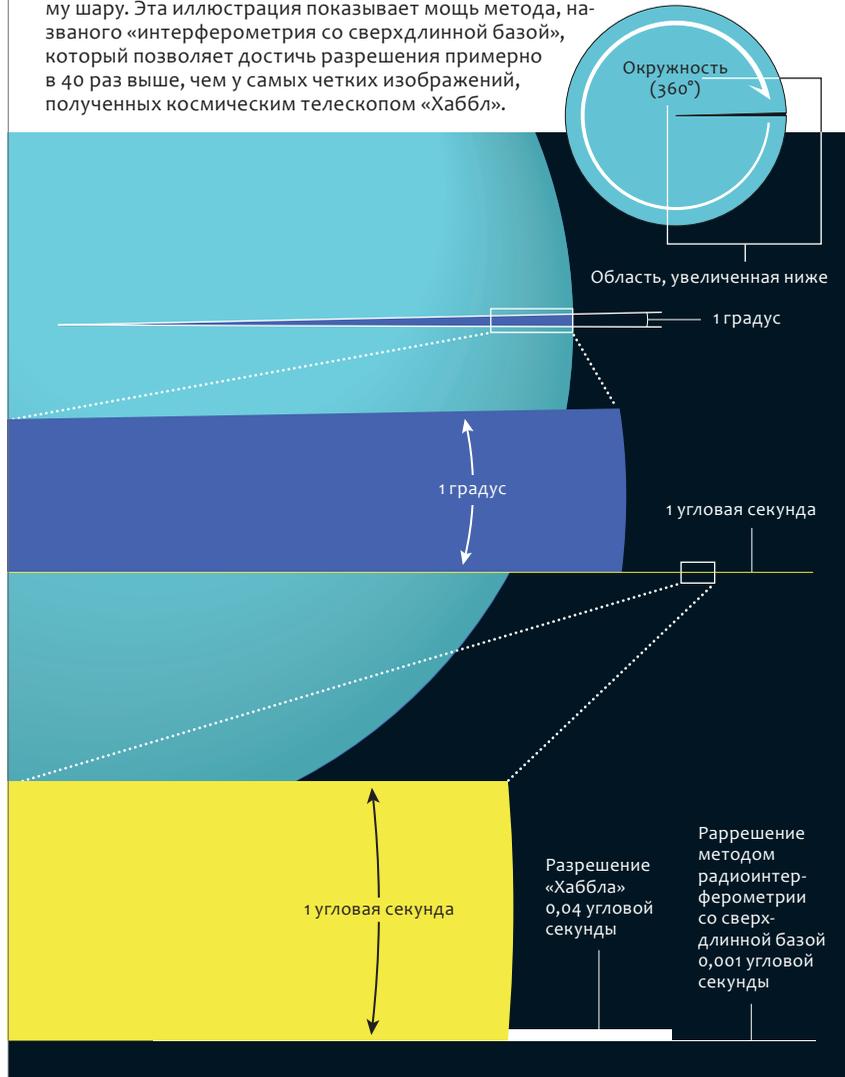
Астрономы измеряют расстояние до звезд, рассматривая смещение звезды (угол параллакса) при наблюдении с противоположных точек орбиты Земли. Чем ближе звезда к Земле, тем больше ее параллакс. Вкупе с известным расстоянием от Земли до Солнца звездный параллакс позволяет астрономам, используя элементарную тригонометрию, вычислить расстояние от этой звезды до Земли.





Орлиный взгляд в звездное небо

Измерение крошечного угла параллакса для звезд в областях звездообразования на другом конце Галактики требует экстремальной угловой разрешающей способности, достижимой сегодня только путем строго одновременного наблюдения несколькими радиотелескопами, разбросанными по всему земному шару. Эта иллюстрация показывает мощь метода, названного «интерферометрия со сверхдлинной базой», который позволяет достичь разрешения примерно в 40 раз выше, чем у самых четких изображений, полученных космическим телескопом «Хаббл».



в направлении центра Галактики и возрастает вдоль экваториальной плоскости Млечного Пути против часовой стрелки при наблюдении со стороны Северного полушария; а галактическая широта (b) — угол, перпендикулярный к этой плоскости. На графиках зависимости скорости газа от долготы по излучению водорода на волне 21 см (a в дальнейшем и по излучению монооксида углерода) проявились непрерывные дуги, которые с большой вероятностью соответствуют спиральным рукавам. Но этому методу картографирования свойственна неоднозначность и он не обладает достаточной точностью, чтобы ясно показать спиральную структуру Галактики.

Новый взгляд

Одна из причин, по которой мы так мало знаем о Млечном Пути, — то, что Галактика содержит огромное количество пыли. Пыль очень хорошо поглощает излучение оптического диапазона, поэтому вдоль большинства направлений в диске мы видим не очень далеко — пыль заслоняет далекие объекты. Другая причина — ошеломляющие размеры Млечного Пути. Свету от звезд с другой стороны Галактики требуется более 50 тыс. лет, чтобы достичь Земли. Такие расстояния делают трудной задачей даже определение того, какие звезды расположены близко от нас, а какие далеко.

спиральных рукавов, которые мы называем рукавом Стрельца, Местным рукавом (или рукавом Ориона) и рукавом Персея. Примерно в то же время, начиная с 1950-х гг., радиоастрономы наблюдали облака атомарного водорода, который испускает радиоизлучение с длиной волны 21 см. Если облако водорода движется относительно Земли, длина волны принятого излучения водорода меняется из-за эффекта Доплера, что позволяет астрономам измерять скорость газа и определять его положение в Галактике. Используя эти измерения, картографы Галактики построили для Млечного Пути удобную систему координат при наблюдении его со стороны Солнца: аналогично земным долготе и широте галактическая долгота (l) равна нулю

в оптическом диапазоне в космосе, и радиотелескопы в разных точках Земли позволяют сейчас существенно продвинуться в изучении Млечного Пути. Задача телескопа «Гейя», отправленного в космос в 2015 г., — измерить расстояния до более чем миллиарда звезд в Галактике, и это, безусловно, приведет к революции в нашем понимании различных поколений звезд, участвовавших в формировании Млечного Пути. Но, поскольку оптическое излучение, с которым работает «Гейя», поглощается частицами межзвездной пыли, не удастся исследовать далекие спиральные рукава. В противоположность этому радиоволны легко проходят сквозь пыль и дают возможность исследовать весь диск и составить карту его структуры.

Две основные программы по составлению карты Млечного Пути сегодня используют метод радиоастрономии, названный радиоинтерферометрией со сверхдлинной базой (VLBI). В программе VERA («Радиоастрометрические исследования с помощью радиоинтерферометров со сверхдлинной базой») задействованы четыре радиотелескопа, разбросанные по территории Японии от севера страны (Мицусавы) до ее самого южного (Исигаки) и самого восточного (Огасавара) островов. А в программе *BeSSeL Survey* используется Антенная решетка со сверхдлинной базой, которая состоит из десяти телескопов и охватывает значительную часть Западного полушария — от Гавайских островов и Новой Англии до Санта-Крус на Виргинских островах США. Поскольку их телескопы удалены друг от друга на расстояние, почти равное диаметру Земли, с помощью этих решеток можно получить намного большее угловое разрешение, чем у любого другого телескопа, работающего на любой из длин волн. Ученые должны вести наблюдение одновременно всеми телескопами и синхронизировать зарегистрированные на диске компьютера каждым из телескопов данные с помощью самых точных атомных часов. Затем они отправляют записанные данные на специальный компьютер, который выполняет перекрестную корреляцию сигналов от телескопов. После калибровки результат представляет собой цифровой образ того, что мы увидели бы, если бы наши глаза были чувствительны к радиоволнам и находились бы друг от друга на расстоянии, почти равном диаметру нашей планеты. Такие изображения имеют невероятное угловое разрешение, менее 0,001 угловой секунды (в одном угловом градусе содержатся 3,6 тыс. угловых секунд, а полная окружность содержит 360 градусов). Для сравнения: глаз человека в состоянии разрешить детали, расстояние между которыми в лучшем случае составляет 40 угловых секунд, и даже с помощью космического телескопа «Хаббл» можно добиться разрешения всего лишь 0,04 угловой секунды.

Методом радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой мы можем измерить местоположение яркой в радиодиапазоне звезды на фоне квазаров (ярких активных черных дыр в центре удаленных галактик) с точностью приблизительно 0,00001 угловой секунды. Проведение такого сравнения позволяет нам изучить Галактику на очень больших расстояниях с помощью эффекта параллакса, когда близлежащий объект, видимый на отдаленном фоне, кажется находящимся в другом местоположении при наблюдении из другой точки. Вы можете воспроизвести этот эффект, глядя на свой большой палец с расстояния вытянутой руки и поочередно закрывая то левый, то правый глаз. Наши глаза находятся на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга, поэтому будет

казаться, что на расстоянии вытянутой руки палец смещается на угол примерно шесть градусов, когда смотришь сначала одним, а затем другим глазом. Если знаешь расстояние между точками наблюдения и видимый угол смещения, вычислить расстояние не составляет труда. Этим же приемом пользуются геодезисты для составления карт городов.

В идеальном случае, чтобы картографировать спиральную структуру, астрономам следует наблюдать молодые массивные звезды. Эти звезды с коротким временем жизни часто связывают с яркими периодами формирования звезд внутри спиральных рукавов, и они настолько горячи, что ионизируют окружающий их газ, заставляя его сиять голубым цветом и тем самым образуя заметный далеко в космосе маяк, позволяющий отследить спиральный рукав. Но нам, запертым внутри пыльного диска Млечного Пути, непросто наблюдать такие звезды во всей нашей Галактике. К счастью, молекулы воды и метилового спирта, находящиеся непосредственно за областями, ионизированными этими горячими звездами, могут быть очень яркими источниками радиоизлучения, поскольку сами они — естественные мазеры, излучение которых почти не поглощается галактической пылью. Слово «мазер» — акроним термина «усиленное микроволнового излучения посредством вынужденного излучения», и это аналог оптического лазера в области радиочастот. В системах, которые изучает астрофизика, мазерное излучение исходит от облаков масштаба Солнечной системы, масса газа которых сравнима с массой Юпитера. То, что мы видим на радиоизображениях, — это чрезвычайно яркие «пятна», которые служат нам почти идеальными объектами для измерения расстояний методом параллакса.

Обновленная картина

В промежутке между программами *BeSSeL Survey* и *VERA* астрономы методом параллакса провели около 200 измерений расстояний до молодых горячих звезд в большой области Млечного Пути. По этим данным, охватывающие примерно треть Млечного Пути, выделяются четыре рукава, непрерывно протянувшиеся на огромные расстояния.

Эта карта также показывает, что Солнце расположено очень близко к пятому объекту, называемому Местным рукавом, который, по-видимому, представляет собой изолированный фрагмент спирального рукава. Раньше этот фрагмент называли Местным отростком или отростком Ориона, полагая, что это небольшая структура, похожая на мелкие ветви, в разветвленных спиральных рукавах других галактик. Однако представление о ней как об «отроге», скорее всего, неверно. Согласно нашим данным, этот фрагмент, по-видимому, — одинокий сегмент рукава, который охватывает

менее чем четверть Млечного Пути. Впрочем, несмотря на небольшую длину, количество формирующихся массивных звезд в нем сравнимо с тем, что мы наблюдаем в аналогичном отрезке расположенного рядом рукава Персея. Интересно отметить, что некоторые астрономы полагали, что рукав Персея — это один из двух доминирующих рукавов Млечного Пути (вторым считался рукав Щита — Кентавра вплоть до его дальней части — Внешнего рукава Щита — Кентавра). Но мы видим, что формирование массивных звезд значительно ослабевает там, где рукав Персея загибается к центру диска, удаляясь от Солнца, поэтому для внешнего наблюдателя он вряд ли будет выглядеть заметным рукавом.

Используя трехмерные координаты местоположения наших массивных молодых звезд и моделируя их измеренное движение, мы можем оценить значения фундаментальных параметров Млечного Пути. Мы видим, что расстояние от Солнца до центра Галактики равно 8150 ± 150 парсеков (или 26,6 тыс. световых лет). Это меньше значения 8,5 тыс. пк, рекомендованного Международным астрономическим союзом десять лет назад. Мы видим также, что Млечный Путь вращается со скоростью 236 км/с, что примерно в восемь раз больше скорости, с которой Земля обращается вокруг Солнца. Основываясь на этих параметрах, мы находим, что Солнце обращается вокруг центра Млечного Пути каждые 212 млн лет. Чтобы представить временной масштаб, отметим, что последний раз, когда Солнечная система была в этой же части Млечного Пути, по планете бродили динозавры.

Та часть Галактики, в которой находится Солнце, очень тонка и имеет почти плоскую форму. Хотя это было известно уже давно, вопрос о расположении Солнца относительно этой плоскости оставался спорным. Недавно астрономы остановились на значении 25 пк (82 световых года) над плоскостью, но наши результаты категорически не согласуются с этой оценкой. Проведя плоскость через точки расположения массивных звезд, для которых у нас есть точные расстояния, мы нашли, что Солнце находится лишь в 6 пк (20 световых лет) над этой плоскостью. Это расстояние составляет всего 0,07% расстояния от Солнца до центра диска, а значит, оно очень близко к его средней плоскости. Мы также подтвердили предыдущие наблюдения, что еще дальше от центра Млечного Пути плоскость начинает загибаться вверх к северу и вниз к югу, напоминая привычную нам форму картофельных чипсов.

Описывая свои наблюдения, астрономы делят Млечный Путь на квадранты, располагая Солнце в центре. Используя эту систему, можно сказать, что мы проследили спиральные рукава в трех первых квадрантах. Чтобы составить карту

четвертого квадранта, нам необходимо провести наблюдения из Южного полушария. Они планируются и будут проведены с помощью телескопов в Австралии и Новой Зеландии. А в ожидании этих результатов мы можем экстраполировать известные рукава на четвертый квадрант, используя информацию, полученную в ходе наблюдений атомарного водорода и молекул монооксида углерода. Картина, полученная на основании этих наблюдений, совпадает с ранее найденными теоретически структурами, названными «Внешний рукав Наугольника», «рукав Щита — Кентавра — Внешний рукав Щита — Кентавра», «рукав Стрельца — Киля» и «рукав Персея». Однако мы предупреждаем, что у нас есть только одно измерение расстояния до области звездообразования, лежащей далеко за центром Галактики. Измеренное положение этой области вкуче с расположением на графиках в координатах галактической долготы и скорости областей, откуда исходит излучение монооксида углерода, дает нам определенную уверенность в правильности того, как мы соединили рукава на дальней от центра стороне Галактики. Но нам потребуются дополнительные измерения, чтобы быть полностью уверенными в нашей модели.

Сегодня мы имеем более четкую картину нашего космического окружения. По-видимому, мы живем в спиральной галактике с четырьмя рукавами и яркой центральной перемычкой, в достаточной степени симметричной. Солнце расположено почти точно в средней плоскости диска, но далеко от его центра, на удалении в две трети его радиуса. Помимо рукавов, охватывающих центр почти по полной окружности, галактика Млечный Путь имеет по крайней мере один дополнительный сегмент рукава (Местный рукав) и, вероятно, множество отрогов. Эти особенности делают нашу Галактику вполне нормальной, но она, безусловно, нетипичная. Примерно у двух третей спиральных галактик можно заметить перемычки, так что в этом отношении Млечный Путь относится к большинству. Тем не менее то, что у нее есть четыре четко очерченных и довольно симметричных рукава, выделяет ее среди большинства других спиральных галактик, имеющих меньшее число более «неряшливых» рукавов.

Больше загадок

Хотя мы получили несколько новых ответов, у нас остаются и серьезные вопросы. Прежде всего, астрономы до сих пор спорят о том, как возникают спиральные рукава. Две соперничающие теории расходятся в том, гравитационная неустойчивость в масштабе всей галактики образует долгоживущие спирально-волновые структуры или же неустойчивости меньшего масштаба со временем усиливаются и растягиваются в сегменты рукавов, которые затем соединяются, образуя длинные

рукава. Согласно первой теории, спиральные рукава могут сохраняться на протяжении многих миллиардов лет, тогда как согласно второй — рукава существуют в течение меньшего срока и за время жизни галактики неоднократно возникают новые.

Трудно также установить возраст галактики Млечный Путь, поскольку у нее нет точной даты рождения. В соответствии с нынешними представлениями, она формировалась постепенно, в течение многих миллиардов лет, когда множество более мелких протогалактик, возникших на более ранних этапах Вселенной, сталкивались и сливались воедино. Млечный Путь, вероятно, был узнаваем как большая галактика примерно уже 5 млрд лет назад, но, возможно, он выглядел тогда совсем иначе, поскольку большие слияния, скорее всего, перемешали бы любую существующую спиральную структуру.

Дальнейшее улучшение нашей нынешней картины Млечного Пути потребует еще больше наблюдений, и этому будет способствовать следующее поколение систем радиотелескопов, способных работать в режиме радиоинтерферометра со сверхдлинной базой. Такие системы уже планируются, в том числе Решетка в квадратный километр в Африке и Сверхбольшая антенная решетка следующего поколения в Северной Америке. Обе —

гигантские решетки радиотелескопов, которые, согласно проектам, планируют установить на крайних точках континентов и которые могли бы полностью войти в строй к концу этого десятилетия. Значительно увеличив площадь улавливания сигнала по сравнению с нынешними решетками, они позволят обнаруживать гораздо более слабое радиоизлучение, идущее от звезд, и, следовательно, будут всматриваться в Млечный Путь еще дальше. В итоге мы надеемся до конца выяснить крупномасштабную архитектуру нашей Галактики, чтобы подтвердить или отвергнуть соперничающие теории рождения ее грандиозной спиральной структуры. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Джонстон К. Охота за реликтами в Млечном Пути // ВМН, № 2, 2015.
- Studies in Galactic Structure. I. A Preliminary Determination of the Space Distribution of the Blue Giants. W.W. Morgan et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 118, pages 318–322; September 1953.
- The Milky Way in Molecular Clouds: A New Complete CO Survey. T.M. Dame et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 547, No. 2, pages 792–813; February 1, 2001.



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Последние десятилетия яркость излучения от пучков в ускорителях удваивалась каждые восемь месяцев – в три раза быстрее, чем число транзисторов на микросхемах

Только периодические пожары могут вывести из «дремы» северные леса из лиственницы и сосны

Нечувствительность к инсулину, которая помогала первобытному человеку выживать при скудном питании, сегодня приводит к болезням обмена веществ

Лавры первооткрывателя мертвого города Хара-Хото достались путешественнику с мировым именем, а не его безвестному помощнику

www.scfh.ru

ЖИЗНЬ ПОСЛЕ ПАНДЕМИИ

COVID-19 — новая инфекция, против которой пока нет специфических лекарств и вакцин. Во многом неожиданными оказались и ее осложнения. У кого-то все это вызывает панические настроения и тревожные ожидания.

Но не у нашего собеседника — **Андрея Георгиевича Малявина**, профессора Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, главного внештатного пульмонолога Минздрава России по Центральному федеральному округу, генерального секретаря Российского научного медицинского общества терапевтов. На чем основан оптимизм ученого и что вызывает его опасения?



Профессор А.Г. Малявин

— Андрей Георгиевич, сегодня становится понятным, что после преодоления пандемии мы останемся с целым рядом проблем, которые также потребуют решения. Какие из них, на ваш взгляд, встанут наиболее остро?

— Я бы выделил четыре направления.

Прежде всего, это последствия самой болезни, которую сегодня можно охарактеризовать как микротромбозендоцелиит. Это системное поражение, и далеко не только легких. Это поражение в первую очередь сосудов с образованием микротромбов, в результате чего страдают многие системы: дыхательные, выделительные, сердечно-сосудистые, эндокринные, гастроэнтерологические и т.д.

Второй пункт — последствия лечения, потому что препараты, которые сейчас назначаются, небезопасны и нередко мы сталкиваемся с последствиями их воздействия.

Третье — обострение хронических болезней, изменение характера их течения, что также требует коррекции.

И четвертая проблема — психологическая. Не знаю, прямое ли это действие сосудистых нарушений в мозгу или просто такая ситуация, но ситуационные депрессии уже сейчас выражены достаточно ярко.

— Давайте остановимся подробнее на первом пункте. Каких соматических нарушений можно ожидать? Я слышала про грубые фиброзные изменения легочной ткани, которые не исчезают в течение длительного времени.

— Проблема с легкими существует. Сейчас людей часто пугают пневмосклерозом. Однако в большинстве случаев ничего фатального тут нет. Пневмосклероз при небольших поражениях, с которыми мы, как правило, сталкиваемся, не имеет существенного клинического значения. Хотя, конечно, восстанавливать диффузионную способность легких нужно. Существует целый ряд медикаментозных методик, помогающих обеспечить проходимость дыхательных путей, особенно если есть обструкция. Для этого нужно рекрутировать плохо вентилируемые участки легких и заставить их дышать.

— Это, по сути, дыхательная гимнастика?

— В том числе. Есть также дыхательные тренажеры — это мотивирующие вдох спирометры, потоковые, объемные. Это экспираторные и постэкспираторные тренажеры, создающие небольшое сопротивление на выдохе, тренажеры с осцилляцией, которые, ко всему прочему, более эффективны и способствуют освобождению дыхательных путей. Их довольно много зарегистрировано в России, они доступны и недороги.

Более совершенна так называемая методика интерпульмональной перкуссионной вентиляции легких. Перкуссионер — замечательный аппарат, но, к сожалению, он мало распространен в России. Важна и медикаментозная поддержка. Если есть обструкция, применяются бронхолитики, если есть задержка мокроты — муколитики. Обсуждаемый вопрос — назначение стероидных препаратов. В принципе,

логика в этом есть. Не знаю, почему их редко применяют и в острый период, и после него. Я сторонник того, чтобы назначать малые дозы стероидов, потому что это традиционно эффективно для лечения васкулитов с поражением легких.

Важный момент — назначение прямых антикоагулянтов, причем их применение должно быть довольно длительным. При этой инфекции, как уже известно, образуются микротромбы — значит, с ними нужно что-то делать.

— **Андрей Георгиевич, до эпидемии COVID-19 мало кто слышал о компьютерной томографии, а сейчас на это исследование не попасть. Что скажете по этому поводу?**

— Бессмысленно и вредно делать КТ каждые три дня, поскольку это дает заметную лучевую нагрузку. Для того чтобы оценить объем поражения, нужно смотреть легкие не чаще одного раза в месяц. Кроме того, надо оценить диффузионную способность легких, для чего тоже есть специальные аппараты. Можно также провести спирометрию, если это позволяет эпидемиологическая ситуация.

Очень часто COVID-положительные пациенты сталкиваются с проблемой сердечно-сосудистых поражений. В остром периоде нередко снижается артериальное давление даже у гипертоников. Его нужно нормализовать. Особое внимание следует уделить ингибиторам ангиотензинпревращающего фермента, которые показаны в этой ситуации. И, как ни странно, статинам: прослеживается их роль не только в нормализации липидного спектра — у них есть выраженный противовоспалительный плейотропный эффект.

Нередко при лечении дебютирует или усугубляется сердечная недостаточность. Здесь применяются ингибиторы АПФ, селективные бетаблокаторы, спиронолактон, в редких случаях понадобятся ивабрадин и мочегонные препараты.

— **Мы знаем, что большинство тяжело болеющих пациентов страдают ожирением и сахарным диабетом. Значит, в эндокринологии тоже складывается сложная ситуация.**

— Это правда. Она связана и с болезнью, и с применением лекарств. У диабетиков, как мы знаем, уже имеется поражение мелких сосудов, поэтому все эти проблемы для них стоят наиболее остро. Здесь надо просто корректировать терапию сахароснижающих препаратов, следить за этим.

Гастроэнтерология при COVID-19 — это в основном поражение печени, в значительной степени связанное с лекарственным воздействием, в результате чего возникают признаки печеночной недостаточности. Для решения этой проблемы есть ряд препаратов, которые позволяют исправить ситуацию.

Еще один важный момент — ночное апноэ. К сожалению, в нашей стране мало кто занимается этой проблемой. Но я думаю, что у нас люди с избыточной массой тела в основном умирают именно по причине того, что никто не обращает внимания на ночное апноэ. Врачи не назначают СИПАП-терапию этим больным в ночной период. И в период реконвалесценции тоже надо обращать на это внимание. Ведь эта проблема очень просто диагностируется и эффективно лечится при помощи современных технологичных аппаратов.

Мы апеллируем только к позиции доказательной медицины, колдунские методики нам ни к чему. Многие рекомендуемые сейчас препараты не только бесполезны, но и опасны

— **Ну а вы пытаетесь донести до медицинских чиновников важность всех этих рекомендаций?**

— Мы сейчас формируем методические рекомендации по реабилитации от Российского научного медицинского общества терапевтов. Там перечислены все методики начиная от дыхательной гимнастики и заканчивая медикаментами и инструментальными методами. Я на днях был в Министерстве здравоохранения, разговаривал с заместителем министра Е.Г. Камкиным. Их очень заинтересовали наши предложения. Мы обязательно их проведем через Минздрав, разошлем всем заинтересованным лицам. А заинтересованы многие. Мне каждый день звонят главные специалисты различных регионов, полномочные представители общества терапевтов. Все нуждаются в таких рекомендациях, потому что не знают, что

делать. Но все хотят простых решений. А их быть не может, потому что формирование комплекса реабилитационных мероприятий должно исходить из конкретной ситуации. Нужно из этого набора возможностей, ориентируясь на показания и совместимость, выбрать какую-то определенную схему. Она может быть очень простой, но может оказаться и сложной. Мы предлагаем синдромно-патогенетический подход: лечим не диагноз, а его проявления, синдромы.

— **Вы хотите сказать, что отечественная медицина хорошо себя проявила? А ведь сейчас так много критики в ее адрес.**

На наших глазах рождаются новые генно-инженерные технологии, которые позволяют оперировать нуклеиновыми кислотами. Это очень серьезные достижения, и я рад, что мы живем в такое интересное время

— Критика зачастую справедлива, и она касается современной ситуации во многом неразумной, недальновидной оптимизации здравоохранения. Но в то же время пандемия показала эффективность традиционной российской мобилизационной медицины, которая создавалась еще Н.И. Пироговым. Все эти ограничительные мероприятия, меры по мобилизации сил, этапной эвакуации, хотя и были не слишком успешно применены, но все же сработали, и поэтому у нас не самая высокая смертность. Все это имеется у нас в традициях. И это очень хорошо. Синдромный подход — это тоже традиция российской терапевтической школы.

— **Какие препараты для профилактики COVID-19 вы считаете эффективными?**

— К сожалению, не могу ответить на этот вопрос, потому что убедительных данных по этому поводу нет. Мы апеллируем только к позиции доказательной медицины,

колдунские методики нам ни к чему. Многие рекомендуемые сейчас препараты не только бесполезны, но и опасны. Интерфероны могут провоцировать цитокиновый шторм, который происходит при этом заболевании. Сейчас много споров вокруг профилактического действия гидроксихлорохина, который пытаются давать всем пациентам, по крайней мере в Москве. Результат отрицательный. Никаких эффектов в плане предотвращения тяжелого течения не обнаружено. ВОЗ прекратила клинические исследования в этом направлении. Противовирусные препараты, которые применяются в случае этой инфекции, изначально заточены не под коронавирус, они применяются для лечения гриппа или СПИДа. А это совершенно разные вещи. Поэтому ярких результатов практически нет.

Что касается моноклональных антител, то сейчас используются уже целый ряд различных препаратов. Это точечная противовоспалительная терапия. Она тоже не такая уж безобидная, потому что лечит вирусную инфекцию, но при этом оставляет человека беспомощным в отношении бактериальных инфекций. Поэтому такое лечение применяют только в тяжелых случаях. Думаю, будет происходить накопление материала — и постепенно появится понимание, какая схема лечения тут наиболее эффективна. А пока очень много вопросов.

— **Какие вопросы вас волнуют в первую очередь?**

— Вот интересная и не очень проясненная ситуация: вроде бы мы понимаем, что это поражение эндотелия, что в легких происходит перемещение плазмы в межклеточное пространство, а в дальнейшем там образуются гиалиновые мембраны, идет фиброзирование. Но, как выяснилось, процесс этот идет не в две недели острой фазы заболевания, а, быть может, значительно дольше. Поэтому длительно сохраняются фиброзные изменения. Но тут важен тот же синдромный подход. Есть дыхательная недостаточность — значит мы даем кислородную поддержку и неинвазивную вентиляцию легких. Нет — значит не нужно.

— **При этом закуплено огромное количество аппаратов ИВЛ, применение которых, как оказалось, при COVID-19 дает смертность до 90%.**

— Вы правы: лучше не доводить до ИВЛ. Реанимация, интубация сопряжены с вентилятор-ассоциированными пневмониями и другими осложнениями. Летальность

действительно очень высокая. Поэтому нужно сделать все, чтобы отодвинуть этот процесс.

— **Андрей Георгиевич, почему именно этот вирус вызвал такой шквал публичного внимания? Вроде бы человечество и раньше сталкивалось и эпидемиями и пандемиями.**

— Каждый вирус уникален. Но ничего сверхъестественного не произошло. Я должен сказать, что сейчас нет такого большого количества осложнений, какие вызывает тот же пандемический грипп. Здесь же ситуация с высокой степенью заразности. По какой-то причине этот вирус очень живуч: он обитает во внешней среде, поэтому происходит массовое заражение. Но, в сущности, его нельзя рассматривать как супертяжелый. Он уступает тому же коронавирусу SARS, с которым человечество столкнулось в 2003 г. Однако контагиозность и широкое распространение *COVID-19* вызвали особенную тревогу. Ну и, конечно, микрососудистая особенность поражения также оказалась весьма необычной. Отличают его также длительное заражение, медленное развитие патоморфологических и функциональных нарушений. Но в целом ничего фантастического тут нет.

— **Какой образ жизни выбрали лично вы, чтобы избежать встречи с вирусом?**

— Я подчиняюсь приказу по университету и нахожусь в самоизоляции на даче. Мы в дистанционном режиме осуществляем обучающий процесс, и для Российского научного медицинского общества

терапевтов тоже проводим ряд мероприятий в онлайн-формате. Но выезжать приходится, в том числе на телевидение. Сейчас в Москве началась плановая госпитализация, и мы открываем нашу клинику Центросоюза. Это наша базовая больница, которая будет специализироваться как раз на реабилитации больных с *COVID-19*. У нас много чего есть и исследовательского, и лечебного, и в этой ситуации было бы грешно не помочь людям.

— **А что у вас есть?**

— Лечебная гимнастика, все тренажеры, которые разрешены в Российской Федерации, кислородотерапия, перкуссионер, откашливатели, сипапы, бипапы двухуровневые, вентиляционная поддержка, галокамера — очень полезная методика, в том числе с точки зрения психологической разгрузки и стимуляции мукоцилиарного клиренса. У нас есть и бодикамеры, позволяющие измерять остаточные объемы, и специальный аппарат, который измеряет объемы по вымыванию азота. Это более современная методика. Мы можем посмотреть диффузию газов. Не говоря уже о рутинных ультразвуковых исследованиях, эхокардиографии и т.д. И обученные люди есть, что очень важно. Я даже не знаю, чего у нас нет. Говорю это с гордостью, потому что не знаю ни одного другого такого учреждения в Российской Федерации, а я много поездил и посмотрел.

— **Андрей Георгиевич, ваши слова внушают оптимизм. Хотя, чего греха таить, далеко не все ваши коллеги настроены**



Галокамера, с помощью которой можно проходить реабилитацию после COVID-19

так же. Как вы думаете, нам удастся преодолеть нынешнюю ситуацию без фатальных потерь?

— Думаю, удастся. Сейчас мы, к счастью, не столкнулись с настолько тяжелой инфекцией, какие уже были в истории человечества. Давайте вспомним черную оспу, чуму в Средние века, испанку в начале XX в., унесшую до 100 млн жизней. Вот по-настоящему страшные вещи.

— Некоторые специалисты называют нынешний коронавирус испанкой XXI в. Вы с ними не согласны?

— Нет, ни в коем случае. Это несравнимо по объему и тяжести поражения. А ведь все эти болезни тоже когда-то были новыми. Сейчас настало время, когда мы можем быстрее все это изучить и на это повлиять. Конечно, мы не знаем всего на текущий момент. Но мы пробуем, совершаем ошибки, пытаемся что-то сделать. Сейчас во всем мире готовится 140 вакцин. На них тоже возлагаются определенные надежды. Может быть, не стопроцентные. Но это нормально. Есть также проблемы с безопасностью. Нельзя сделать безопасную вакцину быстро, за несколько месяцев. Поспешность тут ни к чему. Существует надлежащая клиническая практика, которая определяет порядок исследования любого лекарственного препарата.

Несмотря на все эти «но», давайте не будем создавать панических настроений. У нас более 40% людей бессимптомные. А это значит, что происходит формирование коллективного иммунитета, то есть невосприимчивости к новым заражениям. Идет накопление таких людей. Имея это в виду, я надеюсь, что серьезных больших всплесков не будет. Я думаю, что ситуация с коронавирусом будет идентична гриппу. Пандемические всплески не станут слишком частыми — один раз в восемь-десять лет.

— Однако он и мутирует так же быстро, как грипп, то есть вакцину каждый раз придется создавать заново.

— Тут есть сложность, ведь создать универсальную вакцину пока не удалось. Однако многого мы уже добились. Такого количества смертей даже от пандемического гриппа, как было раньше, уже нет. И наука по созданию вакцин тоже не стоит на месте. Создаются все более эффективные и менее токсичные препараты, хотя первые вакцины были совсем не безобидными. Когда создавалась вакцина от полиомиелита, ее рано запустили и было

большое количество смертей. Тем не менее мы сделали эффективную и безопасную вакцину, которой пользуется весь мир. У нас в стране практически нет полиомиелита уже много десятилетий. Мы победили оспу, а это тоже вирусное заболевание. Появились эффективные вакцины против вируса папилломы человека. Идет прорыв в профилактике ретровирусов — гепатитов В и С, ВИЧ-инфекции. Антиретровирусная вакцина — это очень сложная история, но сейчас появились весьма обнадеживающие результаты. Поэтому я думаю, что помимо отрицательного действия пандемии есть по крайней мере два положительных аспекта.

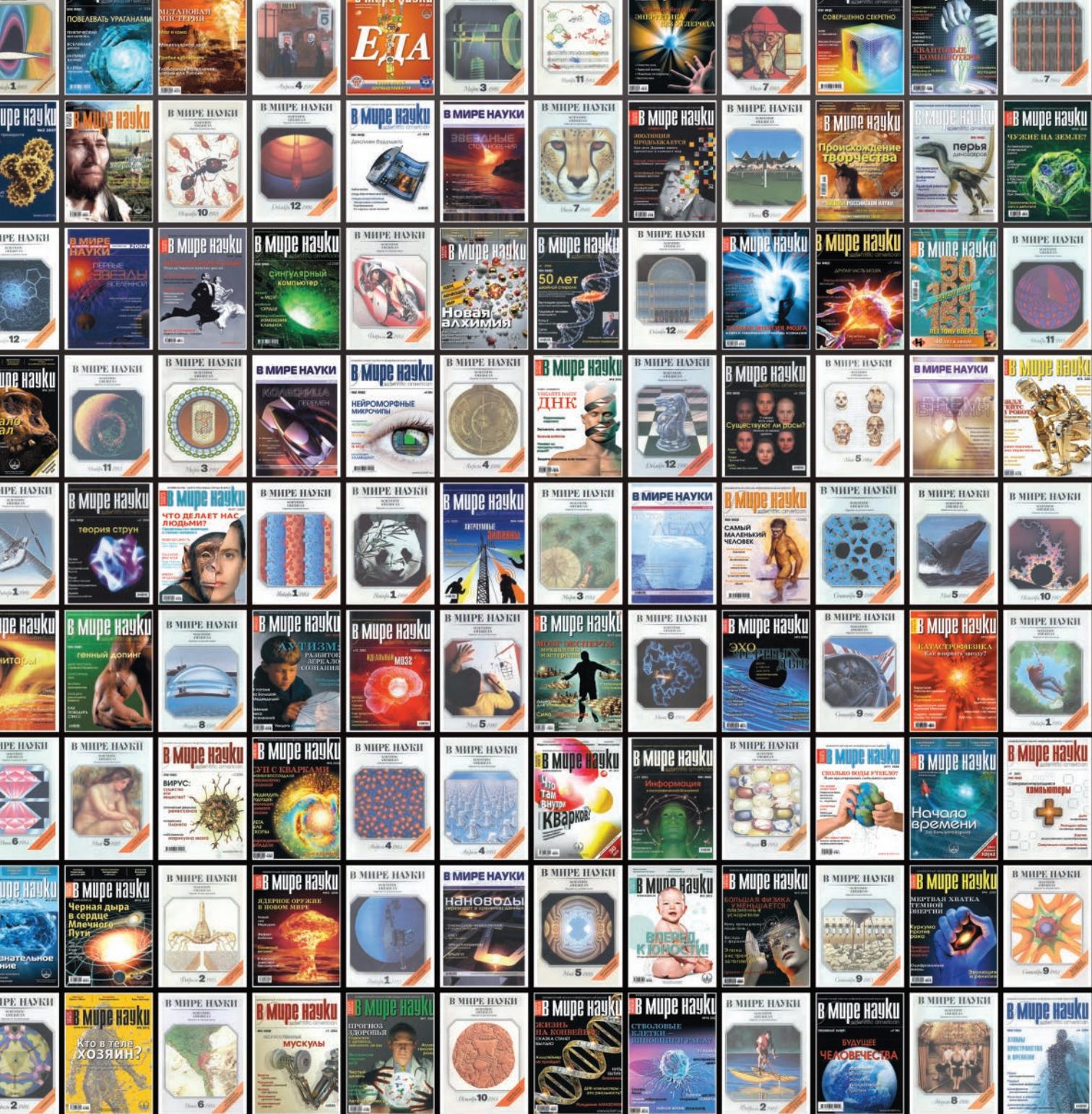
— Какие же?

— Во-первых, обратили внимание на медицину. Долгое время мы сталкивались с его дефицитом: остаточный принцип финансирования, бесконечные реформы, которые ни к чему хорошему не привели. Сейчас, я думаю, люди поняли, как важна медицина. И ей будет уделено внимание. Второе — это всплеск развития биотехнологий, а также новые возможности математического обеспечения биологических процессов, когда уже нет необходимости совершать безумное количество экспериментов. На наших глазах рождаются новые генно-инженерные технологии, которые позволяют оперировать нуклеиновыми кислотами. Это очень серьезные достижения, и я рад, что мы живем в такое интересное время.

— А что у вас вызывает опасения?

— Опасения вызывают поспешность и то, что я называю кулибинщиной. Я с уважением отношусь к И.П. Кулибину, это замечательный ученый, но тут вопрос в том, что у нас иногда принято думать так: вот я что-то на коленке сделал, а сейчас попробую, как это будет работать. Приведу конкретный пример. В Сети вдруг появилась информация, что ФМБА предлагает использовать газ, излучающий ультрафиолет, чтобы убивать вирусы внутри дыхательной системы. От таких сообщений волосы дыбом. Наверное, ультрафиолет убьет вирусы, но он убьет и весьма чувствительный мерцательный эпителий, который обеспечивает защиту легких. Зачем такие изощренные методы для убиения вируса, если он умирает от простых воздействий? Поэтому такая кулибинщина опасна. ■

Беседовала Наталья Лескова



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



ПСИХОЛОГИЯ

ЗОНА КОГНИТИВНОЙ УЯЗВИМОСТИ



Современный западный человек приходит к необходимости овладения различными навыками и техниками для управления не только своими эмоциями, но и мыслями или — даже еще шире — сознанием. Особенно это стало актуально во время пандемии, когда многие люди оказались в условиях длительной изоляции. О том, как психофизиологические исследования космонавтов могут помочь в такой ситуации обычным людям, мы беседуем с руководителем отдела психологии и психофизиологии Института медико-биологических проблем РАН, главным психологом проекта «Марс-500», участником совместного проекта российских исследователей мозга и буддистских монастырей по изучению измененных состояний сознания профессором Юрием Аркадьевичем Бубеевым.



Доктор медицинских наук, профессор Ю.А. Бубеев

— Юрий Аркадьевич, вы специалист в области изучения так называемых измененных состояний сознания (ИСС). Как их можно определить? Испытывает ли такие состояния каждый человек в своей жизни?

— На второй вопрос сразу отвечу: да. Более того, каждый из нас пребывает в измененных состояниях сознания чаще, чем это можно предположить.

Единого устоявшегося определения для ИСС нет, существуют десятки различных формулировок. Но мне ближе классическое определение конца 1960-х гг., когда на Западе велись интенсивные исследования медитации, трансовых психотехник, психоактивных препаратов и был отмечен максимальный всплеск интереса к этой теме. Его автором был американский психиатр Арнольд Людвиг, предложивший десять критериев ИСС, которые каждый человек может очень легко выделить и проанализировать по отношению к самому себе. Обычно любой, кто когда-либо находился в измененном состоянии сознания, совершенно четко скажет, что до этого было «обычное, нормальное» состояние, а с такого-то момента — измененное. Субъективное восприятие, субъективная оценка в этом случае, как правило, работают безотказно. А в 1980-е гг. возникло такое понятие, как «мягкие измененные состояния сознания», встречающиеся у каждого человека в повседневной жизни,

— Какие это критерии?

— Главные признаки ИСС — изменения мышления, субъективного течения времени, эмоционального состояния, схемы тела, системы ценностей, порога внушаемости, связи с реальным миром, искажения представления внешней реальности или осознания себя в этой реальности.

Например, человек, находящийся в измененном состоянии сознания, может совершенно по-другому ощущать течение времени — ему будет казаться, что прошел час или более, а на самом деле состояние длилось пять минут. Он также может иначе, чем в обычном состоянии, воспринимать свое тело, расположение и размеры его частей (так называемая проприорецепция).

ИСС, повторюсь, переживает в своей жизни каждый, это нормальное свойство сознания и психики здоровых людей и может быть вызвано совершенно различными триггерами. Например, сон — одна из главных потребностей человека — это не что иное, как измененное состояние сознания. Кратковременные «мягкие» ИСС могут возникать во время прослушивания музыки, увлекательного чтения, игры, при экстремальных физиологических состояниях, например во время марафонского бега, нормальных родов, в экстремальных психологических ситуациях. Но бывают и искусственно вызванные ИСС, индуцированные различными обрядами, ритуалами, психоактивными препаратами, гипнозом и другими психотерапевтическими техниками.

Кстати, один из характерных критериев ИСС — легкая гипервентиляция: человек сам непроизвольно переходит на ритм дыхания в виде синусоиды. Мы проводили цикл исследований дыхания операторов, выполняющих функции слежения, оно представляет собой непрерывную синусоиду. В отличие от нашего обычного прерывистого дыхания (вдох-выдох с небольшими интервалами), у испытуемых, находившихся в состоянии «мягких» ИСС, оно упорядочивается, ритм становится более правильным, возникает легкая гипервентиляция и регистрируются потери углекислого газа. В физиологии это называется «алкалоз».

— Испытывали ли люди, находясь в изоляции во время карантина, измененные состояния сознания? Не меняется ли восприятие времени у человека в замкнутом пространстве? Вообще, какие ограничения на восприятие мира

или психику накладывает это замкнутое пространство, если человек находится, например, в квартире?

— Безусловно, эти факторы влияют. Здесь есть, наверное, элементы монотонии, которые мы можем наблюдать в наших экспериментах с длительной изоляцией. Состояние монотонии возникает у людей, которые длительное время ведут машину, у операторов, управляющих сложными техническими системами. Монотония по проявлениям чем-то похожа на утомление, но с тем отличием, что она тут же переходит в обычное оптимальное функциональное состояние, если, предположим, появляется значимый сенсорный стимул.

Безусловно, изменяется восприятие течения времени. Когда человек меняет обстановку каждый день — то он дома, то в транспорте, то на работе, — время течет по-иному. А здесь все протекает в одном и том же месте, сенсорная стимуляция в значительной степени ограничена. Само это слово «монотония», то есть монотонность, означает то, что ничего вроде бы не происходит, все однообразно, течение времени замедляется. А потом, когда человек пытается вспомнить, как же он провел неделю или месяц, все сливается в один «серый» день, потому что нет «узелков» для памяти, чтобы восстановить ход событий.

— Получается, что субъективно время течет для него быстрее?

— В ежеминутном, ежедневном режиме время течет медленнее, а ретроспективно — быстрее. Вот такой парадокс.

— Какие опасности подстерегают в подобной ситуации психику неподготовленного человека, который не занимается какими-либо медитативными техниками, интроспективными компенсирующими упражнениями, не пишет книг?

— Здесь можно перефразировать слова, с которых начинается роман Л.Н. Толстого «Анна Каренина»: все счастливы одинаково и несчастны по-разному. У тех людей, чьи условия для изоляции были более или менее комфортными, не появилось никаких особых опасностей или отклонений. Если же человек находился в очень стесненных условиях: с «ненавистными» родственниками, в слишком ограниченном пространстве, испытывал серьезные материальные проблемы, в этом случае он оказывается в зоне повышенного психологического риска, который определяет как тяжесть

восприятия самой самоизоляции, так и ее последствия. Подобные люди склонны к несоблюдению режима, они стараются любым путем нарушить самоизоляцию, не смотря на то что осознают ее необходимость. Некоторые даже приходят к мысли, что лучше ужасный конец, чем «ужас без конца». Именно среди этой группы наиболее вероятны отрицательные последствия, которые потребуют коррекции с помощью психолога или психотерапевта после окончания карантина.

— А какие могут быть последствия?

— Есть люди, у которых в течение долгого времени, даже когда уровень опасности заразиться станет допустимо минимальным, останутся фобии, которые будут препятствовать их нормальному возвращению в социум. Обычно после длительного отпуска у любого психически здорового

Есть люди, у которых в течение долгого времени, даже когда уровень опасности заразиться станет допустимо минимальным, останутся фобии, которые будут препятствовать их нормальному возвращению в социум

человека работоспособность восстанавливается в течение одной недели. Сложные навыки, конечно, требуют несколько большего времени, но в основном примерно через неделю все должно восстановиться: и социальные контакты, и обычный уровень работоспособности. В случае если самоизоляция протекала в стесненных, некомфортных условиях, этот период может затянуться, возникнут невротические проявления, которые потребуют коррекции. Сейчас по интернету бродит шутка о том, что после самоизоляции в норму придут те, кто был нормальным до этого. То есть если у психики человека имелся значительный запас прочности до этой ситуации, то она пройдет с минимальными последствиями. А если у него уже были какие-то проблемы и этого запаса прочности нет, то ему, скорее всего, потребуется психокоррекция.

— **Вы сказали о фобиях. Они связаны с тем, что люди будут бояться заразиться вирусом и после окончания острой ситуации, или фобии могут находить какие-то другие проявления?**

— Основная фобия, видимо, будет связана с опасностью заражения. Даже если к осени-зиме появится надежная вакцина, у определенного процента людей этот страх, который, в общем-то, был оправданным и служил для защиты во время пандемии, останется. Но, безусловно, какие-то другие фобии тоже будут встречаться в большем количестве, так как была продолжительная психотравмирующая ситуация, связанная с реальной опасностью для жизни, которая подточила резервы психики. Но, повторяю, у каждого — своя зона уязвимости.

— **Некоторые психиатры считают, что нынешняя ситуация в США тоже связана с предшествующим карантинном. Возможна ли такая психическая реакция, когда люди выходят на улицы, появляется агрессия?**

— Здесь два момента. Первый: когда люди находятся в изоляции, у них меньше непосредственных социальных контактов, во время которых они проверяют свои точки зрения, взгляды, и из-за этого у них повышается уровень внушаемости.

Объем информации ограничен, остаются социальные сети и СМИ, а непосредственно контакты с людьми, обмен мнениями и возможность верификации своих взглядов уменьшаются. В такой ситуации при поступлении фейковой информации реакция будет несколько другая, с меньшей критичностью, чем в обычное время. Плюс ситуация непосредственной угрозы для жизни тоже дает импульсы к агрессии.

Добавлю, что результаты, полученные сотрудами нашего института во время экспериментов с длительной изоляцией, говорят о том, что у человека снижается уровень критичности восприятия информации, которую он получает уже после восстановления социальных контактов, значительно повышается внушаемость, и такой человек может стать гораздо более привлекательным объектом для манипулирования.

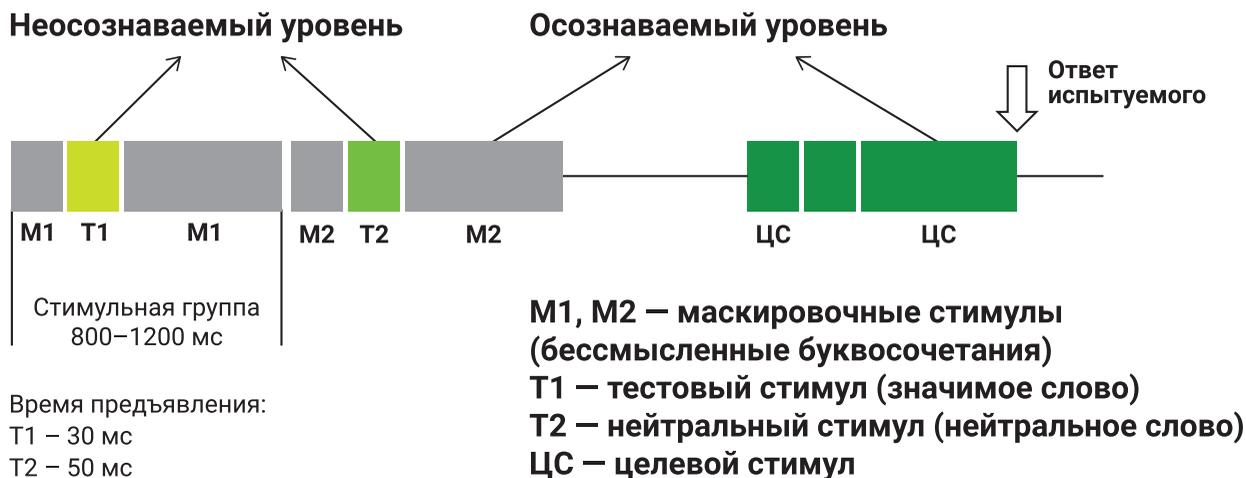
— **Расскажите, пожалуйста, подробнее об экспериментах, которые проводятся в вашем институте. Что вы наблюдали у космонавтов или у добровольцев во время и после длительной изоляции? С помощью каких тестов изучаются подобные состояния?**

— Если взять эксперимент «Марс-500», который длился 520 дней и был самым длительным экспериментом с изоляцией, получившим диплом от Книги рекордов Гиннеса, то мы использовали более 100 различных тестов — физиологических, психофизиологических, психологических, биохимических, с применением десятков различных опросников по ходу самого эксперимента, проведением детальных энцефалографических исследований. И большая часть этих тестов, методов отслеживали состояние не только во время, но и после окончания эксперимента.

Для меня наиболее интересными были методы исследования подсознания, того, что скрыто от внешнего наблюдателя, но что реально управляет поступками человека. У каждого есть такая зона когнитивной уязвимости, и у каждого она разная и определяется ранним детством, психическими травмами, другими событиями жизни. Знание этих зон позволяет оценить стрессоустойчивость, прогнозировать, как



Регистрация ЭЭГ участников эксперимента «Марс-500»



Циклограмма процедуры предъявления стимулов ниже порога осознания для выявления зон когнитивной уязвимости

человек поведет себя в ситуации значимого воздействия. Исследования во время изоляции и после ее окончания позволили определить именно изменения внушаемости, готовности к манипуляциям, усиление интереса к приему психоактивных веществ, алкоголя. Было показано, что после длительной изоляции можно ожидать появления у человека каких-то зависимостей. Естественно, наши добровольцы — участники экспериментов проходили строгий отбор, в том числе психологический, но у обычных людей риски возникновения алкогольных либо наркотических аддикций будут возрастать. И к этому тоже надо быть готовым.

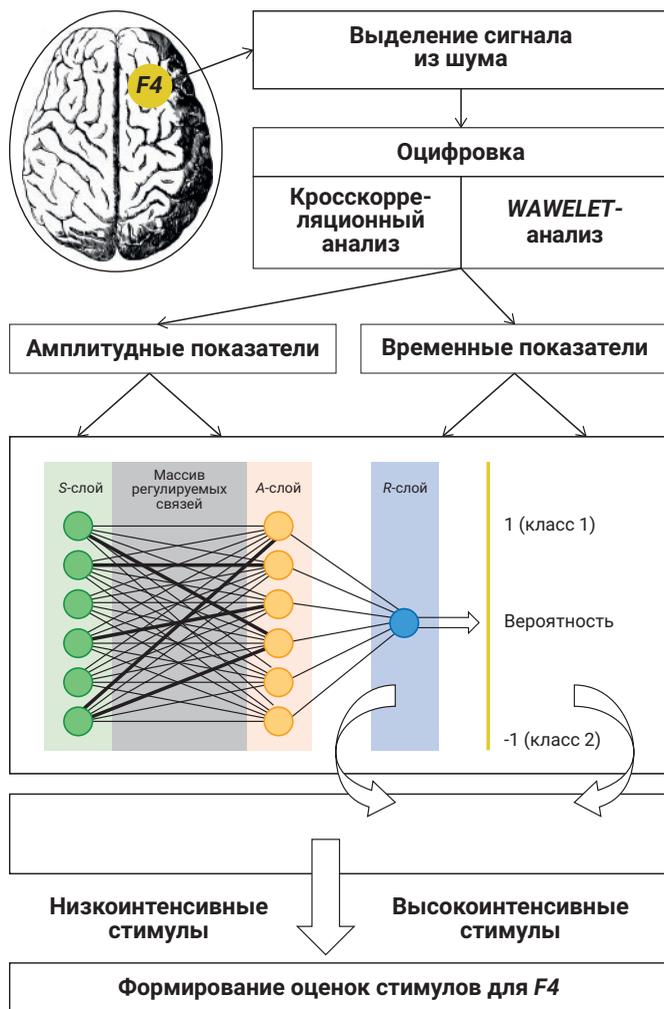
— **Какие методы вы применяете для изучения подсознания человека?**

— Это целый комплекс психофизиологических методик. Например, во время регистрации ЭЭГ (записи электроэнцефалограммы) можно синхронно предъявлять на экране компьютера в подпороговом режиме изображение либо слова. «Подпорогово» означает, что это скрывается под некой маской: во время обследования сам человек (его сознание) не видит тестирующую информацию. Если спросить, что он видел на экране после теста, он скажет, что видел именно «маску». Но под ней, в перерывах между сменой кадров, скрывается тестирующая информация, которая относится к проявлениям субъективного опыта, к таким наиболее значимым моментам, как страх смерти, отношение к деньгам, сексу — основным реперным точкам, вызывающим наибольшее количество проблем в жизни. При анализе записи ЭЭГ мы

видим, какая зона мозга и каким образом отреагировала на ту или иную информацию, и это либо логическая, либо эмоционально окрашенная оценка, акцентуация или вытеснение. Меняя различные стимулы в зависимости от целей исследования, можно определить основные зоны когнитивной уязвимости у каждого человека, увидеть истинную картину без той фильтрочки, которую проводит сознание: ведь все мы хотим казаться лучше, чем есть на самом деле. Метафорически это метод можно обозначить как «детектор истины», то есть можно показать обследуемому то, чего он сам о себе может не знать, но что управляет им в ряде ситуаций.

— **Были ли среди этих испытуемых либо среди участников длительных космических полетов люди с «чистой картиной», которые, скажем так, подсознательно чисты?**

— Мы как раз и старались отбирать людей с минимальным количеством таких зон когнитивной уязвимости. У каждого есть свои слабые места психики, но уже не в значимых и не опасных для профессиональной деятельности и целей эксперимента областях. Как известно из психоанализа, годы психоаналитической работы ведут к исцелению травм, которые человек получает в детстве и на которые родители часто не обращают внимания: это страхи и фобии, а для кого-то даже детская песенка про «серенького волчка» может стать психотравмирующим стимулом на всю взрослую жизнь. В реальности таких примеров очень много, и по мере взросления компенсаторные свойства



Схематическое представление формирования оценок стимулов на примере отведения ЭЭГ в правой лобной области (F4)

психики их блокируют, но в подсознании они остаются. Можно использовать сравнение с заглушенным ядерным реактором: в глубине бессознательного «варятся» проблемы, и когда накапливается критическая масса зон когнитивной уязвимости, это проявляется в поведении, возникновении неоправданных страхов, снижении стрессоустойчивости или в чем-то еще.

— А какие долгосрочные проблемы обнаруживались у участников длительных экспериментов по изоляции?

— Основное, чего мы старались избежать, — это конфликтная напряженность. Понятно, что в условиях автономного существования, скученности, вынужденных контактов в ходе экспериментов (и это бывает, наверное, во всех подобных ситуациях, например на полярных станциях, на борту МКС) зреют конфликты, которые, если получают выход, могут угрожать

успешности миссии. В принципе, такого никогда в истории космонавтики не возникало, но предпосылки были. И задача Центра управления полетами — тех специалистов, которые оказывают психологическую поддержку, — канализировать и выводить эти конфликты наружу, за пределы станции.

Например, космонавты на борту МКС довольно часто срываются на специалистов ЦУП: какие-то эксперименты не подготовлены, связь проходит не так. И специалисты понимают, что это направлено не на них, что это вывод внутренней конфликтной напряженности, и принимают удар на себя. Наверное, здесь можно провести аналогию с нашей изоляцией: проблемы, которые есть внутри семьи, канализируются наружу, на «центр управления самоизоляцией».

— Какие техники применяются для участников космических экспериментов по длительной изоляции — «Марс-500», «Сириус»?

— В первую очередь, повторю, все проходит предварительный психологический отбор. После этого отобранная группа участвует в различных тренингах. Например, тренинг командообразования: наши испытатели, как и настоящие космонавты, должны организовать свое выживание в зимнем лесу, где была имитация аварийной посадки с помощью парашюта, с несколькими банками консервов, небольшим количеством спичек и минимумом теплой одежды. В подобной ситуации сразу спадают социальные маски и обнажается истинная сущность человека, возникает совместная работа по притирке друг к другу, происходит некая групповая динамика. Люди легче расшифровывают невербальные сигналы коллег и более четко прогнозируют, чего ждать от своего товарища в острой ситуации. Это всегда делается перед реальными полетами. Особенно в начале освоения космоса, когда была реальная угроза, что корабль приземлится в нерасчетной точке. Сейчас такая ситуация маловероятна: при спуске по баллистической орбите гораздо проще найти спускаемый аппарат, чем это было в те годы. Тем не менее это очень эффективно для проверки слаженности будущего экипажа. Поэтому мы используем подобную психологическую подготовку.

Во время полета — моделируемого или реального — работает группа психологической поддержки, которая поставляет

новости, организует связь с семьями, предоставляет контент по индивидуальному выбору. Перед экспериментом или полетом участники выбирают книги или фильмы, но через какое-то время оказывается, что почти все отобранное им в космосе уже не интересно, и возникают другие запросы, на которые нужно оперативно реагировать.

— А вы сами проводите сеансы психологической поддержки?

— Группа сотрудников нашего отдела работает в ЦУП и каждый день находится на связи с экипажем. Раз в неделю проводятся приватные психологические сеансы, когда по закрытому каналу космонавты могут выйти на психолога и обсудить какие-то вопросы, связаться с близкими.

Всего в нашем отделе четыре лаборатории, которые решают разные задачи. Одна занимается психологией малых групп, изоляционными экспериментами, в частности экспериментами «Марс-500», «Сириус» и пр. Другая направлена как раз на психологическую поддержку, отбор космонавтов и испытателей, участвующих в изоляционных экспериментах. В ЦУП работают психоневрологи — специалисты

по информации с борта, которые прогнозируют возможность дальнейшего продолжения полета, выясняют, нет ли там каких-либо психоневрологических проблем.

Работает также группа биоритмологов, которая контролирует нагрузку на экипаж. Допустим, среди ночи нужно разгрузить транспортный корабль, и в этом случае необходимо заранее лечь спать, а после этого дать космонавту отдых, снизить нагрузку, следить, чтобы она не была чрезмерной. Именно биоритмологи выносят заключение о режиме труда и отдыха.

— Вы упомянули службу психологической поддержки, но наши граждане в большинстве своем в повседневной жизни этого лишены. Как же выйти из карантина с наименьшими психологическими потерями? Что сделать, чтобы эти последствия минимизировать?

— Здесь я хотел бы еще раз вернуться к цитате из романа Л.Н. Толстого. Если у человека все хорошо, то, наверное, никакие особые рекомендации ему не нужны. Через несколько дней, возможно, неделю-другую после возвращения к нормальной, привычной жизни он восстановит и социальные контакты, и свое психическое состояние.



Тренинг командообразования перед изоляционным экспериментом — выживание в зимнем лесу

Только, может быть, стоит делать это постепенно, а не резко всем выбежать на улицы и начать радоваться свободе.

В то же время если были какие-то проблемы, связанные с выраженным семейным дискомфортом, обострившиеся во время карантина, возможно, стоит взять тайм-аут и подождать, когда горячая фаза закончится, и уже с холодным рассудком либо подтвердить это решение, либо отыграть назад отрицательные эмоции, которые кипели во время самоизоляции.

Конечно, лучше всего прийти на сеанс к психологу, но это не всем доступно по разным причинам, в том числе финансовым. Но кол-центры оказывают реальную помощь. Если же возникают фобии, когда человек боится выйти на улицу, считая, что опасность ждет его уже за дверью квартиры, то рекомендуется использовать метод постепенных шагов: выходить вначале в ближайший магазин, потом — чуть дальше, потом — на прогулку в парк и т.д.

Ментальный фитнес с помощью медитативных техник подобен обычному физическому фитнесу для человека с неразвитой мускулатурой и ему просто необходим

К сожалению, довольно трудно будет тем, у кого родственники или близкие тяжело перенесли заболевание вирусом или погибли. Без помощи психолога, психотерапевта не обойтись, и здесь, наверное, будет тяжелая ситуация выхода. В каких-то случаях понадобятся различные техники борьбы со страхами, релаксации, возможно, легкие седативные препараты, которые можно купить в свободном доступе в аптеке, чтобы погасить излишний эмоциональный фон.

— Как здесь могут помочь исследования измененных состояний сознания? Можно ли использовать эти состояния во благо?

— Безусловно, но опять-таки под контролем специалистов. Сейчас очень много подходов, которые используют, например, биообратную связь. И здесь как раз, наверное, точка приложения с наиболее

интересным практическим выходом. Был в начале 1990-х гг. такой известный фильм «Газонокосильщик». Там из героя — газонокосильщика с ограниченными умственными возможностями — некий исследователь создал супермена с помощью биообратной связи. Визуализируя ЭЭГ и объясняя человеку, каким образом он должен менять ритмы мозга, в каком отделе, предъявляя ему конкретную задачу на экране компьютера, можно добиться заданного результата, причем гораздо быстрее, нежели используя психотерапевтические техники.

В целом методы, которые индуцируют ИСС, могут быть двух видов.

Первый — максимально изолировать человека от всех сенсорных воздействий, например поместить в темную комнату, где тихо и нет никаких визуальных и слуховых раздражителей, или применить флоатинг (погружение в солевой раствор, где происходит максимальное расслабление всех мышц, нет никаких звуков и т.д.).

Второй — наоборот, максимальная нагрузка всех сенсорных каналов. Это трансовые танцы, громкая музыка, экстатические техники. Например, у суфиев это танец с вращением. Здесь тоже возникает ИСС, но уже от перегрузки сенсорных каналов. Какие-то техники можно комбинировать, чтобы с помощью относительно легких воздействий вызывать довольно глубокие ИСС. Например, если к состоянию глубокого расслабления добавить аудиовизуальные стимулы.

— И играют ли какую-то роль в этом спектре реабилитационных методов медитативные техники?

— Безусловно. Но желательно, чтобы этот очень эффективный прием уже был освоен человеком до карантина или другой стрессовой ситуации. Если подобные методы отработаны, с их помощью можно легко корректировать негативные состояния, которые возникают при самоизоляции, выходе из нее. Те, у кого этого методического запаса нет, безусловно, могли освоить их по ходу, если возникла потребность. Техники медитации, направленные на релаксацию, снятие стрессорного напряжения, безусловно, будут полезны и помогут быстрее вернуться к обычному рабочему состоянию.

Медитация — не что иное, как мягкое измененное состояние сознания. Здесь присутствуют все критерии: изменение чувства течения времени, схемы тела, восприятия себя, порога внушаемости. Сравним,

например, три варианта измененного состояния сознания: медитацию, воздействие таких психоактивных препаратов, как инертные газы, и холотропное (учащенное) дыхание. В первом случае будут характерны плавный вход, относительно неглубокое состояние и быстрый выход; как только человек отвлекается или решает выйти из медитации, он возвращается в нормальное, обычное состояние сознания. С психоактивными препаратами обычно уже довольно глубокое ИСС, длительность которого определяется фармакодинамикой: пока препарат в крови, пока он не разрушается ферментными системами, это состояние продолжается. Если рассматривать холотропное дыхание, то здесь мы тоже наблюдаем довольно быстрый вход и глубокое погружение; сеанс холотропного дыхания может вызвать интенсивные трансперсональные переживания. Этот процесс, согласно результатам наших исследований, не может поддерживаться более полутора-двух часов. Если человек продолжает интенсивно дышать дольше, он автоматически выходит в нормальное состояние сознания, так как начинают работать системы организма, компенсирующие избыток алкалоз.

Итак, график по глубине и скорости входа у всех техник будет разный, но наиболее плавным он будет как раз при медитации.

— **Сейчас много пишут и говорят о важности и пользе медитативных техник. Далай-лама призывает включать уроки медитации в программы обучения школьников (это уже делается в Индии и некоторых западных странах). Он считает, что современные люди не уделяют внимания «психической гигиене», «гигиене ума» и в результате не могут совладать с негативными мыслями и разрушающими эмоциями в повседневной жизни. Вы согласны с этим?**

— Полностью согласен. Приведу следующую аналогию из близкой мне области — космической медицины. Когда стали готовиться к первым длительным космическим полетам, возникла проблема гиподинамии: в невесомости происходит быстрая потеря мышечной, костной ткани, возникает множество других проблем. После возвращения из длительного полета на Землю космонавт уже не мог стоять, то есть он дезадаптировался к гравитации. Наши сотрудники разработали специальный комплекс упражнений, космонавты каждый день их выполняют



Процедура психокоррекции с использованием ингаляции инертных газов

в полете и при возвращении на Землю чувствуют себя относительно нормально.

У современного западного человека развилась своеобразная «психическая гиподинамия»: он живет в комфортных условиях, у подавляющего большинства все есть для безопасной жизни, и в результате возникает масса невротических потребностей, на которых человек заикливается, особенно если у него есть доступ к каким-то гламурным безделушкам, развлечениям, чему-то еще. И эта психическая гиподинамия привела к тому, что, с одной стороны, люди не могут справляться со стрессами, отрицательными эмоциями, а с другой — стремятся к острым ощущениям, и хорошо еще, если это экстремальные виды спорта, путешествия, но часто это саморазрушающее поведение: наркотики, игромания и другие вредные привычки.

Медитативные практики — прекрасное средство от «психической гиподинамии». Они не только могут компенсировать, деформировать реакции гнева, но и в ряде случаев, особенно если используется так называемая аналитическая медитация, помогают разобраться в конфликте, жизненных отношениях, выбрать правильную стратегию поведения, найти решение, выход из казавшейся безвыходной ситуации на каком-то другом, не видимом из обычного состояния сознания уровне.

Такой ментальный фитнес с помощью медитативных техник подобен обычному физическому фитнесу для человека с неразвитой мускулатурой и ему просто необходимо. ■

Беседовала Елена Кокурина

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

РОССИЯ — РОДИНА ДИНОЗАВРОВ?

О том, чем живет современная российская палеонтология, мы побеседовали с директором Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН академиком Алексеем Владимировичем Лопатиным.



Тарбозавр — гигантский хищный динозавр из Монголии, 70 млн лет, Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова ПИН РАН



Академик А.В. Лопатин

— **Алексей Владимирович, что вас на излете советской эпохи толкнуло изучать такую непрактичную науку, как палеонтология?**

— Не согласен с тем, что палеонтология такая уж «непрактичная». Все-таки исторически наша наука развивалась как вспомогательная геологическая дисциплина, практический смысл которой состоял в определении возраста осадочных горных пород, что нужно для поиска полезных ископаемых. Так было, и так остается, эту нашу функцию никто не отменял. Мы постоянно детализируем, оттачиваем наш хронологический инструментарий. Кроме того, только с помощью палеонтологии можно понять механизмы эволюции и индивидуального развития организмов, в том числе различных патологий, а это необходимо фундаментальной медицине.

— **Это очень важно.**

— И, наконец, современный «биосферный подход», который мы исповедуем: вся совокупность палеонтологических и геологических данных на конкретных отрезках времени и кризисных рубежах позволяет нам изучать симптоматику созревания и течения экосистемных кризисов, что имеет прогностическое значение и востребовано как экологией, так и, например, глобалистикой (естественно, в части изучения последней глобальных кризисов). И не будем забывать, что палеонтология — это одна из наук, которая формирует, и делает это достаточно увлекательно, научное мировоззрение современного человека, что само по себе имеет огромное значение для экономики.

— **Тем не менее, думаю, вас тогда привлекла не практическая составляющая, а что-то иное...**

— В целом меня увлекло огромное разнообразие ископаемых животных и растений. Сначала

заинтересовали современные живые организмы, но потом, уже изучая их и посвященную им литературу, я понял, что это разнообразие неизмеримо увеличивается при ретроспективном взгляде на эволюцию органического мира. В общем, сверхидея моя была и до сих пор остается такой: как можно больше узнать о былом биологическом разнообразии, где еще столько неизвестного, неизвестного и очень интересного.

— **Наверное, японский фильм «Легенда о динозавре», который в советских кинотеатрах крутили весь 1977 г., тоже сыграл свою роль? Помню, мы на него всем классом сбегали...**

— Тогда, в 1970-е гг., мы не были избалованы большим количеством хороших фильмов, связанных с древними животными, таких как снятые уже в 1990-е гг. «Парк юрского периода», «Прогулки с динозаврами» и т.д. Поэтому тот фильм для нас, школьников, был сенсацией. Я его смотрел, кажется,

дважды. Но меня больше увлекали книги — «Плутония» В.А. Обручева, «В мире древних животных» Ю.А. Орлова, «Борьба за огонь» Жозефа Рони — старшего, повести И.А. Ефремова... Да и в художественной литературе, даже в поэзии, я старательно выискивал все об ископаемых существах. Например, у В.В. Маяковского, «Гимн ученому»:

*Вгрызлись в букву едящие глаза —
ах, как букву жалко!*

*Так, должно быть, жевал вымирающий ихтиозавр
случайно попавшую в челюсти фиалку.*

— **Это же, насколько я помню, сатира на ученого, которому неинтересно, что человек «глуп и покорен», зато «он может ежесекундно извлекать квадратный корень».**

— Иронию автора я, конечно, замечал, но на свой счет тогда не относил. Или Н.С. Гумилев, «Шестое чувство»:

*Как некогда в разросшихся хвощах
Ревела от сознания бессилья
Тварь скользкая, почуя на плечах
Еще не появившиеся крылья.*

Вот как поэтично описывается происхождение крылатых ящеров — птерозавров.

— **Но сейчас появилось много новых интересных книг, про фильмы я уж и не говорю. Смотришь — и на самом деле кажется, что съемочную группу забросили на 100–150 млн лет назад. Те наши старые зачитанные библиотечные книги, наверное, уже потеряли актуальность?**

— Ни в коем случае. Конечно, сейчас доступно много качественной литературы, написанной

современными, вооруженными самыми последними знаниями авторами, и в ней содержится много новой информации, которую ни Обручев, ни Ефремов знать просто не могли. Но по эмоциональному воздействию те книги по-прежнему на высоте, и юному, только набирающемуся опыту человеку прочесть их очень важно.

— **Чтобы не просто узнать, но почувствовать?**

— Конечно. Ведь любая информация становится интересной лишь тогда, когда относится к объекту, который ты любишь, которым увлечен. Человеку, который не любит палеонтологию, абсолютно все равно, для чего трицератопсу были нужны рога и костяной воротник или чем питался спинозавр.

— **Но все это были книги и фильмы, другими словами — теория. А что с практикой, какой была ваша первая палеонтологическая находка?**

— В 1991 г., после окончания третьего курса кафедры палеонтологии геологического факультета МГУ, я поехал в свою первую экспедицию — в Казахстан. Организовал и возглавил ее заведующий лабораторией млекопитающих Палеонтологического института АН СССР В.Ю. Решетов, крупный специалист по ископаемым непарнокопытным, прежде всего тапирам и носорогам. В Северном Приаралье мы раскапывали скелеты гигантских носорогов и других зверей возрастом около 23 млн лет. На следующий год в тех же местах мне доверили самостоятельный маршрут, на котором я обнаружил костеносную линзу.

— **Костеносная линза — это что-то типа кладбища динозавров и мамонтов?**

— Нет. Это такое место, в котором благодаря каким-то местным особенностям, например течению или повороту реки, скапливались кости и другие останки. Как правило, такая линза занимает достаточно большой объем и на ней можно работать несколько лет. Но бывают и маленькие, компактные скопления, которые вырабатываются за один сезон. Так было и в тот раз в Приаралье. В обнаруженной мной линзе оказалось много костей млекопитающих, в том числе фрагмент нижней челюсти древнего ежа, которого я позже описал как новый для науки ископаемый вид животных. Это был первый описанный мной вид, вообще же на данный момент их больше 120. Эту находку я и запомнил как первую.

— **Тот еж сильно отличался от современных собратьев?**

— Да. Это была самостоятельная вымершая группа так называемых короткомордых ежей,

которые обладали ярко выраженными хищническими адаптациями. От современных он заметно отличался строением зубного аппарата.

— **У него были большие клыки?**

— У него резцы, передние зубы, были похожи на клыки. Кроме того, у него был увеличенный зуб, который напоминает лезвиеобразный хищнический зуб некоторых представителей семейства кунных. Это был мелкий хищник, охотившийся на других мелких позвоночных — грызунов, ящериц, лягушек и т.д.

ЭПОХА ПЕРЕМЕН

— **Вы занимаетесь мезозоем, достаточно трагической эпохой, завершившейся 65 млн лет назад столкновением Земли с Чикшубским астероидом. Динозавры вымирают, млекопитающие торжествуют. На чьей стороне ваши симпатии?**

— Я занимаюсь не только мезозоем, но и кайнозоем, то есть временами, когда на нашей планете уже существовали млекопитающие. Да, вы правы, тема массового вымирания на рубеже мезозоя и кайнозоя весьма популярна, хотя роль астероида в этом событии не нужно преувеличивать. Вероятно, это была уже та самая соломинка, которая сломала спину верблюда. Или, что еще точнее, ложка дегтя в бочке дегтя. А мои симпатии, конечно, на стороне млекопитающих. Они в финале мезозоя тоже серьезно пострадали, но сумели выжить и вместе с птицами — кстати, как теперь считается, потомками одной из групп динозавров — быстро стали доминирующей группой позвоночных животных. Мы обычно не задумываемся, что более чем две трети истории нашего собственного класса — млекопитающих — прошли в мезозое,



Мамонт — символ российской палеонтологии, Сибирь, Гыданский полуостров, 40 тыс. лет, Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова ПИН РАН

во времена господства рептилий, а вовсе не в родном нашем кайнозое. А значит, большинство важных эволюционных приобретений у млекопитающих возникло в то время. Среди них появились подземные, водные, древесные и даже планирующие формы. Некоторые имели ядовитые шпоры для защиты от динозавров, охотившихся на них. Динозавры были наиболее активны днем. Поэтому млекопитающие стали преимущественно сумеречной и ночной группой, у которой сформировались прекрасные обоняние и слух. В результате у них усложнилось поведение, увеличился мозг. То есть именно в мезозое сформировались те их важнейшие черты, которые мы привыкли с ними связывать. Вообще, они представляли для динозавров такую конкурирующую корпорацию, начавшую свою историю с жалких остатков зверообразных рептилий, которые господствовали на суше до динозавров, а на время «царствования» последних как бы ушли в тень. Многие книги, посвященные этой теме, так и называются: «Под ногами динозавров», «В тени динозавров» и т.д.

— **Конечно, мелкие какие-то по земле ползают — что за конкуренты?**

— Это правда, тогда млекопитающие еще не могли похвастать большими размерами. Самый крупный из них, хищный репеномам, достигал размеров современного барсука. Но этот древний «барсук» питался в том числе и детенышами динозавров. Так что серьезная конкуренция в мезозое уже была. В 1990-е гг. мы открыли первых мезозойских млекопитающих на территории России. До того наша страна оставалась в этом отношении большим белым пятном, хотя мезозойские млекопитающие изучаются достаточно давно, с XIX в. Сейчас нам по всей стране известно уже полтора

десять их местонахождений, и процессы эволюции млекопитающих мезозоя мы изучаем с особым вниманием.

— **Но ведь в те времена, в мезозое, если я правильно помню, на территории России плескалось хоть и неглубокое, но все же море. Откуда тут млекопитающие?**

— Да, европейская часть России была покрыта Среднерусским морем, в Сибири также располагались обширные морские бассейны. Но суша была рядом, и были многочисленные острова.

— **В этом случае кроме млекопитающих у нас должны быть и динозавры?**

— Вышло так, что долгое время остатков динозавров в России не находили. Известна насмешливая фраза знаменитого американского палеонтолога Отниела Марша: «Динозавры России, как и змеи Ирландии, примечательны только тем, что их нет».

— **А в Ирландии нет змей?**

— Нет. Считается, что они после окончания последнего ледникового периода просто не успели заселить этот удаленный остров. Для американцев и англичан слова Марша были понятной аллюзией. Это был конец XIX в., времена «динозавровой лихорадки», когда в Соединенных Штатах развернулась целая охота за костями динозавров. Марш и его вечный коллега-соперник Эдвард Коп соревновались по числу описанных видов динозавров. Марш описал более 400 видов ископаемых животных, в том числе 86 видов динозавров, включая бронтозавра, апатозавра, трицератопса, торозавра, диплодока, стегозавра, аллозавра, нодозавра, а также птерозавров, ранних лошадей-эогиппусов, первых птиц и т.д.

— **А Коп?**

— По позвоночным в целом он Марша обошел, описав более 600 видов. А вот конкретно в динозаврах отстал — всего 56. Но, несмотря на такое отношение к нам ведущих палеонтологов того времени, на огромной территории Российской империи, которая включала ряд ныне самостоятельных стран, на самом деле остатков этих древних животных тоже было довольно много. Например, позже их нашли в Казахстане и Средней Азии. Просто у нас их не искали специально в отличие от Америки и Западной Европы. Уже потом местонахождения динозавров были открыты в 1915 г. в Сибири, ближе к революции — на Дальнем Востоке, в 1930-е гг. — в Крыму, затем в Поволжье и даже Подмосковье.



Скелет индрикотерия — гигантского носорога из Казахстана, 35 млн лет, Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова ПИН РАН

Недавно мы обнаружили массовое захоронение небольших растительноядных динозавров-пси-такозавров, так называемых ящеров-попугаев, в Кемеровской области, у села Шестаково Чебулинского района. В этом захоронении оказались вместе и детеныши, и матерые «старики» — видимо, там утонула целая семейная группа. Это растительноядный динозавр, раньше считавшийся одним из самых мелких для своего времени. Но наши пситтакозавры оказались воистину сибирскими богатырями.

— **Ящер-попугай размером со страуса?**

— Самые крупные из них, судя по найденным черепам, достигали размеров теленка. Теперь этот ящер, пситтакозавр сибирский, изображен на гербе Чебулинского района. Но помимо пситтакозавров мы там нашли остатки других динозавров, крокодилов и млекопитающих — трикодонтов, докдонтов и симметродонтов. Вообще Шестаково — первое, открытое нами еще в 1995 г., местонахождение мезозойских млекопитающих в России. Для меня как специалиста по млекопитающим это более важно, чем то, что там богатый комплекс динозавров.

— **То есть мы по праву можем сказать, что Россия — родина не только слонов?**

— Можем, конечно, таких примеров множество. Та же Сибирь, как мы установили в этом году, в середине юрского периода стала центром происхождения мультитуберкулята — своеобразной группы мезозойских растительноядных млекопитающих, чем-то похожих на современных грызунов. Эти зверьки с многобугорчатыми зубами позже, уже в конце юрского и в меловом периоде, широко распространилась по всему миру, на 25 млн лет пережили динозавров и исчезли в результате конкуренции как раз с появившимися грызунами. А в Архангельской области, на Зимнем берегу Белого моря, известна уникальная древняя биота первых крупных многоклеточных организмов возрастом 555–560 млн лет.

— **Но ведь Архангельская область — край не особенно благоприятный для появления жизни. Или полмиллиарда лет назад там был совершенно иной климат?**

— И климат был другой, и территория нынешней Архангельской области тогда могла находиться намного южнее из-за движения континентов, совсем близко к Южному полюсу, судя по палеогеографическим реконструкциям. Но, действительно, считается, что глобальное понижение температуры запустило процессы в атмосфере и гидросфере, которые оказались благоприятны для развития именно многоклеточных организмов в ущерб царившим тогда цианобионтам. Для цианобактерий (иначе их еще называют сине-зелеными водорослями), которые сейчас можно увидеть, например, когда в водоеме «цветет» вода, наиболее благоприятны высокие



Скелет диатримы — гигантской бегающей птицы из Северной Америки, 54 млн лет, Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова ПИН РАН

температуры и отсутствие кислорода. А многоклеточные организмы как раз и возникли в незанятых ими холодных оазисах и уже со временем распространились по всей планете, отодвинув цианобионтов на второй и третий план.

ХОЛОД – НЕ ПОМЕХА

— **Какими последними находками может гордиться отечественная наука?**

— Нам есть о чем рассказать, хотя иногда от самой находки до начала ее изучения проходит немало времени. Скажем, в прошлом году в фондах Коломенского краеведческого музея мы нашли уникальный череп ископаемого европейского водяного буйвола эпохи позднего плейстоцена.

— **Буйвол в наших широтах?**

— Да, не зубр, не бык, а именно буйвол, южное, теплолюбивое животное. Раньше этих ископаемых животных находили лишь в Германии, Нидерландах и во Франции. Но вообще-то сам череп был найден еще в 1939 г. у села Лукерьино, в 4,5 км к западу от Коломны, на реке Коломенке, правом притоке реки Москвы.

Нашему Палеонтологическому институту РАН в этом году исполняется 90 лет. За это время и найдено много, и сделано порядком. У нас работают специалисты по самым разным группам организмов — от бактерий до приматов. Каждый год мы выезжаем в несколько десятков экспедиций в разные регионы России, а также в Монголию, где

Скелет престоуха — предшественника динозавров, Бразилия, 240 млн лет, Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова ПИН РАН



наша совместная экспедиция работает уже 50 лет, и в другие страны: например, в последние годы — на Кубу и во Вьетнам. Интересных и важных находок очень много. Я бы особо выделил открытие в 2018 г. неожиданно древней, возрастом более 1,5 млн лет, плейстоценовой фауны позвоночных в пещере Таврида в Крыму.

— **Пещера Таврида рядом с трассой «Таврида»?**

— Да, ее как раз и обнаружили при строительстве автотрассы. А в ней — древнейшая пещерная фауна в России, этакий окаменевший «затерянный мир» Крыма. Мы нашли там, в частности, кости гигантского страуса — самой крупной птицы Северного полушария всех времен. И это стало мировой сенсацией.

— **Каких размеров эта птица была?**

— Высотой около 3,5 м и весом порядка 450 кг. Она уступала только некоторым особо крупным австралийским и новозеландским птицам, но это уже Южное полушарие. Если в пещере будут найдены останки древних людей, что вполне возможно, учитывая всю совокупность палеофаунистических данных, это станет огромным научным достижением. Кроме того, на территории России найдены разнообразные удивительные насекомые (у нас в институте очень сильная палеонтологическая научная школа), древние микроорганизмы возрастом несколько миллиардов лет и многое другое. Есть еще кладбище древних китов в Крыму, тропические птицы на острове Ольхон на Байкале и полярные динозавры, обнаруженные в якутском местонахождении Тээтэ.

— **Якутия тогда находилась южнее?**

— Нет, Тээтэ в начале мелового периода располагалось в высоких широтах, за полярным кругом. Большую часть времени там стояла полярная ночь, и местные динозавры должны были как-то приспособиваться к такому экстремальным условиям. Удивительно, что там обнаружены и останки гигантов-завроподов с длинными шеями, как у диплодоксов, брахиозавров, бронтозавров и т.д. Причем вместе с взрослыми особями найдены и детеныши, а это значит, что динозавры в этих местах могли размножаться, а не просто мигрировали на более благоприятные территории.

— **Но ведь динозавры — холоднокровные животные. Следовательно, в холодных местах они жить просто не могли?**

— Конечно, холоднокровные рептилии избегают таких областей, но многие динозавры, скорее всего, были инерционно-теплокровными.

— **То есть способными долго сохранять накопленное за день тепло? Ну да, огромные динозавры, прогревшись за день, могут просто не успеть остыть за ночь, это не маленькие ящерицы, для которых даже незначительное похолодание уже критично.**

— А другие, хоть и небольшого размера, но покрытые перьями, скорее всего, уже имели постоянную высокую температуру тела. Поэтому они могли жить и в высоких широтах при достаточно выраженном дефиците тепла. В принципе, этот факт известен. Так, еще в 1980-х гг. на берегу австралийского штата Виктория были найдены останки лиеллиназавра — ходящего на двух ногах растительноядного динозавра длиной около 2 м. Во времена его жизни это место находилось за Южным полярным кругом. Сейчас известно несколько видов динозавров из Антарктики.

— **Про мамонтенка Диму знают все. Может, если хорошо поискать, получится найти и замрзшего динозавренка?**

— Не получится. Многолетнемерзлый комплекс пород сформировался уже в плейстоцене, его основная часть унаследована от последней ледниковой эпохи, а динозавры жили на 65 млн лет раньше.

ЗАМРИ, УМРИ, ВОСКРЕСНИ!

— **Периодически по телевидению, в прессе, в интернете проскакивает информация о том, что где-то рыбаки выловили или охотники**

встретили невиданное ранее существо. Йети, лох-несское чудовище и т.д. Большая часть этих историй оказываются мифами, в остальных невиданные животные на поверку оказываются хорошо известными науке. Есть ли вероятность встретить в океанской глубине или в бразильских джунглях кого-то, кого палеонтологи считают исчезнувшим миллионы лет назад?

— Есть не просто вероятность, а реальные примеры. Про латимерию знают все.

— Рыба, которую считали вымершей больше 65 млн лет назад и которую живой и здоровой выловили во второй трети прошлого века.

— И не одну, теперь их известно два вида. Еще один интересный и более близкий мне пример — современный грызун лаонестес, или лаосская скальная крыса, открытый в 1996 г. Он принадлежит к семейству диатомиид, которое раньше было известно только в ископаемом состоянии и считалось вымершим 11 млн лет назад. Интересно, что за последние 11 млн лет ископаемых находок диатомиид нет. Но сам факт, что открытый современный вид относится к считавшемуся давно вымершим семейству, палеонтологов не сильно удивил. Это явление, когда какая-то группа организмов надолго выпадает из палеонтологической летописи, а потом снова появляется, как бы «воскресает», получило очень символическое название — «эффект Лазаря». Есть еще примеры, просто этот мне кажется наиболее ярким. Мы же привыкли к мысли о том, что про современных млекопитающих знаем почти все.



Гиперморфокринус — древняя морская лилия из Башкирии, 290 млн лет, Палеонтологический музей им. Ю.А. Орлова ПИН РАН

— И есть много проектов по воскрешению действительно давно вымерших животных: мамонтов, саблезубых тигров, шерстистых носорогов.

— Увы, ископаемые материалы нужной степени сохранности мягких тканей животных пока не встречались. Но зато есть данные об успешном проращивании семян растений, сохранившихся в вечной мерзлоте. Я уже не говорю о случайно или намеренно воскрешенных бактериях и вирусах.

— Думаю, вам сложно будет назвать любимыми экспонат Палеонтологического музея вашего института, поэтому упрощу вопрос: назовите три любимых экспоната?

— Ну, их гораздо больше. В нашем музее, а это один из крупнейших естественно-исторических музеев в мире, более 6,5 тыс. экспонатов, и почти все уникальные. Но на первом месте для меня — скелет индрикотерия. Это один из тех самых гигантских носорогов, которых мне довелось раскапывать в Казахстане в моих первых экспедициях. Серебро и бронзу выбрать трудно. Ну, скажем, если у меня на экскурсию будет только полчаса, я покажу вам скелет мамонта, который «встречает» гостей во вводном зале, плиту с древнейшими многоклеточными организмами с Зимнего берега Белого моря, прекрасную древнюю морскую лилию, «стадо» пермских ящеров, раскопанных на рубеже XIX и XX вв. профессором В.П. Амалицким, с которых начинался наш музей, «беременную» самку рыбацера-ихтиозавра, хищного тарбозавра (ближайшего родственника тираннозавра) и растительноядного зауролофа, которых добыл И.А. Ефремов, знаменитый писатель и ученый, 30 лет проработавший в нашем институте. Затем огромного диплодока, гигантскую нелетающую птицу диатриму, уже упомянутого индрикотерия. Мы никак не пройдем мимо пещерных медведей, черепа трогонтериевого слона, который был намного больше мамонта, скелета большерогого оленя...

— Успеем ли за полчаса?

— Вряд ли.

— А если бы вам предложили отправиться в экспедицию в мезозой, какой период вы бы выбрали?

— И триасовый период, и юрский, и меловой — все по-своему интересно, но я бы выбрал меловой. Причем позднемеловую эпоху, скажем, за тысячу лет до начала массового вымирания. Когда в экосистемах все уже было не очень хорошо, но катастрофа еще не произошла. Было бы интересно посмотреть на предков многих групп ныне живущих млекопитающих, на птиц, совершенно непохожих на современных, на насекомых и других замечательных существ. Да и на динозавров... ■

Беседовал Валерий Чумаков

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОЧИНКИ ГЕНОМА

*из Курчатовского
института*

Огромное количество людей сейчас обеспокоены вопросами, болели ли они *COVID-19* и выработались ли у них антитела. Или, скажем, заболело горло, поднялась температура — это «оно» или просто легкая простуда, при которой не нужно вызывать врача и бить тревогу? Все эти вопросы нередко становятся причиной панических настроений, поскольку все тесты оказываются неточными, а результата ПЦР-диагностики порой приходится ждать неделю и больше. Об этом и многом другом — наш разговор с Максимом Владимировичем Патрушевым, заместителем руководителя Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт», кандидатом биологических наук.



Кандидат биологических наук М.В. Патрушев

— **Максим Владимирович, в Курчатовском геномном центре впервые в России проведено глубокое секвенирование отечественного сорта пшеницы «Саратовская». Расскажите, что это за исследование, чем оно интересно и почему важно.**

— Хотел бы начать с того, что в России до начала XXI в. не существовало современных возможностей для полной расшифровки генома. Президент НИЦ «Курчатowski институт» М.В. Ковальчук и академик К.Г. Скрябин создали в Курчатовском геномном центре генетическое подразделение, где впервые в нашей стране было проведено полномасштабное секвенирование генома человека. Россия стала восьмой страной в мире, которая сумела это сделать. Эти работы дали мощный толчок развитию технологий геномного секвенирования у нас в стране, создали базу для развития генетических исследований на новом уровне. Тут можно провести аналогию с событиями 1950-х гг., когда И.В. Курчатov и А.П. Александров по сути спасли отечественную генетику, создав в нашем институте генетический отдел.

Сегодня в Курчатовский геномный центр входят восемь ведущих научных организаций России, и в целом его программа направлена на развитие генетических исследований в области промышленных биотехнологий и сельского хозяйства. Что такое генетические технологии в сельском хозяйстве? Это прежде всего создание новых сортов сельскохозяйственных растений и животных. Сейчас мы сосредоточены

на растениях. Пшеница, как известно, относится к стратегическим культурам, поэтому знания о структурно-функциональных характеристиках генома пшеницы чрезвычайно важны.

— **А для чего нужны такие знания?**

— Они нужны для того, чтобы понимать, как и на что мы можем целенаправленно воздействовать, чтобы получать более ценные хозяйственные признаки у этого растения. Например, повышенная сахаристость или какие-то другие признаки, которые позволят использовать пшеницу в промышленных биотехнологиях. Ведь пшеница важна не только и даже не столько как пищевой продукт для людей и корм для животных — это один из главных видов сырья для биотехнологической промышленности. Поэтому принято решение, что совместно с Институтом цитологии и генетики в Новосибирске и Институтом сельскохозяйственных биотехнологий мы будем заниматься получением этих знаний о структуре генома отечественных сортов пшеницы.

— **Но почему именно «Саратовская»? Она какая-то особенная?**

— Мы работаем с рядом отечественных сортов, которые представляют наибольший интерес с точки зрения ценных признаков. Например, «Саратовская-29» — это сорт, который лежит в основе многих других отечественных сортов пшеницы, успешно применяемых в ряде регионов России. Именно поэтому и было принято решение начать с нее: ее гены присутствуют в других сортах. Первый этап — это секвенирование, то есть получение последовательностей ДНК этого сорта. Уже разрабатываются технологии, с помощью которых мы сможем направленно редактировать эту пшеницу для внесения определенных признаков. Но на первом этапе мы должны прочитать ее геном, чтобы точно знать, куда именно в геноме вносить изменения.

— **Речь идет не о трансгенной модификации, а именно о редактировании генома?**

— Да, и это надо особо подчеркнуть. Это не трансгенная мутация. Никакие гены извне не привносятся, будут производиться манипуляции с собственным геномом пшеницы для улучшения тех признаков, которые выберут селекционеры.

— **Я слышала, что пшеница с генетической точки зрения — очень сложно устроенный организм. Это действительно так?**

— Да, с точки зрения организации генома это один из самых сложных организмов. Вообще, растительные геномы часто преподносят нам сюрпризы по части и размеров, и организации. Сложность заключается в том, что у пшеницы полиплоидный геном, то есть очень много повторяющихся хромосом. С точки зрения секвенирования и так называемых мокрых лабораторных процедур разницы между ней и другими растениями нет, а с точки зрения последующей биоинформатической обработки появляется масса задач, которые непросто решать. Надо сказать, что пшеница и картофель, если мы говорим о сельскохозяйственных культурах, — наверное, одни из самых сложных природных объектов. В свое время даже был создан международный консорциум по расшифровке генома пшеницы, где многие страны бились над этой задачей.

— Учеными из вашего геномного центра было обнаружено девять нуклеаз, часть из которых уже получена лабораторными методами, и проводятся испытания их активности. Расскажите, пожалуйста, что это такое.

— Курчатовский геномный центр в рамках своей деятельности исследует различные организмы для того, чтобы мы не только обладали знаниями, но и находили новые молекулярные инструменты, с помощью которых можно производить манипуляции с геномом. Так называемые РНК-направляемые нуклеазы, на основе которых создаются системы для редактирования геномов, — один из таких инструментов. Самая известная из нуклеаз —

CRISPR/Cas9. О ней написано и сказано много, но на самом деле нуклеаз, аналогичных *Cas9*, которые могут с помощью РНК узнавать какой-то участок на геноме и участвовать в его редактировании, на сегодня достаточно много. И каждая из них обладает определенными характеристиками, которые могут быть в одних случаях полезны, в других — не очень. По сути, нуклеазы — это разнообразные инструменты для редактирования. И чем больше мы таких нуклеаз найдем, тем больший простор для действий у нас появится. Разработка инструментов для редактирования генома, придания живым организмам тех функций, которые им не всегда свойственны, — одно из приоритетных направлений работы Курчатовского геномного центра.

— В чем уникальность этих девяти открытых вами нуклеаз?

— Функциональная уникальность только исследуется, но примечательно то, что раньше в этих микроорганизмах таких ферментов не находили. В их изучении мы сейчас находимся на стадии исследований, поэтому, думаю, нас ждет еще немало сюрпризов. Если у них окажутся функции, которых не было у других нуклеаз, это будет важное открытие.

— А где вы берете все эти молекулярные инструменты? Ведь они, как я понимаю, могут находиться где угодно.

— Интересный вопрос. Действительно, мы научились находить все это в природе, выделять в отдельную систему и использовать вне природного носителя. Сегодня у нас есть возможность осуществлять поиск в различных экосистемах. В рамках

СПРАВКА

В Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» в рамках нацпроекта «Наука» создан один из трех геномных центров России. Президент НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Ковальчук инициировал создание под эгидой института консорциума крупнейших организаций в области генетических исследований. В их числе ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН», Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Московский физико-технический институт и др. — всего восемь ведущих научных и образовательных учреждений

России, реализующих общие задачи, направленные на развитие двух из четырех направлений Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019–2027 гг. Разработки технологий в области сельского хозяйства и промышленных биотехнологий призваны решать самые важные экономические задачи, такие как обеспечение продовольственной безопасности, создание нового технологического уклада, ориентированного на все большее внедрение природоподобных технологий.

Программа развития Курчатовского геномного центра мирового

уровня включает в себя полный цикл исследований и разработок геномов, а дорожная карта предусматривает разработку методов редактирования генома сельскохозяйственных растений, получение новых линий сельскохозяйственных растений, создание генетических баз данных объектов живой природы (цифровых двойников), важных для экономики России, разработку и внедрение большого количества микробных продуцентов для производства широкого спектра соединений — от кормовых аминокислот до лекарственных субстанций.

своей работы мы исследуем и бактерии, которые живут во льдах Арктики, в горячих источниках и других уникальных экосистемах. Хотя в обычной почве в любом московском дворе тоже можно найти очень много интересных бактерий, в которых обнаружатся какие-то важные инструменты.

— У вас есть какой-то пополняемый банк таких микроорганизмов?

— Один из источников для исследований у нас — биоресурсный центр или, проще говоря, огромная коллекция (порядка 25 тыс. штаммов микроорганизмов) НИЦ «Курчатовский институт» — ГосНИИгенетики. В основном это промышленные микроорганизмы, но от этого они не менее интересны с точки зрения своего внутреннего содержания. Одно из направлений нашей работы — оцифровка этой коллекции, то есть мы секвенируем ее объекты. К концу года у нас будет отсеквенировано уже более тысячи штаммов. Таким образом мы получаем информацию о структуре геномов микроорганизмов, в которых осуществляем поиск каких-либо молекулярных инструментов, в том числе нуклеаз.

Недавно мы обнаружили одну из таких нуклеаз, которая обитает в микрофлоре человеческого кишечника, в бактерии рода *Ruminococcus*. Мы предполагаем, что она подобна *Cpf1*. В первом приближении она функционирует так же. Так что с таким материалом, как микробиота человека, мы тоже работаем, и очень плотно. Ведь мы знаем, что масса организмов живут у нас в кишечнике, на коже, и все они тоже представляют собой очень интересные объекты, отдельные экосистемы. В таком ракурсе каждый из нас — особая планета. А если

говорить об информации, которую можно таким образом получить, то это не менее богатый кладезь ферментов, чем какая-нибудь экзотическая почва.

— Каким образом вы нашли эту кишечную бактерию?

— В большинстве случаев биоинформатики используют различные методы анализа гомологий, когда с помощью определенных математических алгоритмов мы можем найти нечто общее — то, что может оказаться геномом нуклеазы. Но мы предположили, что не всегда гены, которые кодируют те или иные ферменты с похожими функциями, могут быть одинаковы. Мы не первые задались этим вопросом. Следующий вопрос — как искать? Мы нашли некую закономерность: если организм производит нуклеазы, то в нем обычно присутствуют определенные гены, которые к этой нуклеазе прямого отношения не имеют. То есть вначале мы находили эти «сторонние» гены, а затем, решая обратную задачу, искали нуклеазы. Именно таким хитрым путем мы обнаружили этот фермент в геноме бактерии, которая до нас была уже хорошо исследована, но этот фермент в ней не находили.

— Какое прикладное значение может иметь открытие, связанное с этой нуклеазой?

— В зависимости от того, какие функции у этого фермента обнаружатся, у нас в руках будет еще один инструмент, важный для практической работы. Тут возможностей море — надо лишь определить задачи. Вы ведь не можете забить гвоздь без молотка, правильно? Сейчас для того, чтобы что-то отредактировать даже в экспериментальных целях, мы, как правило,



Фокусируемый ультразвуковой дезинтегратор, используемый для фрагментации ДНК (слева); экстрагирование ДНК в лаборатории Курчатовского геномного центра (справа)

покупаем ферменты за границей, нам их привозят в виде наборов, где все отлажено. А теперь у нас появляется отечественный «молоток», с помощью которого мы можем забивать именно те «гвозди», которые нам нужны. Этот «молоток» может обладать также целым набором дополнительных функций.

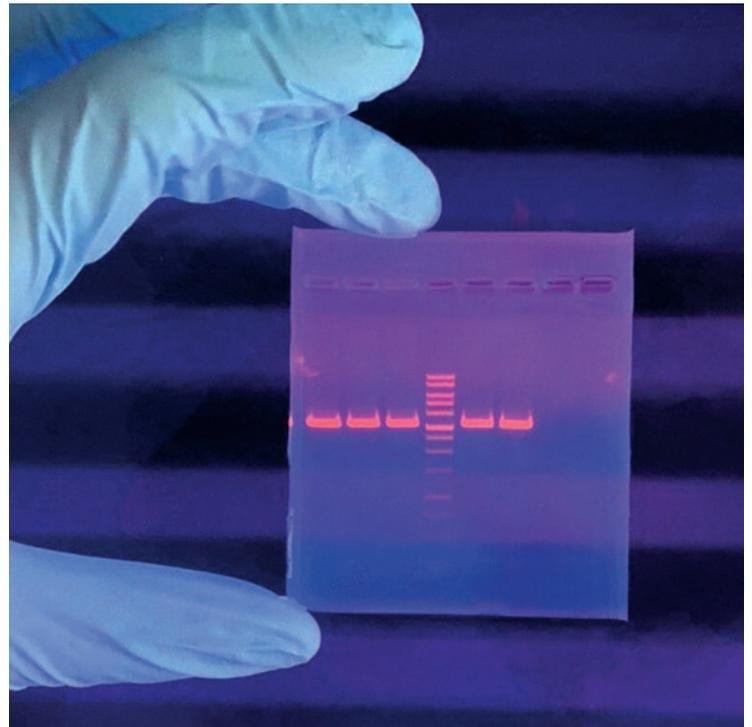
Применительно к системам редактирования геномов все это нужно для того, чтобы создавать новые штаммы-продуценты. В основном это микроорганизмы, представляющие собой своеобразные биохимические фабрики. Теоретически такую фабрику можно настроить на производство любого субстрата. В наши же задачи входит создание штаммов для производства, например аминокислот — едва ли не самого главного кормового компонента для животноводства.

— А ведь сегодня основную часть аминокислот мы тоже закупаем, поскольку отечественная промышленность по их производству была разрушена. Вы занимаетесь ее возрождением?

— В Советском Союзе на базе того самого генетического отдела Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, преобразованного в 1968 г. в крупнейший генетический центр ГосНИИгенетика, была создана одна из самых современных на тот момент биотехнологическая промышленность. Эта отрасль почти полностью покрывала внутренние запросы страны, производя продукцию для фармацевтики, сельского хозяйства и т.д. Но в результате событий 1990-х гг. эта отрасль практически прекратила свое существование. Сегодня ясно, что нам снова нужны собственные современные технологии. А сырью, той же пшеницы, у нас даже переизбыток. Часть этого сырья продается, часть используется в хлебопекарной промышленности, в кормах, а часть просто не перерабатывается, потому что нет технологий и мощностей. Вот для этого мы ищем новые инструменты редактирования, чтобы создавать в том числе продуцентов соединений, которые важны для сельского хозяйства.

— Одна из самых актуальных тем вашего геномного центра — производство тестов, с помощью которых можно определять вирусы без лабораторного оборудования. Чем эти тесты отличаются от всех тех, которыми сегодня переполнен рынок?

— Эта тема, как вы понимаете, связана с нынешней пандемией, от которой мы



Электрофорез ДНК в агарозном геле

не могли оставаться в стороне. На сегодня Россия — один из лидеров по количеству тестов на COVID-19. Но сегодня практически все тесты проводятся двумя методами. Первый метод — полимеразная цепная реакция (ПЦР), при помощи которой мы непосредственно обнаруживаем РНК вируса в биологическом материале. Второй — иммуноферментный анализ. В этом случае мы можем обнаружить и сами белки вируса, но обычно обнаруживаем антитела к вирусу и таким образом судим о состоянии человека. Проблема в том, что для острой диагностики годится только метод ПЦР, потому что он прямо обнаруживает наличие вируса в биологическом материале. Метод прекрасен, давно используется, широко себя зарекомендовал. Но один из его недостатков — необходимость наличия лабораторий. Хотя, казалось бы, в XXI в. технологии должны быть такими, чтобы мы могли производить подобный анализ вне лаборатории, а, скажем, прямо у вас дома, когда пришел по вызову врач, или в поликлинике, где нет специализированного оборудования.

— Соответственно, и ждать результата несколько дней не надо.

— Совершенно верно. Сегодня врач приходит, забирает материал, едет в лабораторию и в лучшем случае через два-три дня

пациент получает информацию о наличии или отсутствии у себя вируса. С чем связан недостаток такой ПЦР-диагностики? Всего лишь с тем, что нужно нагревать пробирку, потому что те ферменты, которые используются для полимеразной цепной реакции, работают при высоких температурах. Понятно, что носить с собой печку ни один врач не хочет. А эта печка еще должна быть очень точной.

Смысл нашей разработки сводится к тому, что мы собираем смесь из определенных ферментов, которые по сути делают то же самое, что и обычный тест на основе ПЦР, но без нагрева. Подобные технологии в мире есть, мы здесь не первооткрыватели. Но, во-первых, их мало, во-вторых, их еще никто не использовал для диагностики. Попытки есть и в России, но на основе зарубежных ферментативных смесей. Мы же пошли прямым и простым путем — создать саму технологию, чтобы она была у нас в руках, а не где-то на Западе или Востоке ее покупали. Мы хотим наладить выпуск ферментов. Наша задача как национального исследовательского центра — решить эту проблему и отладить саму технологию изотермической амплификации, а также закрыть ее «компонентную базу», то есть отладить технологию производства необходимых ферментов. Как раз сейчас мы этим и занимаемся.

— Когда ждать готовых тестов?

— Ожидаемый выпуск прототипа такого теста планируется на осень. Конечно, тут нельзя обойтись без вопросов: зачем они будут нужны, если пандемия к этому моменту уже закончится? Здесь я, как правило, отвечаю следующее: во-первых, сегодня на рынок зачастую выходят абсолютно сырые тесты, не готовые к использованию, в результате чего мы наблюдаем так много ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Во-вторых, наша задача — это преодоление технологического барьера. Мы не производители тестов, но можем обеспечить технологическую платформу, чтобы производители тестов имели больше возможностей, большую достоверность, пользовались отечественными компонентами и могли с помощью этой платформы оперативно отреагировать на появление любой новой вирусной опасности. Сегодня как раз такое время, когда надо формировать ответ на этот технологический вызов, который обозначен в стратегии научно-технологического развития нашей страны.

— Ваши тесты могут быть использованы только для диагностики COVID-19?

— Конечно нет. Абсолютно для любого инфекционного заболевания: грипп, гепатит, ВИЧ — что угодно.

— В таком случае упреки в том, что вы слишком поздно это делаете, абсолютно несостоятельны, потому что инфекционные болезни будут с нами всегда.

— Вы правы. Пандемии будут и в дальнейшем, это неизбежно, ведь количество людей на Земле растет, а каждый человек — это резервуар для размножения вирусов. Есть очень много факторов, которые способствуют тому, чтобы появлялись новые инфекционные агенты. К этому надо быть готовыми. Хотя, что греха таить, инфекционными заболеваниями в мире занимаются мало, удельный вес исследований этой тематики был очень низок до последнего времени. Однако надо отметить, что в СССР эти работы велись очень эффективно и широко. Вспомним хотя бы вакцину против полиомиелита в 1950-х гг. Думаю, что именно созданный тогда задел в вирусологии, эпидемиологии позволил России с наименьшими по сравнению с целым рядом других стран потерями выйти из нынешней пандемии.

— Можно ли сказать, что ожидаемые биотехнологические прорывы — один из плюсов пандемии?

— Да, это правда. Сегодня огромные силы мобилизованы в ответ на этот вызов. Даже те лаборатории, которые никогда в жизни не занимались вирусами, на них переключились. Безусловно, мы получим важные результаты, хотя на это требуется какое-то время. Новые лекарства, вакцины, технологии — все это не делается за несколько недель и даже месяцев.

— Как вы думаете, наступят ли времена, когда мы сможем пойти в аптеку, приобрести ваш тест за небольшие деньги и в домашних условиях выяснить, чем больны?

— Я не вижу препятствий, чтобы все это и многое другое стало доступно каждому из нас. Думаю, это перспектива примерно пяти лет. По крайней мере, современный Курчатовский институт как головная организация программы генетических исследований в стране делает для этого все необходимое. ■

Беседовала Наталия 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

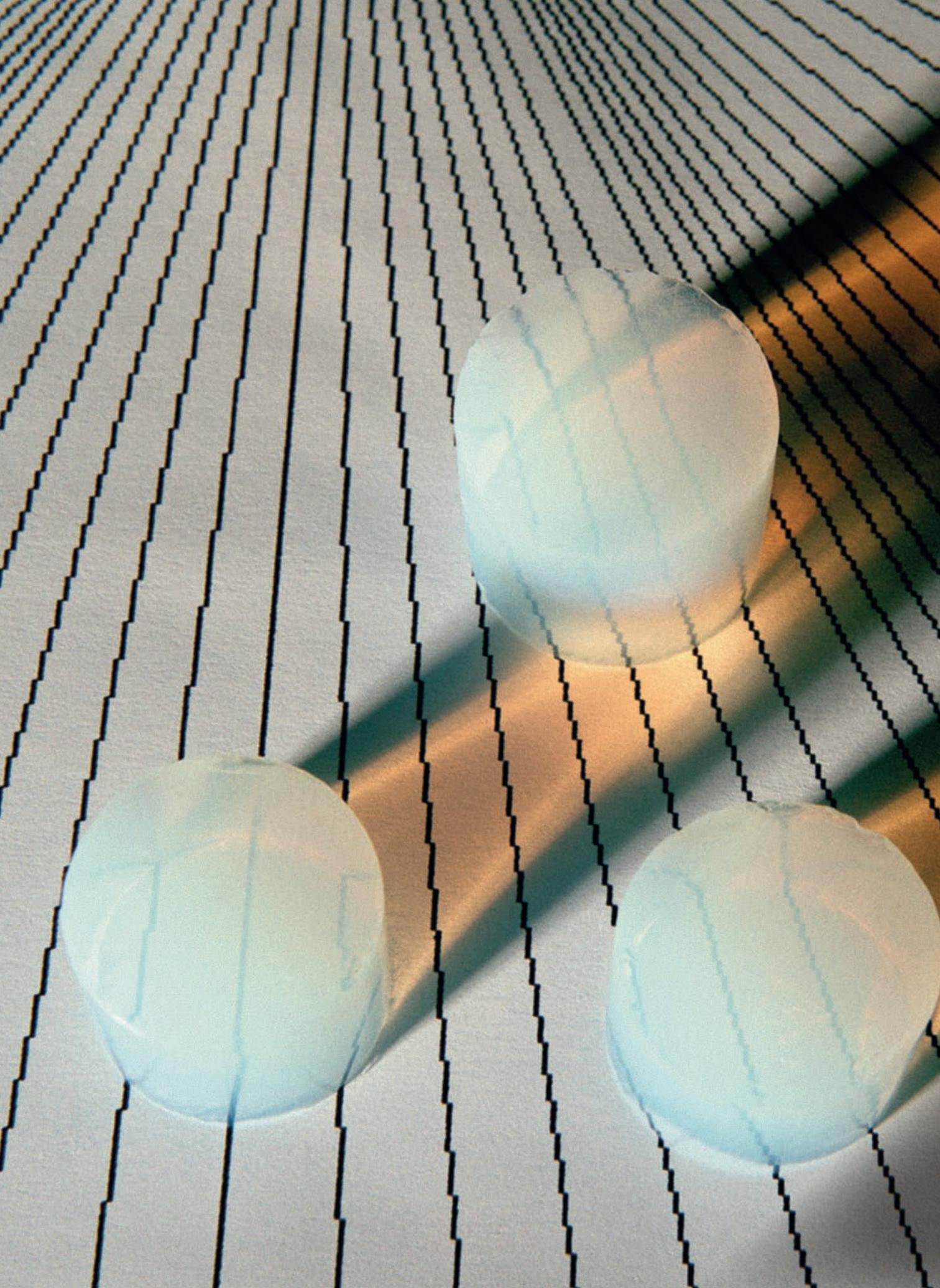


Google play



**В мире
науки** SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал



ПРОДАВЦЫ ВОЗДУХА

Оказывается, существуют столь легкие вещества, что не весят практически ничего, в то время как могут вмещать в себя площадь целой квартиры. Аэрогели — уникальные материалы с крошечной плотностью — разрабатывают в том числе в стенах Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН. Зачем они нужны, где могут применяться и почему ученые считают, что скоро они заменят пластмассу, рассказывает директор института **Владимир Константинович Иванов**, доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН.



Член-корреспондент РАН В.К. Иванов

— Владимир Константинович, знаю, что не так давно ваш институт получил грант Российского научного фонда на разработку новых аэрогелей. Что это такое?

— Аэрогели — это, как явствует из названия, воздушные гели, то есть очень легкие, буквально невесомые аморфные вещества. Считается, что это самые легкие материалы на свете. Мне очень нравится метафора, которую обычно используют при описании аэрогелей: замороженный дым. Это действительно хорошо передает то, что вы видите, когда держите их в руках. Если через аэрогель посмотреть, то кажется, будто смотришь на окружающий мир через столбик дыма.

— За счет чего создается такая легкость?

— Аэрогели на 95–99% состоят из воздуха. По своей плотности они приближаются к плотности воздуха. В этом смысле производителей аэрогелей можно смело называть продавцами воздуха.

— Но понятно, что ценен в них отнюдь не воздух...

— Аэрогели — это на самом деле наноматериалы. Вообще, наноматериалы — это не что-то новое. Человечество имеет с ними дело на протяжении тысячелетий. Известны истории про кубок Ликурга — стеклянный античный сосуд с фигурным узором возрастом около 2 тыс. лет, способный менять цвет

с зеленого на красный в зависимости от угла падения света. Этот эффект объясняется присутствием в стекле частиц коллоидного золота и серебра размером 70 нм. Аэрогели — это синтетические наноматериалы, они тоже состоят из наночастиц, причем еще более мелких — обычно от 2 до 5 нм, что приближается к нижней размерной границе из общепринятого определения наноматериалов. Эти наночастицы образуют объемный ажурный каркас. Он содержит в себе множество пор, а сами частицы соединены так, что фактически не занимают объема. В последнее время появились аэрогели, собранные не только из изотропных, но и из анизотропных частиц — скажем, из нанотрубок, наностержней или из плоских

листов. Такие аэрогели зачастую имеют еще меньшую плотность и еще большую пористость.

— Знаю, что аэрогели имеют большую площадь поверхности, и вы даже сравниваете их с размером средней квартиры.

— Да, у них огромная площадь поверхности. Это как раз связано с тем, что они ажурные, воздушные. Площадь их — обычно от 1 тыс. до 2 тыс. м² на один грамм. 50 мг аэрогеля по площади как раз эквивалентны квартире в 50 м². Собственно, ради высокой пористости и большой площади поверхности аэрогели обычно и получают. Аэрогели создал американский ученый Сэмюэл Кистлер, и он шел к своему открытию целенаправленно. Это не было чем-то случайным, как тоже бывает в науке. Он очень плотно работал в этом направлении и точно знал, что хотел получить. Свою первую статью про получение аэрогеля он опубликовал сразу в *Nature* в 1931 г. От этого момента, кстати, можно вести отсчет эпохи современных синтетических наноматериалов.

Синтез аэрогелей — это часть большой истории, которая носит название «зольгель-технология». Это технология, основанная на получении различных видов гелей и их дальнейшем практическом использовании. Аэрогели получают из самых привычных для нас гелей — думаю, даже из обычного мармелада при желании

можно получить аэрогель. Я не вижу в этом каких-то принципиальных технических сложностей.

— **Воздушный мармелад — звучит интересно!**

— И это вполне реально. А можно взять канцелярский клей, жидкое стекло — тоже вполне пригодный стартовый материал для изготовления аэрогеля. Проблема лишь в том, что если вы будете сушить тот или иной гель на воздухе, то он неизбежно съезжится, уменьшится в размерах и ничего хорошего не выйдет. Идея Кистлера как раз заключалась в том, что гель надо так высушить, чтобы не произошло его усадки.

— **А почему происходит усадка гелей?**

— Потому что действуют капиллярные силы. В порах геля присутствует жидкость, и когда она испаряется, стеночки геля стягиваются и поры закрываются. Кистлер придумал довольно оригинальное решение. Надо перевести жидкость, которая находится в порах, в так называемое сверхкритическое состояние, когда исчезает разница между жидкостью и паром над этой жидкостью, пропадает граница раздела. А если нет границы раздела, то нет и поверхностного натяжения и действия капиллярных сил. То есть надо нагреть жидкость до такого состояния, когда между жидкостью и паром перестанет существовать какое-либо отличие. Это сверхкритическое состояние для разных жидкостей наступает в разных условиях. Для получения аэрогелей традиционно использовали сверхкритические спирты, у которых температура этого перехода — порядка 200° С и довольно высокие давления. Для работы с ними требуется серьезное оборудование. Сейчас дело немножко упростилось, потому что большая часть экспериментов проводится со сверхкритическим углекислым газом, у которого критическая температура — порядка 30° С, то есть чуть выше комнатной, и давление 72 атмосферы. Это тоже, в принципе, не так много. Вот в таких условиях вы можете сушить гели и получать аэрогели.

Сейчас аэрогели делают практически из всех оксидов металлов, сульфидов металлов, из очень большого числа неорганических соединений. Можно сказать, для каждого элемента таблицы Менделеева можно получить тот или иной аэрогель. Еще один большой класс — органические и углеродные аэрогели. Внутри него можно

тоже выделить несколько классов, и самые популярные из них — полисахаридные аэрогели, например альгинатные и хитозановые. Их часто используют для доставки лекарств. Важно то, что аэрогели очень легко поддаются химическому модифицированию. Кстати, наш грант РФ как раз был посвящен химическому модифицированию и функционализации аэрогелей для того, чтобы придать им новые свойства, полезные для практики.

— **О каких именно полезных применениях речь?**

— Если взять классические аэрогели, которые получал еще Кистлер, у них есть особенность — они гидрофильны, то есть легко впитывают воду, а как только они ее впитывают, то разрушаются под действием капиллярных сил. Например, если вы захотите изготовить оконные стекла с защитным аэрогелевым покрытием, то это покрытие будет крайне недолговечным. Оно сразу разрушится под действием атмосферной влаги. Мы с коллегами из Института физиологически активных веществ РАН в Черноголовке разработали несколько способов гидрофобизации аэрогелей. Этого, например, можно добиться сверхкритической сушкой во фторсодержащих спиртах. А можно целенаправленно привить фторсодержащие соединения

Наша разработка вполне годится для ликвидации последствий разлива нефти, гидрофобные аэрогели способны впитывать ее с поверхности воды

на поверхность аэрогелей. Фактически мы покрываем поверхность аэрогелей неким подобием тончайшей, мономолекулярной тефлоновой пленки. У таких аэрогелей угол смачивания водой достигает 140°. Иными словами, они практически не смачиваются и относятся к классу супергидрофобных материалов. Совершенно не боятся влаги. Если их поместить на поверхность воды, они будут плавать и с ними ничего не случится.

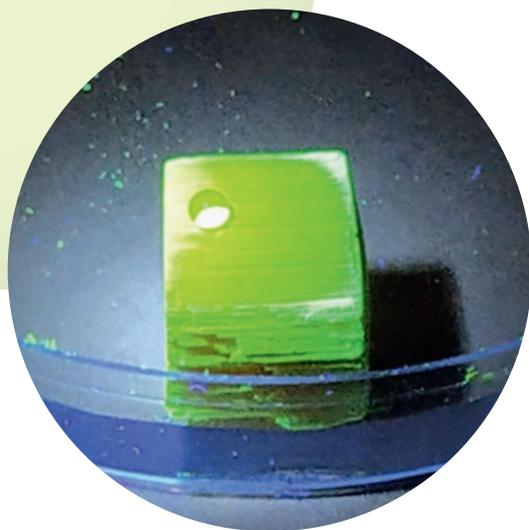
— **А если поместить их на поверхность воды, где находится нефть? Сейчас в связи с экологическим бедствием в Арктике это весьма актуальный вопрос.**

— Наша разработка вполне годится для ликвидации последствий разлива нефти, гидрофобные аэрогели способны впитывать ее с поверхности воды. Еще один пример — гидрофобные аэрогели на основе оксида алюминия, образующиеся при его взаимодействии с известным химическим соединением — 8-оксихинолином. Это классическая реакция в аналитической химии, в результате которой получаются очень прочные комплексы, при этом люминесцентные.

— **То есть такие аэрогели могут светиться?**

— Именно! При освещении этих аэрогелей ультрафиолетом они светятся ярко-зеленым светом. Это одновременно суперлегкие, гидрофобные и люминесцентные материалы. В них сочетаются сразу несколько функций.

Мы получили целый ряд люминесцентных аэрогелей, которые светятся в разных областях спектра



Супергидрофобные люминесцентные аэрогели на основе оксида алюминия

Мы получили целый ряд люминесцентных аэрогелей, которые светятся в разных областях спектра. Одна из наших статей на эту тему, которую мы опубликовали в *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, вошла в десятку наиболее читаемых статей этого издания. Интерес к таким материалам и нашим работам в этой области существует во всем мире.

— **А где можно использовать светящиеся аэрогели?**

— У меня есть идея, что такие материалы можно было бы попытаться применить для визуализации воздушных потоков. Мелкие частицы аэрогелей очень медленно оседают, поскольку их плотность очень мала. Они фактически, как взвесь, могут летать достаточно долго. Думаю, было бы интересно визуализировать воздушные потоки в аэродинамических испытаниях.

— **Сейчас много говорят, что нужно научиться распознавать вирусные частицы в воздухе. Вашу идею нельзя для этого использовать?**

— Напрямую нет, но можно изготовить сорбенты на основе аэрогелей. Это вполне разумное применение для того, чтобы задерживать примеси из воздуха, создавать фильтры на основе аэрогелей. Всем нам известен активированный уголь, а ведь аэрогели — это существенно более эффективные сорбенты.

При конструировании новых аэрогелей мы не ограничивали себя в поисках, пробовали действовать в разных направлениях. Пытались создать аэрогели, встраивая в них молекулы, которые несут дополнительную функцию. Мы, в частности, сделали аэрогели с высоким содержанием соединений бора. Аналога такой работы в мире нет. Бор очень хорошо поглощает нейтроны. В результате мы получили сверхлегкий материал с нейтронозащитными свойствами! Мы провели и натурные эксперименты, и расчеты, и получилось, что аэрогель 15-сантиметровой толщины, который практически ничего не весит, может полностью ослабить поток тепловых нейтронов. И с такой серьезной задачей справляется очень легкий, при этом не слишком дорогой материал.

— **Знаю, что борсодержащие соединения можно использовать и для лечения онкологических больных.**

— Да, аэрогели с высоким содержанием бора могут выступать в качестве компонентов препаратов для бор-

*Люминесцентные аэрогели,
модифицированные
комплексами цинка и европия*



нейтронозахватной терапии онкозаболеваний. Поскольку у них большая поверхность, можно закрепить на ней дополнительные молекулы, выполняющие терапевтическую функцию. Таких материалов до нас тоже никто не получал.

Следующее применение, связанное с большой поверхностью аэрогелей, также было заявлено в нашем проекте вместе с ИФАВ РАН и тоже впервые в мире. Это оптически активные аэрогели. Мы закрепили на поверхности аэрогелей оптически активные молекулы и в результате получили высокоспецифические сорбенты, которые могут быть использованы для разделения оптически активных изомеров, так называемых энантиомеров. Все дело в том, что очень многие лекарственные препараты — это оптически активные вещества. Например, правовращающая молекула в качестве лекарства не работает, а левовращающая хорошо работает. Значит, надо как-то поделить левовращающие и правовращающие молекулы. Вот на таких сорбентах, которые мы предложили, подобное разделение вполне возможно.

Традиционно одно из наиболее популярных применений аэрогелей — в теплоизоляции. Аэрогели — это без преувеличения лучшие в мире теплоизоляторы. Они сводят к нулю все основные способы теплообмена — и конвекцию, и теплопроводность, и тепловое излучение. Из аэрогелей изготавливают превосходную изоляцию для криогенных трубопроводов, транспортировки сжиженных газов и т.д. Бытовые применения тоже не за горами. Например, для альпинистов выпускают стельки и спальные мешки, которые сделаны из аэрогелей на гибкой основе. У нас сейчас в стране начинает развиваться арктическое материаловедение и вообще арктическая тематика. Мне кажется, что здесь у аэрогелей есть достаточно хорошее

будущее. Возможен широкий круг применений — спасательная техника, жилеты, плоты и т.д.

Не менее важная область использования аэрогелей — звукоизоляция. Аэрогели очень плохо проводят звук, поэтому их можно использовать, например, в акустике. Я знаю, что производят наушники, где звукоизоляция реализована как раз при помощи аэрогелей. Промышленно изготавливают так называемые сэндвич-панели для остекления зданий. Это два стекла, между которыми расположен тонкий слой аэрогеля. С учетом того, что у нас в городах сейчас стало шумновато, это, конечно, хорошее решение.

Из аэрогелей получают прекрасные катализаторы и носители катализаторов, ведь большая поверхность — это именно то, что нужно для того, чтобы реализовывать каталитические процессы. Мы модифицировали аэрогели соединениями платиновых металлов, а потом восстановили эти металлы, и оказалось, что они присутствуют на поверхности аэрогелей даже не в виде наночастиц, а в атомарном состоянии. Каталитическая активность у таких материалов просто зашкаливает. Ведь частицы мельче атома уже не бывает. Мы достигли предела, когда размеры частиц — субнанометровые.

— Какие еще возможности открывает использование аэрогелей в катализе?

— Одна из наших работ по катализу — это получение на основе аэрогелей так называемых суперкислот. Суперкислоты — это кислоты, которые по своей силе превосходят привычные серную или азотную кислоты и при этом находятся в твердом виде. Благодаря этому ими удобно пользоваться. Наши аэрогели неплохо проявили себя в качестве катализаторов для получения высокооктанового моторного топлива.

Большая поверхность имеет первостепенное значение в системах доставки лекарств, в первую очередь малорастворимых. Биодоступность у таких лекарств невелика, но если вы распределите их на большую поверхность, то растворимость резко увеличится и биодоступность повысится.

А еще у нас есть интересные работы в области получения солнцезащитной косметики на основе аэрогелей. Скоро выйдет

Аэрогели — это без преувеличения лучшие в мире теплоизоляторы. Они сводят к нулю все основные способы теплообмена — и конвекцию, и теплопроводность, и тепловое излучение. Из аэрогелей изготавливают превосходную изоляцию

наша публикация в *Journal of Supercritical Fluids*, где мы показали, что можно получать смешанные аэрогели на основе оксидов кремния и титана, обладающие очень неплохим солнцезащитным фактором. Но при этом у них есть еще одна особенность, которая отличает их в положительную сторону от того, чем мы пользуемся: за счет большой поверхности у них прекрасный матирующий эффект. Они впитывают кожное сало, которое выделяют наши сальные железы, в итоге кожа не блестит. Думаю, женщины должны это оценить.

— Получается, что аэрогели хорошо поглощают ультрафиолетовое излучение?

— Да, и благодаря этому их можно использовать не только в солнцезащитной косметике, но и в составе так называемых фотокатализаторов. Такие материалы, наоборот, используют ультрафиолет, чтобы разлагать примеси, содержащиеся в воздухе и воде. В кондиционерах сейчас довольно часто устанавливают фотокатализаторы, чтобы очищать воздух в помещениях.

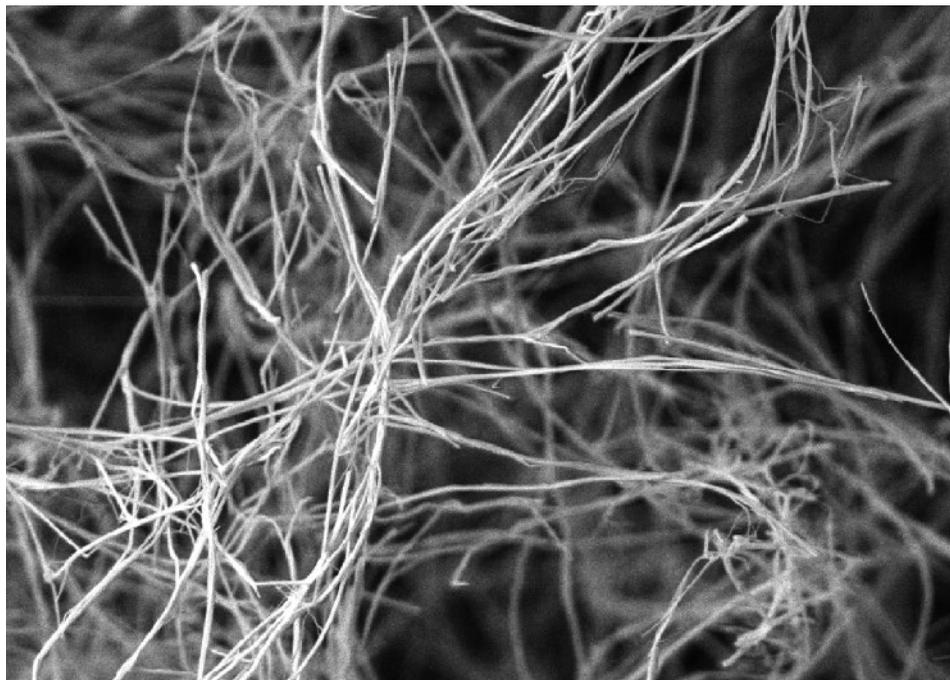
— Можно ли таким способом бороться с вредоносными микроорганизмами?

— Можно. Любую органику, которая окажется рядом с фотокатализатором, можно уничтожить таким образом. Мы получали на основе тех же самых оксидов титана и кремния смешанные аэрогели, которые проявили очень хорошие фотокаталитические свойства — выше, чем у известных коммерческих фотокатализаторов. Наши материалы работают лучше.

Довольно интересное применение, которое развивает Институт катализа Сибирского отделения РАН, — это изготовление на основе аэрогелей детекторов Черенкова. Их материалы используются во многих крупных международных установках. Самый свежий пример — это детекторы для Большого адронного коллайдера. Известен и целый ряд проектов NASA, основанных на использовании аэрогелей. Наверное, наиболее романтичный — это проект под названием «Звездная пыль», когда аэрогели применяли для улавливания кометного вещества.

— Слушая вас, понимаю, что аэрогели ждет большое будущее. Но есть ли какие-то опасности, связанные с их применением?

— Есть мнение, что к 2050 г. аэрогели могут так же широко использоваться, как сегодня пластмассы. Думаю, что это все же преувеличение. Все-таки по объему производства пластики уже вряд ли что-то превзойдет. Но рынок, конечно, очень велик. И здесь весьма важен вопрос безопасности. Негативные последствия, связанные с массовым производством пластмасс, могут наблюдаться и в случае аэрогелей. Например, они способны давать мелкие частицы, которые могут попадать в водоемы, реки. У них огромная поверхность, и они могут сорбировать на себе различные вредные вещества, в результате чего их локальная концентрация может сильно возрасти. И если какая-нибудь рыба проглотит подобные частицы, то пользы точно не будет. Мы все знаем, что в стоки попадают и антибиотики, и гормоны, и синтетические моющие средства. Подобного рода органические молекулы вполне могут концентрироваться на аэрогелях, и действие их на экосистемы будет усиливаться. Поэтому, конечно, надо внимательно изучать отдаленные последствия использования аэрогелей, чтобы у нас не получилось так же, как с пластмассой.



Ультралегкий аэрогель
на основе соединений церия
и его структура по данным
электронной микроскопии
высокого разрешения

— Имеются ли у вас еще какие-то идеи по улучшению свойств аэрогелей?

— Да. Дело в том, что у них не очень высокая механическая прочность. И сейчас многие научные коллективы заняты решением двух проблем. Первая — получение гибких аэрогелей. Вторая — повышение прочности аэрогелей за счет формирования композитов, например с полимерами или углеродными нанотрубками. Еще один вопрос, который сегодня становится популярным, — это получение ультралегких аэрогелей, еще легче существующих. У нас в работе находится статья, которую, надеемся, скоро примут в печать. Речь в ней идет об ультралегких аэрогелях на основе соединений церия. Совершенно фантастическое ощущение, когда держишь в руках такой аэрогель. Он ничего не весит. Этого эффекта нам удалось добиться за счет того, что в исходных гелях мы довели соотношение металла и воды до 1:20000. То есть 20 тыс. молекул воды на один атом металла. Это невероятные цифры. Понятно, что такие материалы будут хорошо работать в катализе, и не только в нем. А вообще говоря, для того чтобы аэрогели более широко использовались, надо изучать их структуру и пытаться понять, как она влияет на их свойства. Ведь именно структура определяет свойства материалов.

— Но ведь вы говорите, что аэрогели — это аморфные вещества, то есть у них нет формы и, казалось бы, нет структуры.

— Даже у аморфных материалов есть своя структура, некие мотивы, в соответствии с которыми аэрогели заполняют собой пространство. И эти мотивы можно количественно описать. Для этого есть и специальная математика, и специальные физические методы исследования. Для исследования структуры аэрогелей обычно используется малоугловое рассеяние нейтронов или малоугловое рассеяние синхротронного излучения, требуется то, что сейчас принято называть мегаустановками. У нас собралась достаточно большая библиотека аэрогелей с различными свойствами, может быть, одна из лучших в мире. И теперь мы хотим досконально изучить, какова структура этих аэрогелей, и попытаться увязать со свойствами. Это еще один проект Российского научного фонда, который мы реализуем совместно с Объединенным институтом ядерных исследований в Дубне и Петербургским институтом ядерной физики. Уже сейчас в наших экспериментах задействованы мегаустановки, расположенные в пяти странах. Думаю, результаты будут достаточно интересные и довольно скоро. ■

Беседовала Наталия Лескова

Популяция лесных хомяков, обитающая в местечке Ки-Ларго (Флорида), сильно страдает от вырубki леса, ураганов, питонов и кошек





ОХРАНА ПРИРОДЫ

КОШКИ *против* ХОМЯКОВ

Как защитить
исчезающих
животных, если их
главные враги —
всеобщие пушистые
любимцы?

Кэрри Арнольд

ОБ АВТОРЕ

Кэрри Арнольд (Carrie Arnold) — научная журналистка, пишущая на медицинские и экологические темы. Живет в штате Виргиния с мужем и взятой с улицы кошкой.



Ральф Дегейнер (Ralph DeGauner) ничуть не сомневался, что перед ним — жертвы настоящего серийного убийцы.

Преступник тщательно подкарауливал своих жертв, а затем наносил им жуткие увечья; у многих на горле зияли глубокие рваные раны. Каждое утро в течение нескольких недель Ральф Дегейнер, высокий восьмидесятилетний старик, наткнулся на выпотрошенные тушки флоридских лесных хомяков. Тельца убитых зверьков лежали под слоем опавшей листвы вдоль шоссе, пересекающего национальный заповедник «Крокодилье озеро» в курортном местечке Ки-Ларго во Флориде. И с каждой вновь обнаруженной тушкой досада Дегейнера мало-помалу перерастала в ярость.

«Конечно же, во всем виноваты кошки, — говорит старик, и его голубые глаза при этом ярко вспыхивают на флоридском солнце. — Именно так они и убивают добычу. Никаких других доказательств мне и не требовалось!» Возвращение на место кровавой расправы даже восемь лет спустя вновь наполняет Дегейнера праведным гневом. Развернувшись лицом к северу, он свирепо смотрит на возвышающееся неподалеку здание *Ocean Reef* — строго охраняемого частного клуба, где проводят досуг флоридские миллионеры, а также живут сотни одичавших кошек.

Печальная участь находящейся на грани вымирания популяции флоридских лесных хомяков в районе Ки-Ларго превратилась для Рейфа Дегейнера в главную заботу последних лет жизни. Любимым занятием этого ушедшего на заслуженный отдых продавца ванн-джакузи была рыбалка, но капризы погоды часто не позволяли ему выходить в море. Чтобы скоротать время, Рейф начал работать волонтером в открывшемся в 1990-х гг. заповеднике «Крокодилье озеро». Симпатичные зверьки с рыжеватого-коричневым мехом и их умение сооружать массивные аккуратные гнезда сразу же очаровали Дегейнера. Долгое время местные лесные хомяки спокойно жили на узкой полосе пышных полутропических лесов Ки-Ларго в тесном соседстве с аллигаторами, змеями и пернатыми хищниками. Популяции этих зверьков удалось уцелеть даже после того, как значительная часть их местообитания была уничтожена в результате вырубки леса под ананасовые плантации, ракетные базы, нефтяные вышки и строительство роскошных кондоминиумов. Но противостоять появившимся здесь кошкам лесные хомяки не смогли, хотя поначалу многие местные жители вообще не видели в пушистых хищниках какой-либо угрозы для маленьких грызунов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Во всем мире одичавшие кошки ежегодно убивают множество диких животных. Но способы решения этой проблемы иногда имеют сомнительный характер, а их эффективность мало изучена.
- Исследования, проводимые сегодня в курортной местности Ки-Ларго (штат Флорида), направлены на изучение взаимодействий между местными колонией одичавших кошек и популяцией лесных хомяков.
- Более глубокое понимание этих взаимодействий поможет защитникам дикой природы и любителям кошек выработать оптимальные методы решения насущной проблемы.



Бродячая кошка обследует гнездо лесных хомяков в национальном заповеднике «Крокодилье озеро» во Флориде

Последняя отчаянная попытка спасти лесных хомяков от вымирания была сделана 15 лет назад: сотрудники заповедника при поддержке Всемирного центра отдыха Уолта Диснея приступили к реализации программы по их разведению. Она проводилась на территории парка «Диснеевское королевство животных», расположенного во Флориде к юго-западу от города Орlando. На протяжении нескольких лет биологам с успехом удавалось поддерживать постоянную численность лесных хомяков в неволе. Но смогут ли они получить такие же оптимистичные результаты в условиях дикой природы Ки-Ларго?

Дегейнер абсолютно уверен, что, не будь в заповеднике диких кошек, лесные хомяки смогли бы не только поддержать численность своей популяции, но даже увеличить ее. И так думал не он один. Местные защитники природы не раз просили сотрудников клуба *Ocean Reef*, которые кормили одичавших кошек и заботились о них в рамках программы *ORCAT*, всерьез подумать о частичном ограничении свободы передвижения своих питомцев. На что получали неизменный ответ: кошек вообще привыкли обвинять во всех смертных грехах, да и в любом случае ограничить перемещения зверьков на принадлежащей клубу территории в более чем 10 тыс. га попросту невозможно.

За несколько недель 2010 и 2011 гг. биологи выпустили в заповедник 27 меченых флоридских лесных хомяков. За считанные недели кошки уничтожили их всех до единого. «Чтобы доказать, что кошки убивают хомяков, заповедник истратил миллионы долларов!» — восклицает Дегейнер. В результате программа по разведению лесных хомяков была свернута, а антагонизм между защитниками кошек и защитниками природы перерос в серьезный конфликт.

Альтернативное решение

Древние люди одомашнивали кошек далеко не так активно, как, например, собак. В результате генетические различия между домашними и дикими кошками выражены значительно слабее, чем между домашними собаками и волками. Но кошки живут бок о бок с людьми уже более 10 тыс. лет. Зерно, запасаемое древними земледельцами, привлекало грызунов, а грызуны привлекали кошек, которые, кроме того, были не прочь поживиться и остатками человеческой пищи. Куда бы ни направлялись люди, кошки следовали за ними и исправно при этом размножались. Самки кошек начинают размножаться в возрасте менее года и за каждый последующий год жизни приносят на свет до трех выводков по пяти и более котят. Неудивительно поэтому, что плодовитость кошек вошла в поговорку.



За последнее десятилетие ученым стало окончательно ясно, что домашние кошки представляют собой серьезнейшую угрозу для диких животных во всем мире. Поскольку плотность популяций кошек в 10–100 раз выше, чем других хищников сравнимых размеров, они причиняют гораздо более серьезный вред природе, чем такие дикие плотоядные животные, как еноты, змеи или хищные птицы. По оценкам биологов, кошки несут главную ответственность за вымирание 14% видов птиц, млекопитающих и рептилий на морских островах. В 2013 г. биолог и защитник природы из Джорджтаунского университета Питер Марра (Peter P. Marra) и его коллеги из Центра по изучению миграций птиц Смитсоновского института, а также сотрудники Службы охраны рыбных ресурсов и диких животных США подсчитали, что одичавшие и бездомные кошки ежегодно убивают около 2,4 млрд птиц и примерно 12,3 млрд грызунов и других мелких зверьков. Поскольку ученые каждый год документируют все больше случаев уничтожения кошками животных, находящихся под угрозой вымирания, во всем мире множатся скандалы и конфликты, подобные тому, что возник в Ки-Ларго. До сих пор, однако, совершенно непонятно, как решить эту проблему.

В прежние времена для «борьбы» с чрезмерно расплодившимися беспризорными кошками люди прибегали к их периодическому уничтожению.

Но эти зверьки, обладая невероятной плодовитостью, сравнительно быстро восстанавливают первоначальную численность своих популяций. На протяжении последних десятилетий власти разных стран использовали самые разнообразные стратегии (разбрасывание отравленных приманок, снайперский отстрел кошек, их заражение смертельными вирусами, опрыскивание меха ядовитыми гелями и т.д.). Лишь немногие из данных подходов применялись в течение более или менее длительного времени. Поскольку почти все они потерпели неудачу, любители и защитники кошек смогли с полным правом громко заявить о том, что простая физическая расправа с пушистыми хищниками не только жестока, но и неэффективна: сегодня только в США насчитывается от 70 до 100 млн бродячих кошек.

Любители и защитники кошек вместо физического уничтожения зверьков предлагают использовать более гуманные методы — их отлов, стерилизацию и возвращение в городские или природные социальные группы (сокращенное название этого подхода — ОСВ). Если лишить бездомных кошек возможности размножаться, численность их диких популяций со временем сократится. Одну из первых попыток осуществить на практике процесс ОСВ предприняла в середине 1980-х гг. Джули Леви (Julie Levy), которая училась тогда на ветеринара в Калифорнийском университете в Дейвисе.

SOURCE: "DECREASE IN POPULATION AND INCREASE IN WELFARE OF COMMUNITY CATS IN A TWENTY-THREE YEAR TRAP-NEUTER-RETURN PROGRAM IN KEY-LARGO, FL: THE ORCAT PROGRAM", BY RACHAEL E. KREBER ET AL., IN FRONTIERS IN VETERINARY SCIENCE, FEBRUARY 7, 2019. Graphic by Amanda Montañez

За несколько лет Леви и ее помощники стерилизовали почти всех бездомных кошек в студенческом кампусе, и ко времени окончания Леви университета на всей территории вокруг ветеринарного факультета не осталось почти ни одного пушистого хищника. «Нужно было видеть радость людей, когда они поняли, что кошачья проблема наконец-то нашла альтернативное решение!» — вспоминает Леви.

В 1993 г. молва о калифорнийском ОСВ-проекте Леви дошла до Алана Литмана (Alan Litman), плодовитого изобретателя и одного из всегдашних *Ocean Reef*. В то время по частной территории этого клуба, составляющей примерно треть всей площади Ки-Ларго, уже бродили тысячи одичавших кошек. Эпизодические массовые отловы зверьков с целью их последующего усыпления желаемых результатов не приносили. Кроме того, против этой компании выступали многие жители района. Местность изобиловала кошачьим пометом, а домовладельцы направляли властям нескончаемый поток жалоб на громкий шум от кошачьих драк и едкий запах кошачьей мочи. Литман посоветовал руководству *Ocean Reef* провести ОСВ и получил не только согласие, но и предложение о его долгосрочном финансировании за счет средств ассоциации домовладельцев и частных пожертвований. По рекомендации Литмана программу возглавила сотрудница одной из флоридских ветеринарных клиник Сьюзен Херши (Susan Hershey). Когда в 1995 г. Херши прибыла в Ки-Ларго и открыла на одной из местных улиц упаковку кошачьей еды, «на ее запах тут же сбегалось 70–80 кошек. Ситуация и впрямь была катастрофической!» — вспоминает Сьюзен.

Большую часть дней Херши проводила у ловушек с банками и пакетами корма в ожидании, когда к ним наведаются ничего не подозревающие зверьки. Когда кошки разгадали хитрость и начали избегать ловушки, Херши усовершенствовала методику. Многие из попадавших в ловушки зверьки были серьезно больны — таких кошек сотрудники гуманно усыпляли; дружелюбных животных они пристраивали в добрые руки. Сотни кошек и котов, однако, были достаточно здоровыми для стерилизации, но слишком сильно боялись людей и оказались совершенно непригодными для жизни в четырех стенах. Этим зверьков ветеринары возвращали в природные сообщества, предварительно удалив им верхушку левого уха (такая метка указывала на то, что животное подверглось стерилизации). В течение пяти лет Херши и ее непрерывно разраставшаяся команда единомышленников проводили практически круглосуточный отлов и стерилизацию кошек. В конце концов численность этих зверьков на территории клуба начала медленно, но стабильно снижаться.

Великое противостояние

Слухи об успехах проекта *ORCAT* быстро распространились среди защитников природы по всей стране. Сьюзен Херши стала своего рода знаменитостью, к которой со всего света стекались желающие поближе познакомиться с проводимой в Ки-Ларго программой ОСВ. Местные бродячие кошки привлекли внимание и молодого биолога Майкла Коува (Michael Cove), учившегося в то время в докторантуре Университета Северной Каролины и в 2012 г. приехавшего в национальный заповедник «Крокодилье озеро». Хотя кошек на территории *Ocean Reef* к тому времени и в самом деле стало меньше, флоридские лесные хомяки по-прежнему находились в крайне опасном положении. Коув решил выяснить, какие подходы позволят наиболее эффективно защитить этих грызунов от вымирания. Дикие кошки нередко навевались на территорию заповедника, привлекаемые энергичным трудолюбием лесных хомячков. Коув хотел изучить влияние кошек на состояние популяции лесных хомячков и выяснить, каким образом эти хищники — а также другие факторы — сдерживают восстановление численности грызунов. У защитников природы программа *ORCAT* с некоторых пор стала вызывать отнюдь не радостные чувства.

Несмотря на то что несколько исследований, проведенных в разных частях света, действительно выявили стойкое снижение численности кошек под влиянием ОСВ, для достижения устойчивой тенденции к сокращению популяции необходимо стерилизовать значительное количество зверьков, а сделать это очень непросто, поясняет Грант Сайзмор (Grant Sizemore), биолог и защитник природы из Американского общества охраны птиц. Как показали модельные исследования, чтобы обеспечить стабильное сокращение популяции, необходимо стерилизовать более 90% составляющих ее животных, а отловить такое их количество практически невозможно. Домашние кошки размножаются настолько эффективно, что даже маленькие просчеты в ОСВ могут привести к быстрому восстановлению популяции. Об этом свидетельствуют и данные, полученные при проведении самой программы *ORCAT*.

Несовершенство метода ОСВ признают даже его сторонники. Но, как утверждают Леви и Херши, даже при всех своих недостатках сегодня ОСВ представляет собой единственный действенный способ сокращения численности кошачьих популяций. Люди убивали кошек столетиями, говорит Леви, и тем не менее в США сегодня живут миллионы одичавших кошек. Питер Марра не согласен с этим доводом, утверждая, что следует делать различие между эпизодическими «облавами» на бездомных зверьков и современными попытками стратегически устранить кошек из экосистем. Похоже, модельные исследования

эколога Кристофера Лепчика (Christopher Lepczyk) из Обернского университета (штат Алабама, США) и других ученых подтверждают правоту Марры: в большинстве случаев метод ОСВ менее эффективен для снижения численности популяций кошек, чем обычное усыпление пойманных зверьков.

Обе стороны обвиняют друг друга в пристрастной интерпретации фактов. В 2018 г. Марра и другие защитники природы опубликовали статью, где обозвали сторонников ОСВ «торговцами сомнениями» — прозвищем, которым принято называть людей, защищающих табачные изделия или отрицающих глобальное изменение климата в угоду личным выгодам. Глубинная же причина этого противостояния заключается в недостатке данных, касающихся как масштабов проблемы (например, невероятно трудная задача — подсчет бродячих кошек), так и оптимальных методов сокращения численности кошек для предотвращения наносимого ими вреда дикой природе. В этом смысле можно сказать, что защитники природы, ополчившиеся против кошек, в большей степени опирались на мнения, нежели на научные данные. Именно о такой неопределенности шла речь в статье «Моральная паника по поводу кошек» (*A Moral Panic over Cats*), написанной антропологами, биологами, защитниками природы и специалистами в области этики и опубликованной в майском номере журнала *Conservation Biology*.

Погрузившись в трясину этой неопределенности, Коув вскоре понял, что изгнание кошек из заповедника потребует поддержки и понимания со стороны ORCAT. Ему нужно было убедить Херши, что ее кошки были виновны по всем пунктам обвинения. Но до тех пор никто еще не проводил детальных исследований, показывающих, как именно кошки уничтожают тот или иной вид грызунов, находящийся под угрозой вымирания. Именно с этого Коув и начал свою работу. Первые же полученные им результаты, впоследствии опубликованные в виде докторской диссертации, внушали глубокий пессимизм: плотность популяций лесных хомяков была обратно пропорциональна количеству живших в данной местности диких кошек. Если кошек было много, хомяки, как правило, отсутствовали вовсе, а если отдельные хомяки и уцелели, их поведение сильно отличалось от обычного.

Херши восприняла результаты исследования в штыки: они прямо указывали на то, что и она сама, и реализуемый ею проект по сути дела оставались частью проблемы. В конце концов, она потратила 20 лет, неустанно пытаясь сократить количество кошек в заповеднике! «Честно говоря, я совершенно не знала, что еще тут можно сделать», — сетует исследовательница. Но Коув слегка изменил тактику. Он хотел показать, что сокращение численности кошек под влиянием ОСВ

происходит лишь недостаточно быстро, чтобы спасти от вымирания такой уязвимый вид, как флоридский лесной хомяк. Как поясняет Питер Марра, «оказавшись в природной среде, кошка тут же начнет убивать». Когда Коув провел химический анализ кошачьего меха, найденного в заповеднике, он обнаружил, что рацион кошек почти исключительно состоял из продуктов, произведенных людьми (включая остатки человеческой пищи и коммерческие корма для домашних животных), и лишь небольшую его долю составляло мясо диких животных. Такие пищевые предпочтения, однако, не останавливали кошек от убийства лесных хомяков.

Данные, полученные Коувом, подтвердила и работа, проведенная экологом из Университета Джорджии Соней Эрнандес (Sonia Hernandez), изучавшей в 2014 и 2015 гг. охотничьи повадки кошек на острове Джекилл, расположенном у восточного побережья этого штата. Эрнандес регистрировала поведение 31 дикой кошки с помощью прикрепленных к ошейникам миниатюрных видеокамер; эти кошки, как и зверьки в программе ORCAT, ежедневно получали «человеческую» пищу. Результаты видеонаблюдения показали, что 18 кошек из этого числа зверьков были заядлыми охотниками, ежедневно убивавшими в среднем по 6,15 мелких животных. Но целиком своих жертв они не съедали. «Кошки охотятся не из чрезмерной жестокости или кровожадности, а просто потому, что кошки — это кошки», — поясняет Марра.

В конце концов Коув апеллировал к эмоциям. Проводя свое исследование, он часто устанавливал возле гнезд хомяков видеокамеры с датчиком движения, позволявшие следить за действиями кошек. Несколько раз Коуву удалось запечатлеть, как кошки взбирались на гнезда хомяков, что подтверждало возможность такой же активности кошек и в проекте ORCAT. А в 2014 г. ученый попал прямо в яблочко: один из снимков запечатлел кошку с убитым лесным хомяком в зубах.

Совместные усилия

Снимки Коува окончательно сломили уверенность Херши в собственной правоте: волей-неволей ей пришлось признать, что положение и в самом деле было серьезным. Подобные эмоции испытывали и многие другие кошатники, рассказывает Брук Дик (Brooke Deak), аспирантка-социолог из Аделаидского университета в Австралии. Ведь отношение людей к кошкам неоднозначно: как было показано в исследовании, проведенном в 2013 г., члены Национального Одюбовского общества рассматривают бродячих кошек в качестве агрессивных кровожадных убийц, а участники программ ОСВ видят в этих зверьках пушистых друзей, в силу обстоятельств вынужденных жить на улице.



Два лесных хомяка у входа в свое гнездо. Зверьки сооружают такие массивные конструкции главным образом для защиты от хищников.

Херши перестала относиться к ОСВ как к панacee и по ряду иных причин. Вскоре после прекращения программы по разведению лесных хомяков руководство «Крокодилье озеро» приняло план по борьбе с инвазивными видами животных, который предусматривал отлов кошек и их выведение из заповедника. Часть пойманных животных возвращались в *Ocean Reef*, а другие передавались службам ветеринарного контроля, которые затем помещали их в приюты, пристраивали в добрые руки или подвергали гуманному усыплению. Программа предназначалась не только для сокращения популяции кошек: ее разработчики рассчитывали взять под контроль и численность бирманских питонов, которые сильно расплодились в национальном парке Эверглейдс и, подобно кошкам, часто охотились на лесных хомяков.

Беспокоясь за безопасность кошек, члены клуба *Ocean Reef* пожертвовали \$15 тыс. на обустройство частично крытого вольера площадью 46,5 м² для защиты старых, больных и других кошек, находящихся в уязвимом положении. В 2016 г. участники программы ORCAT начали отлавливать кошек не только для стерилизации, но и для их последующего содержания в этом вольере. Критически настроенная по отношению к Коуву Херши в конце

концов согласилась на его предложение, чтобы любая из бродячих кошек, пойманная на территории заповедника, после ее передачи клубу помещалась бы в вольер «на постоянное место жительства», а не отпускалась бы вновь на свободу.

Коув, занимающий сегодня пост куратора Музея естествознания Северной Каролины, резко отрицательно относится к тому, что *Ocean Reef* до сих пор практикует ОСВ: здесь и поныне свободно разгуливают около 220 кошек. «Одичавших кошек нельзя подпускать ближе чем на три мили к границе любой природной зоны», — говорит ученый. Однако он нехотя признает, что недавние усилия Херши и ее команды все-таки уменьшили численность бродячих кошек, хотя и не искоренили их совсем. В статье, опубликованной в 2019 г. в журнале *Biological Conservation*, Коув сообщил, что по мере выдворения кошек с территории заповедника «Крокодилье озеро» область распространения лесных хомяков расширилась. Всего за два года доля заселенных этими грызунами гнезд возросла в заповеднике с 37 до 54%.

По сути дела, работа Коува стала первой строго документированной научной попыткой взять под контроль популяцию диких кошек ради защиты вида, находящегося под угрозой исчезновения. Она

показала, что для достижения желаемого эффекта кошек нужно выдворять из природной среды постоянно и что при успешном сотрудничестве сторон это осуществимо без массового уничтожения зверьков. Сегодня аналогичные исследования пытаются проводить и другие группы энтузиастов. Проекты, осуществляемые в Вашингтоне, округ Колумбия, и Портленде, штат Орегон, стремятся обеспечить точный подсчет бездомных кошек, а портлендское отделение Одюбововского общества в сотрудничестве с орегонской Коалицией защиты одичавших кошек изучает эффективность различных методов регулирования популяций кошек на острове Хейден. «В каждой области должны использоваться особые подходы к контролю кошачьих сообществ, — говорит Брук Дик, — но общий план этой работы дает нам исследование Коува в Ки-Ларго».

Жилищные проблемы

Несмотря на то что сейчас дикие кошки стали вторгаться на территорию заповедника «Крокодиле озеро» гораздо реже, говорить о полной безопасности популяции флоридских лесных хомяков пока не приходится. В ноябре 2019 г. Майкл Коув прилетел сюда из Северной Каролины, чтобы начать подготовку новой серии исследований. Поскольку ни один из использованных способов борьбы с одичавшими кошками не позволяет полностью устранить их из заповедника, Коув пытается выяснить, не помогут ли защитники этих грызунов от кошек и прочих инвазивных видов хищников какие-либо иные методы вмешательства человека в жизнь дикой природы.

Лесные хомяки строят свои гигантские гнезда из сотен и тысяч сучьев и веток, перетаскивая их на многие метры через густой подлесок. Во внутренних сооружениях высотой до 1,2 м и диаметром более 2,5 м грызуны живут, выводят и выращивают детенышей и делают запасы корма. Но шум, поднимаемый зверьками во время строительства гнезд, привлекает находящихся неподалеку кошек. В середине 2000-х гг. Дегейнер и его брат пытались решить эту проблему, обеспечивая лесных хомяков искусственными гнездами. Братья решили, что если кошачью угрозу полностью устранить нельзя, то можно по крайней мере попытаться ослабить некоторые из ее эффектов. В качестве готового жилища для грызунов они использовали корпус сломанного гидроцикла, предварительно удалив из него «начинку». Лесные хомяки почти сразу же вселились в эту конструкцию, а затем начали дополнять ее сучьями и ветками. С тех пор братья Дегейнеры превратились в страстных собирателей отслуживших свой срок плавсредств.

Защитники природы нередко приходят на помощь уязвимым видам живых существ. Коув намеревается выяснить, влияет ли использование

искусственных гнезд на шансы лесных хомяков стать жертвами кошек. Результаты этого исследования могут снабдить ценной информацией других защитников природы, пытающихся спасти от безнадзорных кошек уязвимые популяции животных.

Холодным ноябрьским утром, вооружившись списком подлежащих проверке гнезд лесных хомяков, Коув и Дегейнер неторопливо ехали по двухполосной автомагистрали, пересекающей заповедник «Крокодиле озеро». Первым в списке значился гнездо под номером 427. Это гнездо, в котором на свет появилось множество поколений хомяков, находилось всего в нескольких сотнях метров от оживленной автострады, но, поскольку от дороги его отделяла сплошная стена густой зелени, шума машин здесь почти не было слышно. Основной гнезда, построенного семейством лесных хомяков, служил корпус брошенного гидроцикла *Sea-Do*, который братья Дегейнеры перетащили сюда с моря более десяти лет назад. Со временем зверьки декорировали жилище раковинами улиток, раздобытыми где-то колпачками от шариковых ручек, гитарными струнами и прочими украшениями.

Когда Коув увидел, что у входа в гнездо 427 не было ни листьев, ни паутины, — явный признак того, что внутри находились лесные хомяки, он показал Дегейнеру поднятые вверх большие пальцы. «Здесь все замечательно!» — воскликнул ученый. В течение нескольких последующих часов мужчины осмотрели более 20 гнезд хомяков, то с радостью по поводу явных признаков жизни, то печально созерцая безжизненность конструкции. Нагнувшись к земле всего в нескольких метрах от обочины автострады и мчащихся по ней автомобилей, Коув указывает Дегейнеру на беспорядочную кучку веток — новое гнездо лесных хомяков, которое он не видел прежде. «Пока совсем маленькое, — говорит ученый, — но главное — оно уже есть!»

Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Дрисколл К., Китченер Э., Клаттон-Брок Д., О'Брайен С. Приручение кошки // *ВМН*, № 8, 2009.
- *Cat Wars: The Devastating Consequences of a Cuddly Killer*. Peter P. Marra and Chris Santella. Princeton University Press, 2016.
- Decrease in Population and Increase in Welfare of Community Cats in a Twenty-Three Year Trap-Neuter-Return Program in Key Largo, FL: The ORCAT Program. Rachael E. Kreisler, Heather N. Cornell and Julie K. Levy in *Frontiers in Veterinary Science*, Vol. 6, Article 7; February 1, 2019.
- Towards Recovery of an Endangered Island Endemic: Distributional and Behavioral Responses of Key Largo Woodrats Associated with Exotic Predator Removal. Michael V. Cove et al. in *Biological Conservation*, Vol. 237, pages 423–429; September 2019.



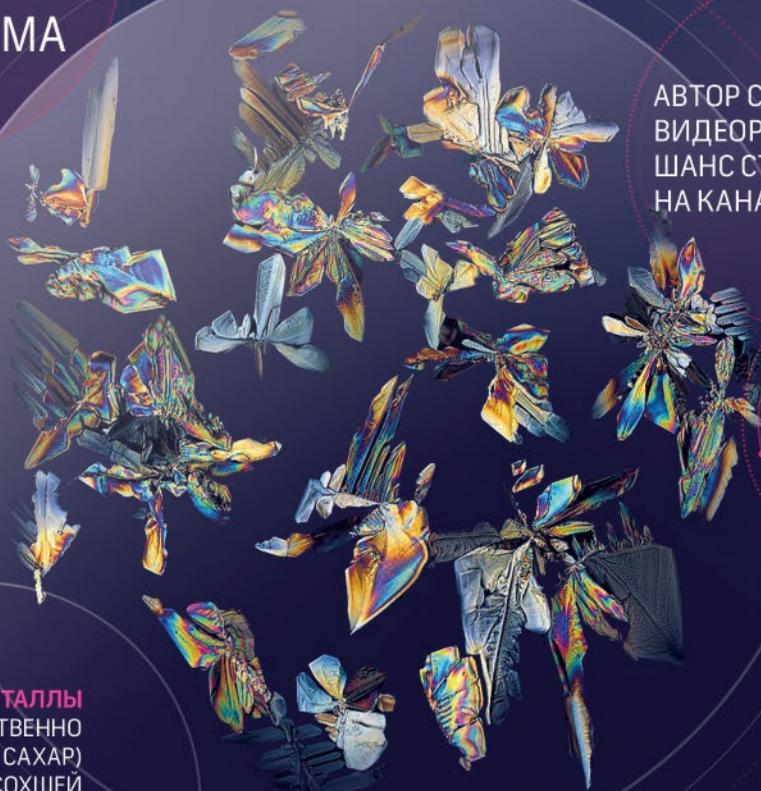
ВИДЕО КОНКУРС

СПЕЦПРИЗ
ЗА САМЫЕ
ЯРКИЕ РОЛИКИ,
СНЯТЫЕ ДОМА

АВТОР САМОЙ УДАЧНОЙ
ВИДЕОРАБОТЫ ПОЛУЧИТ
ШАНС СТАТЬ ВЕДУЩИМ
НА КАНАЛЕ

ВЫИГРЫВАЙ
ЦЕННЫЕ
ПРИЗЫ

КРИСТАЛЛЫ
(ПРЕИМУЩЕСТВЕННО
САХАР)
В ВЫСОХШЕЙ
КАПЛЕ КОКА КОЛЫ
ПОД МИКРОСКОПОМ.
ПОЛЯРИЗАЦИЯ.
СКРЕЩЕННЫЕ
ПОЛЯРИЗАТОРЫ.



12+
РЕКЛАМА

ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ
NAUKATV.RU

ВНИМАНИЕ!
ПРОСИМ ВСЕХ ОТВЕТСТВЕННО ОТНЕСТИСЬ К ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ С КОРОНАВИРУСОМ,
СОБЛЮДАТЬ КАРАНТИН И СНИМАТЬ НАУКУ.



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА
телеканал



КАНАЛ
НАУКА



ЖИВАЯ ПЛАНЕТА
телеканал



ПЛАНЕТА HD
телеканал



ИСТОРИЯ
телеканал



ДОКТОР
телеканал



ТЕЛЕКАНАЛ



ЭВОЛЮЦИЯ

ПРОБЛЕМЫ с ЗУБАМИ

Нашим зубам тесно, они перекошены и страдают от кариеса. Но так было не всегда

Питер Ангар

Я сидел около кабинета хирурга-стоматолога и ждал свою дочь. Происходящее напоминало конвейер. Один за другим заходили пациенты, смирившиеся с тем, что им придется удалить третьи моляры, которые обычно называют зубами мудрости. Они уходили с намотанными на голову повязками, с помощью которых закрепляли пакет со льдом. Каждый уносил с собой подарочную футболку, распечатанные рекомендации для выполнения дома и рецепты на антибиотики и обезболивающее.

Сегодня в Америке удаление зубов мудрости — почти как обряд посвящения для молодых людей. Однако, с моей точки зрения, в этой традиции есть что-то очень неправильное. Я специалист по зубной антропологии и эволюционной биологии и 30 лет изучаю зубы живых и ископаемых людей и множества других видов. Наши проблемы с зубами — это ненормально. У большинства других позвоночных животных таких проблем нет. У них редко бывают кривые зубы или кариес. Наши ископаемые предки не имели ретенированных зубов мудрости, и, по видимому, лишь немногие из них страдали от пародонтита.

Действительно, что касается зубов современного человека, то тут можно наблюдать глубокое противоречие. Это самые твердые части нашего тела, однако они невероятно уязвимы. Хотя в палеонтологической летописи зубы сохраняются миллионы лет, наши, похоже, не могут продержаться у нас во рту даже в течение жизни. Зубы дали нашим предкам господство над органическим миром, но сегодня они нуждаются в ежедневном уходе. Такие противоречия возникли недавно и в значительной степени ограничены индустриальной эпохой и нашим временем. Палеонтологи давно поняли, что у зубов глубокие корни

ADAM VOORHES Gallery Stock

ОБ АВТОРЕ

Питер Ангар (Peter S. Ungar) — палеонтолог и специалист по зубной антропологии из Арканзасского университета. Он изучает рацион и приспособления к разному типу питания у современных и ископаемых приматов.



в эволюционной истории. Теперь на это начинают обращать внимание специалисты, проводящие клинические исследования, и стоматологи.

Древнее происхождение

Специалисты по эволюционной биологии часто восхищаются человеческим глазом как «инженерным чудом». Однако, на мой взгляд, глаз проигрывает зубам. Наши зубы разламывают пищу, но не ломаются сами, причем делают это до миллионов раз в течение жизни, при том что они сделаны из тех же веществ, что и измельчаемая ими пища. Инженеры могли бы многому научиться у зубов. Их удивительная устойчивость обеспечивается изощренной структурой, которая придает им жесткость и прочность, чтобы не допустить появления и распространения трещин. Подобные свойства обеспечиваются сочетанием двух компонентов: твердой внешней эмалевой оболочки, почти полностью состоящей из фосфата кальция, и внутреннего слоя дентина, который дополнительно содержит органические волокна, придающие ткани гибкость.

Но настоящие чудеса происходят на микроскопическом уровне. Подумайте об одной сухой макаронине, которая легко ломается при изгибе. А теперь представьте себе тысячи таких макаронин, собранных вместе. Эмаль устроена похожим образом, она содержит тяжи, которые называются кристаллитами и каждый из которых в тысячу раз тоньше человеческого волоса. Из связки таких кристаллитов состоят стержни, так называемые эмалевые призмы. Призмы, в свою очередь,

соединены друг с другом, образуя эмалевое покрытие, содержащее тысячи призм в одном квадратном миллиметре. Они протянуты от поверхности зуба к расположенному ниже дентину и идут параллельно друг другу, извиваясь, сплетаясь и скручиваясь, и такое элегантное устройство обеспечивает потрясающую прочность.

Описанная конструкция возникла не сразу. Природа работает над зубами уже сотни миллионов лет. Благодаря недавним открытиям в области палеонтологии, генетики и биологии развития ученые смогли установить, как шла эволюция структуры зубов.

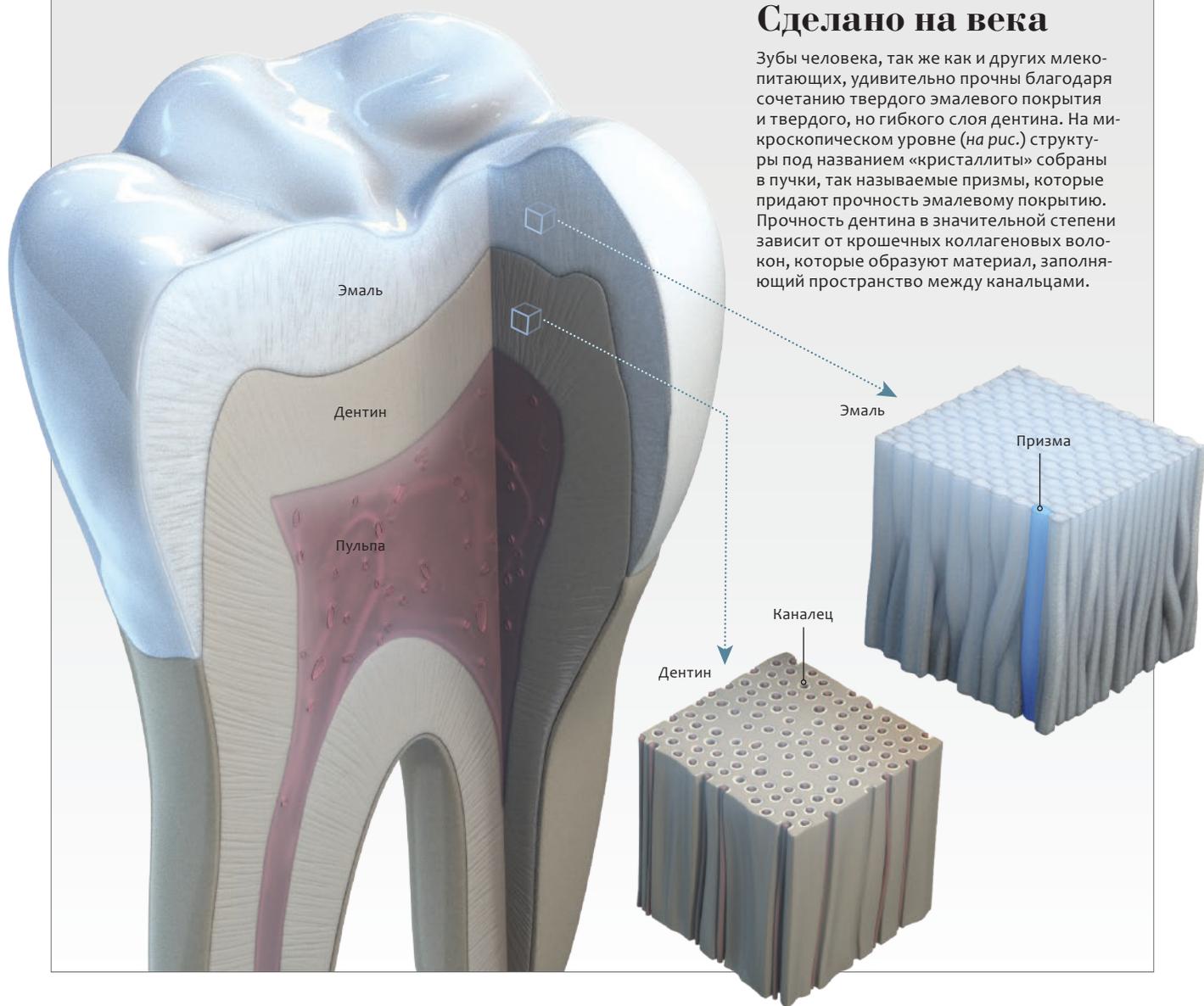
Первыми позвоночными были бесчелюстные рыбы, появившиеся более полумиллиарда лет назад, в кембрийский период. Зубов у них не было, но многие из их потомков имели покрытый чешуей хвост и защищающие голову пластины из фосфата кальция, по структуре похожие на зубы. Внешняя поверхность каждой пластины была из дентина, иногда покрытого более твердым минерализованным слоем, а внутри размещалась пульповая камера с кровеносными сосудами и нервами. У некоторых рыб вокруг рта находились пластины с маленькими выростами или шипами, которые могли помогать при питании. Большинство палеонтологов считают, что в итоге именно эта чешуя в процессе эволюции дала начало зубам. На самом деле, чешуя современных акул так похожа на зубы, что мы называем такие структуры одонтодами (кожными зубами). Специалисты по биологии развития показали, что зубы и акуля чешуя одинаковым образом развиваются из эмбриональных тканей, а недавно

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В наше время у людей зубы часто расположены слишком скученно и подвержены кариесу. При этом у других видов животных такого обычно не бывает, как не было и у наших ископаемых предков.
- Наши зубы формировались в течение сотен миллионов лет и должны были быть очень прочными и идеально ровными для эффективного жевания. Их свойства развивались как приспособление к определенным условиям в полости рта.
- Проблемы с зубами в значительной степени вызваны изменением среды в полости рта из-за потребления более мягкой и сладкой пищи, чем та, которую ели наши предки.

Сделано на века

Зубы человека, так же как и других млекопитающих, удивительно прочны благодаря сочетанию твердого эмалевого покрытия и твердого, но гибкого слоя дентина. На микроскопическом уровне (на рис.) структуры под названием «кристаллиты» собраны в пучки, так называемые призмы, которые придают прочность эмалевому покрытию. Прочность дентина в значительной степени зависит от крошечных коллагеновых волокон, которые образуют материал, заполняющий пространство между канальцами.

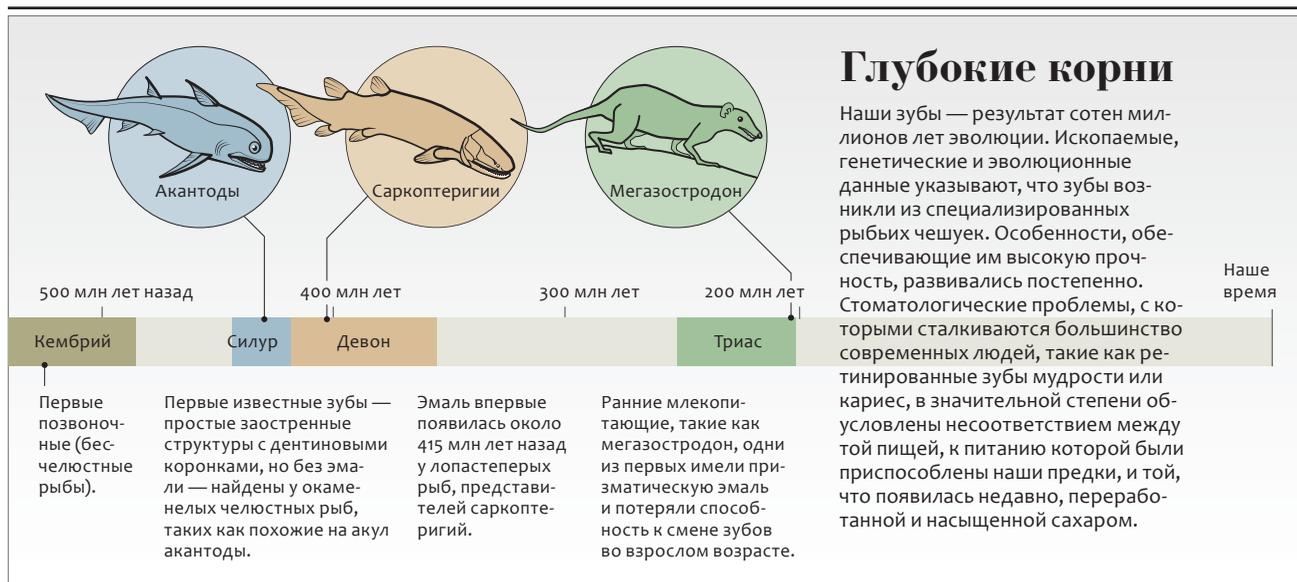


с помощью молекулярных данных удалось подтвердить, что развитие обеих структур контролируется схожим набором генов.

Самые первые настоящие зубы появились позже, когда у рыб сформировались челюсти. Это были в основном простые острые образования, которые можно было использовать для захвата и обездвиживания добычи, а также для того, чтобы царапать, рвать, хватать или щипать любой живой организм. Например, у некоторых акантод — вымерших рыб с шипами, родственных древним акулам, — зубы были уже 430 млн лет назад, в силурийский период. Их дентиновые коронки не имели гиперминерализованного покрытия, они не выпадали и не заменялись, но тем не менее это были зубы. У некоторых на щеках и вокруг рта

были чешуйки, которые ближе ко рту плавно переходили в зубы, что неопровержимо доказывает связь этих двух структур. Даже самые примитивные формы зубов уже должны были давать преимущество, такие животные стремительно распространялись по древним океанам, и со временем рыбы, имевшие зубы, вытеснили тех, у кого их не было.

После того как появились зубы, последовало множество инноваций, менялись форма, количество и распределение зубов, способ смены и способ прикрепления к челюстям. Эмаль впервые появилась примерно 415 млн лет назад, почти на границе силурийского и девонского периодов у группы животных, которых называют саркоптеригиями. К этой группе относятся современные тетраподы (амфибии,



рептилии и млекопитающие) и лопастеперые рыбы, получившие известность из-за того, что у них кости и мышцы в парных передних и задних плавниках похожи на те, что в конечностях четвероногих. У других рыб нет ни эмали, ни набора генов, кодирующих белки для ее производства. Эмаль изначально была только в чешуе, то есть, как и зубы, она возникла как кожная структура и лишь потом переместилась в рот.

Зубы играли важную роль в появлении и эволюции млекопитающих, поскольку помогали поддерживать теплокровность (эндотермию). Выработка тепла собственным телом дает много преимуществ: это способность жить в местах с более холодным климатом или более выраженными колебаниями температуры, возможность поддерживать более высокие скорости перемещения для кормления на более обширных территориях, а также повышенная выносливость при добывании пищи, избегании хищников и заботе о потомстве. Но эндотермия имеет свою цену: в покое млекопитающие тратят в десять раз больше энергии, чем рептилии того же размера. Чтобы обеспечивать организм топливом, наши зубы должны были подвергнуться мощному давлению отбора. Другие позвоночные с помощью зубов хватают, удерживают и убивают добычу. Зубы млекопитающих должны обеспечить получение большего количества калорий при каждом укусе. Для этого они должны жевать.

Зубы млекопитающих выполняют жевательные действия, они направляют и рассредоточивают жевательные усилия, обеспечивают правильное расположение, удержание, разламывание и раздробление пищевых объектов. Чтобы зубы правильно функционировали

во время жевания, расположенные напротив друг друга поверхности должны совпадать до доли миллиметра. Из-за необходимости обеспечить такую точность млекопитающие в отличие от рыб и рептилий не могут многократно вырастить новые зубы, когда старые изнашиваются или ломаются. Древние млекопитающие утратили эту способность, чтобы обеспечить жевание.

Эмалевые призмы — это приспособление для решения той же задачи. По мнению большинства исследователей, призмы развились, чтобы увеличить прочность зубов до уровня, необходимого для жевания. Появились ли эти призмы однократно или возникали независимо много раз — это спорный вопрос, но в любом случае такая базовая структура зубов млекопитающих — дентиновая коронка, покрытая эмалью из призм, — существовала уже в триасовый период. Множество форм моляров у млекопитающих, в том числе и наши — всего лишь доработки того, что сделано по единому общему плану.

Нарушение микробного равновесия

Эволюционной историей наших зубов объясняются не только их прочность, но и их современные проблемы. Дело в том, что в процессе эволюции структуры приспособляются к тому, чтобы работать в определенном диапазоне условий. Для наших зубов такими условиями были определенные вещества и бактерии в ротовой полости, надавливание и стирание. Поэтому изменение условий во рту может заставить наши зубы врасплох. Именно это и происходит из-за современной пищи, непохожей ни на что ранее встречавшееся на планете. Из-за несоответствия нашего поведения

нашей биологии возникают кариес, неправильный рост зубов мудрости и другие ортодонтические проблемы.

Кариес — самое обычное и распространенное хроническое заболевание в мире. От него страдают более чем девять из десяти американцев и миллиарды людей по всему миру. Однако за прошедшие 30 лет я изучил сотни тысяч зубов ископаемых и современных животных и почти не встречал там кариеса.

Для того чтобы понять, почему зубы современных людей так подвержены кариесу, надо учитывать, какие условия для рта естественны. Здоровый рот кишит жизнью, он населен миллиардами микробов до 700 разных видов. Большинство из них полезные, они борются с болезнями, помогают пищеварению и участвуют в регуляции различных функций организма. Но есть бактерии, вредные для зубов, например некоторые стрептококки (*Streptococcus mutans*) и лактобациллы. В процессе своей жизнедеятельности они вырабатывают молочную кислоту, которая портит эмаль. Но обычно концентрация этих бактерий слишком мала, чтобы вызвать необратимые повреждения. Их численность контролируется их родственниками, стрептококками *Streptococcus mitis* и *Streptococcus sanguis*. Данные бактерии создают щелочную среду и вырабатывают белки, подавляющие рост вредных видов. Слюна защищает зубы от воздействия кислоты и омывает их кальцием и фосфатом для реминерализации поверхности. Равновесие между деминерализацией и реминерализацией сохранялось на протяжении сотен миллионов лет, и у всех млекопитающих в полости рта обнаруживаются как полезные, так и вредные бактерии. В процессе эволюции мы обрели способность поддерживать стабильное сообщество микробов, чтобы «держат экосистему в узде», — как метко выразился Кевин Фостер (Kevin Foster) со своими коллегами.

Кариес возникает, когда экосистема нарушается. Богатая углеводами пища способствует размножению вырабатывающих кислоту бактерий, и кислотность полости рта возрастает. Патогенные стрептококки и другие вредные виды процветают в кислой среде, которую сами и создают, и начинают губить полезных бактерий, еще сильнее снижая уровень *pH*. Такая последовательность событий приводит к состоянию, которое клинические исследователи называют дисбактериозом, равновесие смещается и несколько вредных видов вытесняют тех бактерий, которые обычно преобладают в микробиоме полости рта. Слюна больше не может с достаточной

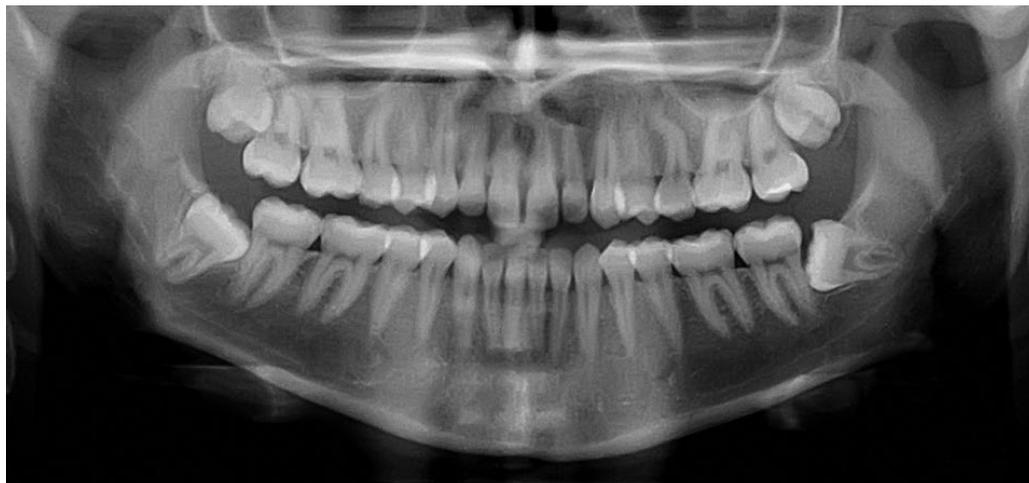
скоростью реминерализировать эмаль, чтобы поддерживать ее в целостности, и равновесие между разрушением и восстановлением смещается. Особенно большие проблемы создает сахароза — обычный сахар. Вредные бактерии используют ее для формирования густого вязкого зубного налета, который помогает им удерживаться на зубах и обеспечивает энергией в промежутках между приемами пищи, так что зубы дольше подвергаются воздействию кислоты.

Биоархеологи давно предположили, что кариес связан с переходом от собирательства к земледелию в период неолита, в течение последних 10 тыс. лет, поскольку бактерии потребляют ферментируемые углеводы, в изобилии содержащиеся в рисе, пшенице и кукурузе. Например, в исследовании ископаемых зубных остатков, проведенном под руководством Кларка Ларсена (Clark Larsen) из Университета штата Огайо, показано более чем шестикратное увеличение заболеваемости кариесом в связи с усвоением и распространением выращивания маиса вдоль побережья на территории современного штата Джорджия. Однако связь между сельским хозяйством и заболеваемостью кариесом не так проста. Частота встречаемости кариеса у ранних земледельцев варьируется в зависимости от времени и места, и в зубах некоторых охотников-собирателей, например тех, кто питался медом, тоже много кариозных дырок.

Самый большой взлет заболеваемости кариесом произошел в результате промышленной революции, которая привела к широкому распространению сахарозы и продуктов с высокой степенью переработки. За последние несколько лет ученые провели генетическое исследование бактерий, погребенных в зубном камне древних зубов, и показали изменение микробных сообществ. Помимо прочего, переработанные продукты мягче и чище, это создает идеальные условия для кариеса: чем меньше жевательных движений, тем ниже вероятность повредить органический зубной налет, чем меньше жестких частиц, тем хуже вычищаются укромные уголки и трещины в зубах, где прячутся создающие налет бактерии.

К сожалению, верхний слой наших зубов формируется таким образом, что мы не можем восстанавливать эмаль так, как восстанавливаем кожу или кости. Это ограничение возникло еще тогда, когда эмаль впервые сформировалась у лопастеперых рыб. Производящие зубную эмаль клетки, амелобласты, мигрируют наружу из внутренней части коронки, оставляя за собой следы эмали — призмы.

Зубы мудрости не могут правильно прорезаться, если челюсть слишком короткая, а это происходит, если детей выращивают на продуктах, которые легче жевать, чем те, к которым мы приспособились в процессе эволюции



Мы не можем сделать еще эмали, потому что клетки, которые ее производят, отслаиваются и утрачиваются, когда зуб сформирован. С дентином другая история. Производящие его клетки, одонтобласты, начинают свой путь оттуда же, откуда амелобласты, но движутся внутрь, до линии пульповой камеры. Они продолжают вырабатывать дентин в течение всей жизни и могут восстанавливать и заменять изношенные или поврежденные ткани. Если травма более серьезная, образуются новые клетки, вырабатывающие дентин, которые отгораживают пульповую камеру и защищают зуб.

Однако по мере развития кариеса эти естественные защитные механизмы могут подавляться, происходит заражение пульпы и в итоге гибель зуба. С эволюционной точки зрения столетие-другое — лишь мгновение, и этого времени недостаточно для того, чтобы зубы приспособились к изменениям среды в ротовой полости, вызванным вхождением в нашу жизнь столового сахара и переработанных продуктов.

Отсутствие нагрузки

Ортодонтические расстройства сегодня тоже приняли размах эпидемии. У девяти человек из десяти зубы расположены хотя бы слегка неровно или нарушен прикус, а три четверти из нас сталкиваются с тем, что зубам мудрости не хватает места для нормального развития. Проще говоря, наши зубы не помещаются на наших челюстях. Как и в случае кариеса, основная причина тут — нарушение среды в ротовой полости, с которым никогда не сталкивались зубы наших предков.

Знаменитый австралийский ортодонт Реймонд Бегг (Raymond Begg) заметил это несоответствие еще в 1920-х гг. Он обнаружил, что коренные народы, ведущие традиционный

образ жизни, сильнее стирают зубы, чем его пациенты европейского происхождения. У аборигенов были идеальные зубные ряды — их передние зубы были прямыми, а зубы мудрости прорезались полностью и использовались. По мнению Бегга, природа ожидает, что зубы будут стираться по бокам и поэтому им понадобится меньше пространства во рту. Он считал, что длина челюсти была «запланирована» эволюцией с учетом подобного стирания. Таким образом, наши зубы формировались для жесткой пищи и абразивной среды, а наша мягкая чистая еда нарушила равновесие между размером зубов и длиной челюсти. Отсюда и берутся очереди в кабинет к хирургу-стоматологу. Путем стирания или вырывания, но объем зубов приходится сокращать.

Следуя такой логике, Бегг разработал методику, которая надолго стала золотым стандартом для выравнивания зубов. Она заключалась в создании пространства путем удаления передних премоляров, прикреплении проволоки к скобкам на оставшихся зубах и вытягивании зубного ряда так, чтобы закрыть промежутки. До Бегга другие ортодонты использовали проволоки, чтобы выпрямить криво расположенные зубы, но они не удаляли премоляры, и в результате выпрямленные зубы обычно искривлялись обратно. Многие стоматологи сначала отказывались от идеи удалять здоровые зубы, чтобы выпрямить зубной ряд, но методика Бегга работала, помогала на всю жизнь и подкреплялась эволюционными представлениями. Бегг пошел еще дальше и предложил давать детям жевательную резинку с абразивным порошком карбида кремния, чтобы стереть зубы и таким образом полностью избежать необходимости ортодонтического лечения.

Бегг был прав насчет несоответствия между шириной зубов и челюстей, но ошибался

в деталях. По словам антрополога Роба Корручини (Rob Corrucini) из Университета Южно-Иллинойса, главным образом изменилась не абразивность среды, а степень механической нагрузки на челюсти во время еды. И это не зубы слишком большие, а челюсть стала слишком маленькой.

Примечательно, что еще Чарлз Дарвин в 1871 г. в своей книге «Происхождение человека» установил связь между нагрузкой и размером челюсти. Однако Корручини одним из первых предложил убедительное доказательство. Когда он еще только начал преподавать в Южном Иллинойсе, студент из соседнего сельского Кентукки рассказал ему, что в их регионе пожилые люди росли, питаясь жесткой пищей, тогда как их дети и внуки ели уже очищенные и переработанные продукты. В дальнейшем исследовании выяснилось, что у пожилых людей, несмотря на почти полное отсутствие стоматологической помощи, прикус был лучше, чем у молодых. Корручини объяснил эту разницу влиянием жесткости пищи. Таким образом, зубные различия имели не генетические, а экологические причины. Корручини нашел и другие такие примеры, в том числе сравнивая в городе Пима штата Аризона людей, выросших до и после того, как они получили доступ к магазинной еде, или сельских жителей близ индийского города Чандигарха, которые питались грубым просом и жесткими овощами, с городским населением, которое ело мягкий хлеб и пюре из чечевицы.

Корручини заключил, что размер зуба запрограммирован на то, чтобы соответствовать челюсти, подвергшейся во время роста механическим нагрузкам, которые обеспечиваются при естественном питании ребенка. Соответственно, если челюсть не получает необходимой стимуляции во время развития, зубы оказываются скученными спереди и сдавленными сзади. Он подтвердил эту гипотезу в эксперименте на обезьянах, показав, что те животные, которые питались более мягкой пищей, имели меньшие челюсти и слишком скученные зубы.

Дарвиновская стоматология

С эволюционной точки зрения становится понятно, что наши проблемы с зубами — следствие резких экологических изменений. Этот новый подход поможет исследователям и врачам бороться с причиной стоматологических заболеваний. Пломбы защищают наши зубы, а фториды укрепляют и реминерализуют эмаль, однако это никак не меняет среду во рту, которая способствует повреждениям.

Антисептические ополаскиватели для рта убивают бактерий, которые вызывают кариес, но они уничтожают также и полезные штаммы, которые нужны, чтобы сдерживать вредных бактерий. Вдохновившись последними открытиями про восстановление микрофлоры, ученые начинают интересоваться перестройкой бактериальных сообществ в зубном налете. В скором времени появятся пробиотики для рта, целевые противомикробные препараты и трансплантация микрофлоры.

Кроме того, размышляя о лечении ортодонтических заболеваний, можно учитывать естественную среду для ротовой полости. Стоматологи и ортодонты понимают, что хорошо переработанная, размягченная пища может изменить механические нагрузки на лицо и челюсти. Жевательные нагрузки стимулируют нормальный рост челюсти и средней части лица у детей. Питание мягкими продуктами приводит к их хроническому недоразвитию. Это вызывает не только проблемы, связанные со скученностью зубов: по мнению некоторых специалистов, возникающее в итоге сужение дыхательных путей обуславливает апноэ во сне, когда дыхание многократно останавливается, а затем возобновляется.

Никто не хочет, чтобы малыши давились во время еды, но, возможно, есть лучшие варианты прикорма, чем гороховое пюре. За прошедшие несколько лет появилась целая новая отрасль промышленности, нацеленная на выращивание челюстей, чтобы открыть дыхательные пути и позволить зубам расти так, как изначально задумано природой. Среди эффективных методов лечения — использование съемных небных расширителей и других приспособлений для управления ростом, и даже хирургическое вмешательство. Но, возможно, если бы мы с раннего возраста кормили наших детей пищей, требующей интенсивного пережевывания, как это делали наши предки, мы могли бы избавить многих от необходимости подобного вмешательства. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Ангар П. Правда о палеодиете // ВМН, № 8–9, 2018.
- Evolution's Bite: A Story of Teeth, Diet and Human Origins. Peter S. Ungar. Princeton University Press, 2017.

Л



Tullbergia mediantarctica, крошечное шестиногое существо размером с кунжутное семечко, ориентируется среди тающих антарктических ледников с помощью пары сидящих на голове мясистых антенн (усиков)

БИОЛОГИЯ

едяная ЭВОЛЮЦИЯ

В Антарктиде до наших дней сохранились крошечные шестиногие животные, пережившие более 30 ледниковых периодов в невероятно суровых условиях этого континента. Сегодня ученые пытаются выяснить, как им это удалось

Дуглас Фокс



ОБ АВТОРЕ

Дуглас Фокс (Douglas Fox) — научный журналист, живущий в Калифорнии и пишущий о климате, экологии и живых существах полярных областях Земли. Предыдущая его статья в нашем журнале — «Переосмысление работы мозга» (ВМН, № 5–6, 2018).



Иэн Хогг (Ian Hogg) и Байрон Адамс (Byron Adams) смотрят вниз из иллюминатора вертолета, плавно скользящего над скалистыми склонами Трансантарктических гор. Тут и там над огромным ледовым щитом высятся бесснежные горные пики, находящиеся всего в 600 км от Южного полюса. Взгляды ученых скользят по изобилующим внизу уступам, карнизам и трещинам скал. Сидя в вертолете в этот солнечный январский день 2018 г., биологи пытаются отыскать в горах ориентиры, соответствующие признакам местности, которую в 1964 г. описал в своих кратких заметках ныне покойный энтомолог Кит Уайз (Keith Wise). Он впервые обнаружил здесь крошечных загадочных существ, которых с тех пор больше никто не видел.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- На горных вершинах Антарктиды, под камнями, ученые обнаружили *Tullbergia mediantarctica* — крошечных ногохвосток, чудом выживающих в невероятно суровых условиях среды.
- Похоже, *Tullbergia mediantarctica* живут на одном и том же месте уже несколько миллионов лет невзирая на окружающие их смертоносные ледники и ядовитые соли.
- Ученые пытаются объяснить невероятную жизнестойкость ногохвосток *Tullbergia mediantarctica* и других мелких животных Антарктиды их генетическими особенностями.



Гряда Трансантарктических гор тянется через всю Антарктиду более чем на 3 тыс. км, разделяя континент на западную и восточную части. Эта горная цепь шириной от 100 до 200 км служит своего рода дамбой, удерживающей Восточно-Антарктический ледниковый щит — громадный купол льда, возвышающийся на 3 тыс. м над уровнем моря. Но через глубокие ущелья между горными пиками потоки льда медленно перемещаются отсюда в западном направлении и подпитывают расположенный значительно ниже Западно-Антарктический ледниковый щит. Благодаря постоянно дующим над восточными плато сухим ветрам сами горные вершины всегда остаются бесснежными.

В зимнее время температура воздуха в южной части Трансантарктического хребта опускается ниже -40°C . Тонкий слой почвы, покрывающий некоторые из горных пиков, на протяжении десятков и даже сотен тысяч лет никогда не увлажнялся водой, а значит, подобно марсианскому грунту, накопил значительное количество едких солей. И все же, несмотря на невероятную суровость окружающей среды, горстка крошечных живых существ с полным правом могут назвать эти горы своим домом. Хогг и Адамс пытаются выяснить, какие виды животных обитают в Антарктиде, собирая



их образцы с 2006 г. Но мелкое членистоногое, открытое в 1964 г. и получившее название *Tullbergia mediantarctica*, на глаза им пока не попадалось. Гора Спид — место, где ученые решили вести свои поиски, — представляет собой невысокий горный хребет в южной части Трансантарктических гор, удаленный от моря примерно на 700 км. Здесь через горное ущелье шириной примерно 10 км медленно ползет с востока на запад ледник Шеклтона. Иэн Хогг, биолог из канадской правительственной организации *Polar Knowledge Canada*, замечает скалу, напоминающую по форме гору, описанную в заметках энтомолога. Пилот сажает на нее вертолет, и пассажиры ступают на голый каменный склон, усыпанный обломками желтоватого гранита. Ученые начинают осторожно переворачивать камни и тщательно осматривать грунт под ними. Через несколько минут они обнаруживают возделенных букашек — десятки беловатых шестиногих существ длиной менее 1,5 мм. Животные медленно, но целеустремленно лавируют между песчинками, нащупывая путь с помощью мясистых антенн (усиков), похожих на пару растопыренных пальцев. Эти нежные существа,

Ученые берут образцы почвы (1) с *Tullbergia mediantarctica* на трех склонах горы Спид (2), соседствующей с ледником Шеклтона (Западная Антарктида)

однако, чрезвычайно чувствительны к недостатку влаги: на открытом воздухе они буквально через несколько минут сморщиваются и умирают. За несколько последующих дней Хогг и Адамс обнаружили членистоногих под камнями и на четырех других горных склонах у нижней оконечности ледника Шеклтона. Иногда населенные ими «оазисы» не превышали по площади баскетбольную площадку.

Tullbergia mediantarctica — один из многочисленных видов крупной группы (подкласса) примитивных бескрылых родственников насекомых, называемой коллемболами (*Collembola*), или ногохвостками. Мало кто слышал об этих неприметных существах, хотя они буквально кишат в верхних слоях почвы и траве по всему свету. Живут эти миниатюрные создания почти во всех регионах нашей планеты, а несколько видов обитают и на участках свободной ото льда земли в глубине Антарктиды, где кроме скудных бактерий и микроскопических грибов почти нет никакой пищи.

Но каким образом *Tullbergia mediantarctica* и другие ногохвостки попали в холодные антарктические горы и как им удалось пережить здесь десятки ледниковых периодов? Эту загадку и пытаются разгадать ученые. По завершении в 2018 г. своей экспедиции Иэн Хогг и Байрон Адамс, биолог из частного Университета Бригама Янга, приступили к генетическому анализу обнаруженных экземпляров *Tullbergia mediantarctica*, а также других видов ногохвосток, собранных ими во время этого путешествия в Антарктиду. Результаты этих исследований, которые ученые обсуждали с автором настоящей статьи и которые будут позднее опубликованы в текущем году, несомненно, прольют новый свет на естественную историю этих удивительных существ. А это в свою очередь, возможно, заставит ученых переписать историю великих перемещений массивных ледяных щитов по континенту по мере похолодания и потепления климата на планете на протяжении миллионов лет. Кроме того, изучение *Tullbergia mediantarctica* и других подобных им организмов значительно расширяет наши представления о пределах выносливости живых существ, вновь и вновь заставляя убеждаться, что даже сложные формы жизни способны существовать в самых суровых условиях окружающей среды.

Иммигранты ледникового периода

Антарктида славится пингвинами и тюленями, но эти крупные животные живут главным образом только на побережьях континента и добывают корм (криль, рыбу и т.д.) в море. Во внутренней части континента, площадь которой превосходит совокупную территорию США и Мексики, эти «брендовые» антарктические существа жить не могут: примерно на 98% она покрыта толстыми ледяными щитами.

В начале XX в. ученые, однако, обнаружили, что в глубине Антарктиды, на расстоянии многих километров от побережий, имеются свободные ото льда участки земли, населенные разнообразными мелкими животными — ногохвостками, клещами, червями и крошечными бескрылыми комариками. Поскольку всем этим существам для жизни требуется вода, чаще всего они живут в небольших куртинках лишайников и мхов на северных склонах, которые летом круглые сутки освещаются лучами солнца, растапливающими снег и таким образом обеспечивающими животных влагой.

В 1964 г. ледник Шеклтона посетил энтомолог Кит Уайз, решивший выяснить, населяют ли животные один из самых уединенных уголков внутренней части Антарктиды. 13 декабря ученый вышел на лыжах из лагеря

и, поднявшись на несколько километров вверх по леднику, достиг основания горы Спид. Вода, образовавшаяся в результате таяния снега, стекала со скалы, увлажняя почву у ее основания. Здесь Уайз обнаружил два вида ногохвосток — серую *Antarctophorus subpolaris*, которую он встречал в других местах планеты, и неизвестную науке *Tullbergia mediantarctica* с беловатой окраской.

На протяжении нескольких десятилетий после открытия Уайза ученые пытались воссоздать по разрозненным фрагментам историю ландшафта, где была найдена новая ногохвостка. Как показал анализ морских отложений, за последние 5 млн лет Антарктида пережила 38 ледниковых периодов. Во время этих похолоданий климата ее ледники утолщались и погребли под собой многие горные склоны, которые вновь обнажаются в наши дни. Температура воздуха тогда была на 5–10° С ниже, чем сегодня. По мнению большинства специалистов, «поднимавшиеся ледяные щиты стирали с лица земли почти все, что попадалось им на пути», — говорит Стивен Чоун (Steven Chown), полярный эколог из Университета Монаша в Мельбурне.

Ученые предполагают также, что после завершения ледниковых периодов ледники истончались и сползали вниз по склонам, обнажая горные пики. В результате вершины скал мало-помалу заселялись различными видами животных, которые приплывали в Антарктиду из Патагонии, Новой Зеландии и Австралии с морскими течениями или «прилетали» сюда на лапах морских птиц. Эти животные-иммигранты, вероятно, сменяли виды, уничтоженные ледниками. С наступлением следующего ледникового периода животные-новоселы, по видимому, также исчезали, а на смену им после очередного потепления прибывала новая волна животных-иммигрантов. Большинство экспертов полагают, что виды, встречающиеся в Антарктиде в какой-либо момент времени, не могли жить здесь дольше 20 тыс. лет.

Но в 2005 г. представления ученых изменились. Две независимые группы исследователей опубликовали результаты генетического анализа, противоречившие этой общепринятой точке зрения. Эколог из Британской антарктической службы Питер Конви (Peter Convey) совместно с Джулианой Аллегруччи (Giuliana Allegrucci) из Римского университета сравнили генетические последовательности у бескрылых комариков, обитающих в Антарктиде и Патагонии — южной оконечности Южной Америки. Основываясь на различиях этих последовательностей и фундаментальных представлениях о темпах их случайных

изменений, ученые определили, насколько давно разошлись эволюционные пути этих видов насекомых. По словам самого Конви, он предполагал, что это событие произошло несколько десятков тысячелетий назад. Но расчеты ученых указывают на то, что эти насекомые существовали в виде самостоятельных видов 68 млн лет. «Мы не могли поверить собственным глазам!» — говорит Конви. Это означало, что антарктические бескрылые комары были отнюдь не иммигрантами, а потомками коренных жителей континента.

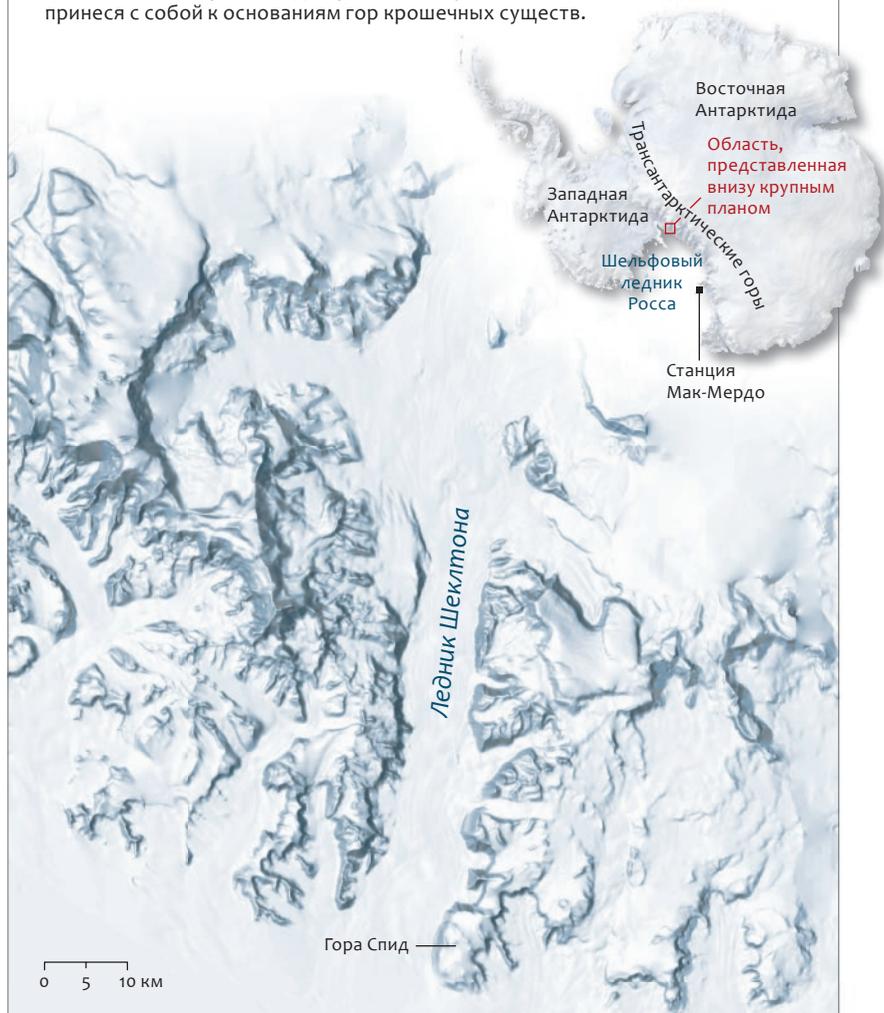
Изоляция в пять миллионов лет
68 млн лет назад Антарктиду покрывали пышные леса, населенные динозаврами и древнейшими млекопитающими. В то время она еще была соединена с Южной Америкой. Эти массивы суши образовывали последний рудимент некогда огромного суперконтинента Гондваны, от которого уже отделились Африка и Австралия. Примерно 35 млн лет назад Антарктида отсоединилась от Южной Америки и погрузилась в глубокую пучину ледяных холодов, уничтоживших здесь почти все живое.

Второе исследование, проведенное в 2005 г., показало, что некоторые виды антарктических ногохвосток появились на этом континенте задолго до последних ледниковых периодов. Хогг и его бывший аспирант Марк Стивенс (Mark Stevens), работавший тогда в Университете Уаикато в Новой Зеландии, провели анализ генных последовательностей с целью определить время, когда произошло разделение эволюционных путей нескольких видов антарктических ногохвосток и родственных им видов, обитающих в Австралии, Новой Зеландии и Патагонии. Согласно полученным данным, это случилось по меньшей мере 10–20 млн лет назад.

Эти и другие подобные открытия поставили ученых в тупик: они не могли объяснить, как таким крошечным существам удалось пережить столько суровых ледниковых периодов. Одни биологи предположили, что мелкие членистоногие уцелели только потому, что жили в небольших изолированных бесснежных

Жизнь среди льда

Гряда Трансантарктических гор разделяет Восточно- и Западно-Антарктический ледовые щиты, но некоторые ледники (например, ледник Шеклтона) медленно перемещаются по глубоким ущельям между горными пиками с востока на запад. На одном из склонов горы Спид (внизу), обращенном в сторону ледника, ученые обнаружили удивительных животных — ногохвосток *Tullbergia mediantarctica*. Как они сюда попали, ученые не знают и по сей день. Согласно одной из гипотез, во время потепления климата шельфовый ледник Росса растаял и потоки морской воды проникли вглубь континента, принеся с собой к основаниям гор крошечных существ.



лощинах-оазисах, называемых Сухими долинами Мак-Мердо. Эти природные комплексы расположены в северной части Трансантарктических гор в 850 км к северу от того места, где Хогг и Адамс обнаружили *Tullbergia mediantarctica*. Долины Мак-Мердо удивительным образом оставались свободными от снега и льда на протяжении последних 12 млн лет. По мнению других ученых, животные переживали ледниковые периоды поблизости от геотермальных источников в окрестностях многочисленных вулканов, расположенных вдоль береговой линии континента. Не исключено, что пережив ледниковый период в этих

Живые *Tullbergia mediantarctica* — белые существа, обильно покрытые щетинками. На открытом воздухе они быстро высыхают и погибают. Справа — сильно увеличенные фотографии высушенного и обработанного красителем экземпляра *Tullbergia mediantarctica* в разных ракурсах. Розовые области тела — жесткий наружный скелет (экзоскелет), зеленая область — плотная наружная оболочка тела (кутикула). По бокам головы у основания усиков различима пара глаз (верхний снимок).



прибрежных укрытиях, животные затем каким-то образом перебирались вглубь Антарктиды и заселяли горы, соседствующие с ледником Шеклтона, и другие похожие места обитания.

Полученные позднее данные, однако, не подтвердили это предположение. *Tullbergia mediantarctica* и другие животные «не водятся в других частях Антарктиды, — поясняет Адамс. — Их не встретишь около вулканов; нет их и на побережьях». Все это опровергает представление, что в прошлом они населяли эти отдаленные местообитания.

В период с 2006 по 2017 г. Хогг посетил более дюжины участков в Трансантарктических горах для сбора живых ногохвосток. Совместно с Адамсом, сопровождавшим его в некоторых поездках, ученый обнаружил пять видов этих существ, все из которых были известны науке

и прежде. Но *Tullbergia mediantarctica* биологи встретили лишь в 2018 г. при посещении горы Спид.

Когда Хогг привез найденных ногохвосток в свою лабораторию, его сотрудники тут же принялись определять их генетические последовательности. Аспирантка Джемма Коллинз (Gemma Collins) секвенировала короткий сегмент ДНК каждого из этих животных, соответствующий гену белка (фермента), называемого цитохром С-оксидазой. Она потратила несколько месяцев на сравнение генетических последовательностей более чем 1,1 тыс. животных из разных мест, расположенных вдоль Трансантарктической горной цепи (некоторые из этих образцов были собраны годами ранее). Сравнение полученных результатов должно пролить свет на происхождение животных. Так, оно поможет ученым выяснить,

произошла ли изоляция их популяций, населяющих различные местообитания, в результате расширения ледяных щитов или животные просто перебирались на новые территории по тонкому льду.

В самые теплые промежутки времени между ледниковыми периодами Западно-Антарктический ледовый щит, по-видимому, истончался и отступал, а шельфовый ледник Росса, покрывающий значительную часть моря Росса, возможно, исчезал вовсе. Оба эти события вполне могли позволить океану проникать вглубь континента вдоль горной цепи. Хогг предположил, что во время этих потеплений, когда обширные участки суши освобождались ото льда, крошечные животные, вероятно, расселялись по континенту и скрещивались с представителями изолированных популяций того же вида. Ногохвостки вполне могли расселяться и благодаря переносу морской водой. «Попав на новое местообитание, — говорит Хогг, — животные могли задерживаться здесь на 50–100 тыс. лет, пока горные склоны не начинали вновь обрастать льдом».

Но, как показывают результаты генетического анализа, перемещения *Tullbergia mediantarctica* и упомянутых выше *Antarctophorus subpolaris* даже в периоды потеплений имели гораздо более ограниченный характер, чем было принято считать прежде. Оказалось, например, что две популяции *Antarctophorus*, представители которых были собраны с лишенных льда горных склонов по разные стороны ледника Шеклтона, похоже, не скрещивались между собой на протяжении 5 млн лет — и это несмотря на то, что расстояние, разделявшее эти популяции, составляло всего 10 км и соответствовало ширине ущелья, по которому перемещался ледник. «Просто поразительно! — восклицает Хогг. — Пять миллионов лет — это огромный промежуток времени. Похоже, что представители этих видов ногохвосток не путешествовали вовсе!»

Как свидетельствуют геологические данные, во время особенно сильного потепления, происшедшего 3–5 млн лет назад, Западно-Антарктический ледяной щит разрушался неоднократно. И когда океан проникал вглубь континента, ногохвостки, возможно, свободно перемещались по воде вдоль горной цепи. Они вполне могли пересекать десятикилометровую водную преграду и спариваться после этого с генетически отличающимися от них сородичами. Но популяции *Antarctophorus* этого не делали. Как показывают результаты генетического анализа, проведенного в лаборатории Хогга, сообщества *Antarctophorus* из окрестностей ледника Шеклтона не скрещивались

с другой популяцией этих существ, обитающей в 160 км к северу, по меньшей мере 8 млн лет. Эти данные заставляют предполагать, что во времена сильного потепления, когда разрушился Западно-Антарктический ледяной щит, на Трансантарктических горах сохранялось достаточно много льда, чтобы препятствовать далеким перемещениям животных.

Еще сильнее поразили ученых результаты генетического изучения *Tullbergia mediantarctica* из окрестностей ледника Шеклтона: генетические последовательности у организмов из всех четырех мест оказались практически идентичными. «Похоже на то, что все они просто-напросто клоны», — говорит Адамс. А это может означать, что все эти животные — потомки одной-единственной пары особей, никогда не скрещивавшиеся с представителями других популяций.

Жизнь между молотом и наковальней

Как *Tullbergia mediantarctica* удалось много миллионов лет существовать в ледовом плену Антарктиды и пережить здесь по меньшей мере 30 ледниковых периодов, не имея возможности перемещаться на значительные расстояния и спариваться с другими популяциями сородичей? Эта загадка становится еще более интересной если учесть, что все это время крошечные животные по сути дела были вынуждены ютиться на узкой полоске земли между смертельно опасным льдом и смертельно опасной коркой ядовитых солей.

Когда в 2018 г. Хогг и Адамс облетали на вертолете ледник Шеклтона, на глаза им часто попадались едва заметные тонкие линии, тянувшиеся по обращенным к нему сторонам гор: примерно в двух сотнях метров над поверхностью льда цвет скал менялся — ниже этих линий он был светлее, а выше темнее. Эти линии представляют собой своего рода отметины, показывающие, какой высоты достигал уровень льда во время последнего ледникового периода, — результат тончайших различий в процессах окисления минералов на воздухе и под ледяным покровом.

Нетрудно представить себе, как по мере утолщения ледников животные были вынуждены перемещаться вверх по горным склонам, чтобы не попасть в ледяной плен. Но эта картина грешит одной нестыковкой: верховья гор насыщены ядовитыми химическими соединениями. Если перевернуть какой-нибудь камень выше «демаркационной линии» в окрестностях ледника Шеклтона или в какой-либо иной части Трансантарктических гор, почва под ним, скорее всего, будет покрыта беловатой коркой солей. «Это плохая соль. Никакого сравнения

с целебной гималайской солью, — скептически замечает Адамс. — И не вздумайте попробовать эту дрянь на вкус — обожжете язык!»

Соль богата нитратами, токсичными для большинства живых существ. В большинстве частей света нитраты, выпадающие на землю с дождями, не накапливаются в почве, так как вымываются оттуда обильной дождевой водой. Но в таких засушливых местах, как Трансантарктические горы, они копятся тысячелетиями, и в конце концов их концентрация достигает здесь токсичного уровня. Кроме того, в высокогорьях накапливаются перхлораты — соединения хлорной кислоты, используемые сегодня в качестве дезинфицирующих средств и окислителей твердого ракетного топлива. Перхлораты вызывают тяжелое отравление и гибель самых разных животных.

Похоже, ногохвостки *Tullbergia mediantarctica* ютились на узеньких пригодных для жизни полосках земли шириной всего в несколько метров

Таким образом, пытаясь спастись от подступающих ледников, ногохвостки и прочая мелкая живность долгие тысячелетия были вынуждены существовать на узеньких полосках суши между «молотом» льда и «наковальной» ядовитых солей: если бы животные оставались на месте, они были бы погребены под слоем льда, а подъем вверх по горным склонам обернулся бы для них смертельным солевым отравлением. Вот почему Хогг и Адамс смогли обнаружить ногохвосток в горах только ниже «демаркационной линии». Впрочем, в разгар последнего ледникового периода эти места покрывал слой льда толщиной не менее 100 м, а потому на протяжении десятков тысячелетий они были совершенно непригодны для жизни столь сложно устроенных организмов, как *Tullbergia mediantarctica*. Где же скрывались эти существа?

Заново переписанная история

Гряда Трансантарктических гор берет начало примерно в 700 км к северо-западу от ледника Шеклтона и на протяжении многих сотен километров тянется вдоль западной береговой линии континента. Здесь, неподалеку от побережья моря Росса, находится одно из самых засушливых мест нашей планеты — практически лишенные льда и снега Сухие долины

Мак-Мердо. Впрочем, в некоторых из них встречаются небольшие покрытые льдом озера, заполняемые летом талой водой. Глубина этих озер не превышает нескольких метров, но на некоторых высоких скалах, окружающих долины, имеются характерные отметины, оставленные древними песком и галькой. Они свидетельствуют о том, что в далеком прошлом некоторые из этих долин были заполнены на глубину в сотни метров водой, бурлящими потоками сбегавшей с окрестных гор. Эта картина, однако, далека от совершенства: обращенные к морю края сухих долин лишены каких-либо барьеров, которые могли бы удержать такую массу воды.

Ученые, однако, предполагают, что во время предыдущего ледникового периода Западно-Антарктический ледяной щит располагался на несколько сотен километров севернее по сравнению с его современным положением и преграждал выход воды из долин в море, что и сделало возможным образование крупных озер. Глубина одного из них, ледникового озера Уошберн, достигала 300 м.

В 1990-х гг. геолог из Университета Мэна Бренда Холл (Brenda Hall) проводила раскопки осадочных пород на высоких горных склонах, окружающих долину озера Уошберн, и собрала промерзшие образцы некогда росших здесь водорослевых сообществ. С помощью радиодатированного метода она датировала возраст водорослей, а следовательно и озера, в 13–23 тыс. лет, что приблизительно соответствует самому разгару последнего ледникового периода. По словам Холл, этот факт породил множество споров — ведь он означал, что ледники в то время таяли интенсивнее, чем в наши дни.

Поскольку климат тогда был холоднее, дать вразумительное объяснение этому обстоятельству ученые пока не могут. Согласно одной из теорий, окружающие Антарктиду моря в то время были покрыты льдом в большей степени, чем сегодня, что сокращало испарение воды и образование дождевых облаков. В результате снегопадов было меньше, а солнечного света, согревавшего темные склоны гор, больше. Это и усиливало таяние снега на высоких горных склонах, что, возможно, имело место на всем протяжении горной гряды, в том числе и в тех местах, где были найдены представители вида *Tullbergia mediantarctica*.

С этим явлением тесно связан феномен, называемый современными учеными «парниковый эффект в твердых телах». Большая часть падающего на ледник солнечного света отражается его снежной поверхностью. Но в Трансантарктических горах, где сильные сухие ветры способствуют испарению снега и льда, поверхность ледников нередко сплошь состоит

из толстого относительно прозрачного льда. Солнечный свет может проникать в толщу этого льда на глубину в 1 м, согревая его и заставляя таять «изнутри». Гляциолог из Портлендского государственного университета Эндрю Фаунтин (Andrew Fountain) обнаружил, что этот процесс может происходить при температуре воздуха до -10°C .

Холл собственными глазами наблюдала это явление на высоких склонах Трансантарктических гор в 200 км к югу от ледника Шеклтона. «В ясные солнечные дни я видела, как по обращенной к солнцу поверхности ледяной скалы сползают вниз тонкие пленки воды», — говорит исследовательница.

Для Хогга и Адамса все эти факты имеют огромное значение: они помогают объяснить, каким образом ногохвосткам, а также мелким червям, клещам и прочим животным удавалось переживать рядом с ледниками (например, Шеклтона) многочисленные ледниковые периоды. Вдоль кромки такой глыбы льда могла располагаться узкая, шириной всего в несколько метров, пригодная для жизни полоска земли, где время от времени скудные талые воды вымывали из почвы ядовитые соли, а также обеспечивали животных необходимой влагой. По мере наступления ледникового периода, когда лед медленно полз вверх по горным склонам, ногохвостки также перемещались вверх (со скоростью, возможно, не более 1 м в год), наталкиваясь по пути на пригодные для жизни полоски земли и на некоторое время задерживаясь на них.

Эти предположения звучат вполне правдоподобно, но требуют существенной доработки. Прежде всего Хоггу и Адамсу необходимо более строго привязать полученные генетические данные к хронологии таяния льда и разрушения антарктических ледников. Кроме того, нужно установить, прослеживается ли такая же закономерность для других видов животных. В настоящее время Хогг и Адамс и их сотрудники пытаются секвенировать ДНК того же самого гена цитохром С-оксидазы одного из видов клещей и одного из представителей круглых червей (нематод), найденных рядом с ледником Шеклтона и в других местах южной части Трансантарктических гор. Ученые надеются, что генетические последовательности помогут выяснить, как долго обитают здесь эти животные, как они перемещались по континенту в далеком прошлом и как им удалось сохраниться до наших дней.

Сейчас ясно одно: некоторые виды животных с успехом выживали на узеньких полосках земли по краям ледников. Когда ледники отступали, эти существа осваивали новые местообитания на ближайших горах. Но с наступлением

следующего ледникового периода большинство популяций вымирали. «Шрамы», нанесенные этими жестокими превратностями судьбы, остались в ДНК *Tullbergia mediantarctica*. Тот факт, что все особи этого вида, обитающие в окрестностях ледника Шеклтона, обладают практически идентичными последовательностями генов, наводит на мысль, что в какой-то доисторический момент времени выжить удалось всего-навсего двум его представителям. А все его современные представители — далекие потомки этих двух везучих прародителей, которые, возможно, были перенесены бурей на подходящий для жизни клочок земли размером с баскетбольную площадку. «Вид *Tullbergia mediantarctica* фактически стоял на грани вымирания», — говорит Адамс.

Разумеется, из Антарктиды исчезли огромные сообщества растений и животных — отчасти во времена массовых вымираний видов, которые происходили на всем протяжении земной истории. Помогут ли ногохвосткам *Tullbergia mediantarctica* восстановиться современные потепление и увлажнение климата в Антарктиде? В январе 2020 г. Адамс вновь наведялся в Сухие долины Мак-Мердо. Уровень воды в местных озерах повышается, почва становится более влажной, растет количество червей-нематод и прочей мелкой живности, обитающей в почве. Но число животных, которым удалось пережить по-настоящему холодные, засушливые и суровые времена, «уменьшается», — сетует Адамс. Возможно, этих старожил вытесняют из Антарктиды пришельцы, более приспособленные к изменившимся условиям среды.

Ожидает ли такая же участь и *Tullbergia mediantarctica*? «С учетом героического прошлого этих существ мне кажется, что с ними все будет в порядке», — говорит Адамс. — Но только в том случае, если им не придется бороться за существование с инвазивными видами». ■

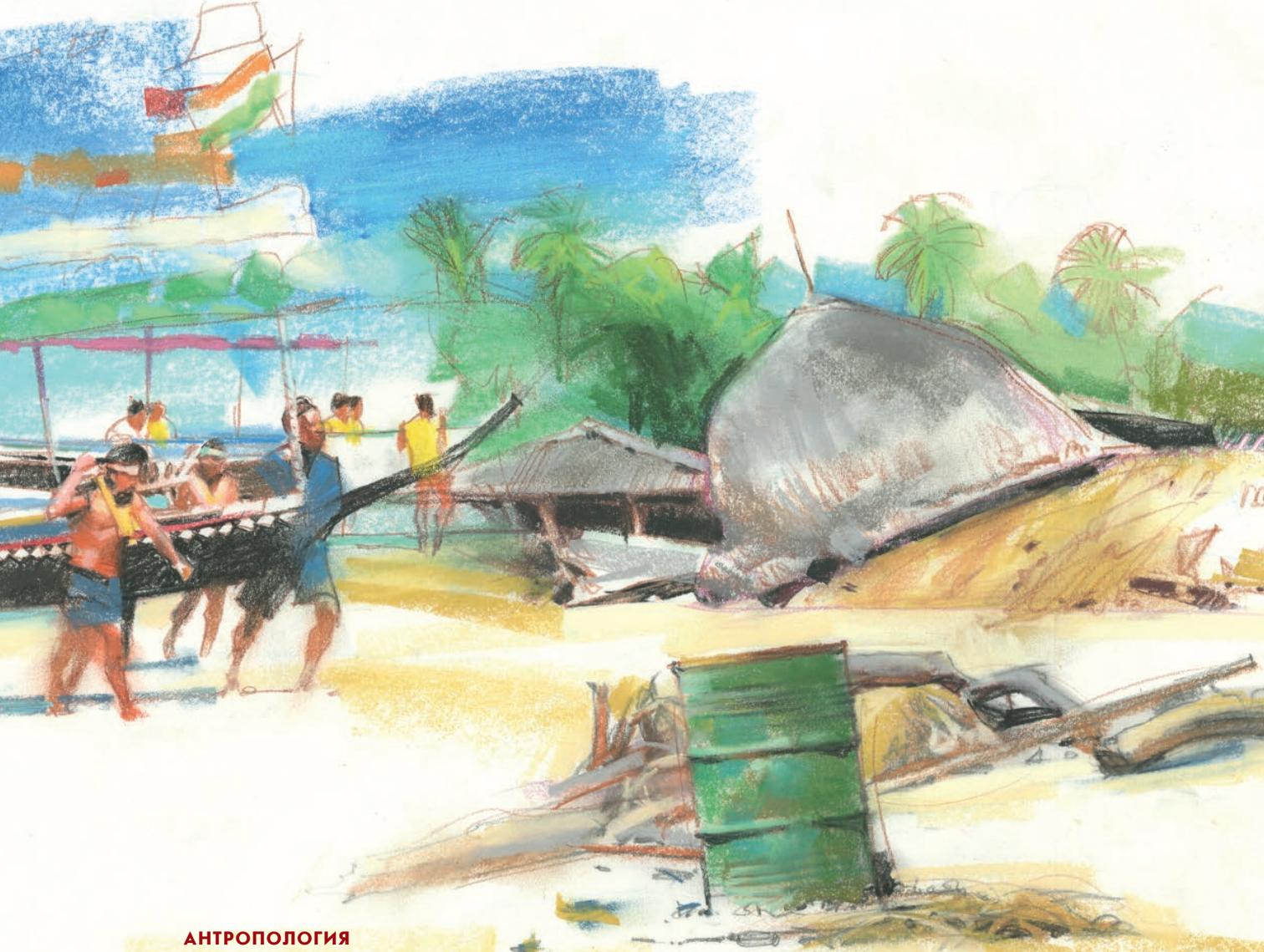
Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Фокс Д. Жизнь у врат ада // ВМН, № 8–9, 2015.
- Nematodes in a Polar Desert Reveal the Relative Role of Biotic Interactions in the Coexistence of Soil Animals. Tancredi Caruso et al. in *Communications Biology*, Vol. 2, Article 63; February 2019.
- Spatial and Temporal Scales Matter When Assessing the Species and Genetic Diversity of Springtails (Collembola) in Antarctica. Gemma E. Collins et al. in *Frontiers in Ecology and Evolution*, Vol. 7, Article 76; March 2019.



**Обитатели
Никобарских
островов** отдают
дань предку,
скончавшемуся
десятки лет
назад, устраивая
гонки на каноэ.
По их мнению,
никто на самом
деле не умирает,
но переходит в мир
духов и защищает
общину.



АНТРОПОЛОГИЯ

Помощь ПОСЛЕ ЦУНАМИ

Как ликвидация последствий стихийного бедствия уничтожила сообщество коренных жителей

Аджай Саини и Симрон Сингх

ОБ АВТОРАХ

Аджай Саини (Ajay Saini) — доцент Индийского института технологий в Дели, работает с удаленными общинами коренного населения.

Симрон Сингх (Simron Singh) — доцент Университета Уотерлу в Онтарио, занимается изучением рационального природопользования в маленьких островных государствах и административных единицах, которым угрожает изменение климата.



Н

а Нанкаури, одном из Никобарских островов в Бенгальском заливе, наступила ноябрьская полночь 2000 г. Один из нас (Симрон Сингх) ждал в непроглядной темноте, слушая шум волн, разбивающихся о берег примерно в 20 м от него; высоко в небе сверкали звезды. Вскоре появились жители деревни с зажженными факелами из высушенных листьев. Шаман Чачо умерла в июле, и этой ночью наступила кульминация праздника Таноинг в память о ее кончине.

Весь день семья и друзья покойной ритуально выражали горе, принося в жертву выращенных свиней и разбивая красивые вещи, которые они мастерили несколько часов и даже дней. (У никобарцев предметы, на создание которых были затрачены усилия и время, символизируют богатство, и их уничтожение означает разрыв с материальным миром.) Они замысловато украсили дом Чачо и устроили пир, во время которого ели плоды пандануса (богатый крахмалом фрукт), свинину и другие деликатесы. Теперь островитяне шли в составе процессии, возглавляемой Ехадом, братом Чачо, *minluana* (знахарем) по имени Тинфус и еще несколькими старейшинами, за которыми следовали десятки мужчин, женщин и детей; все были в праздничном настроении.

Ехад и его спутники несли вещи, принадлежавшие Чачо: утварь, корзины и другие предметы,

которыми она дорожила. Некоторые из этих предметов они развесили на близстоящем дереве, остальные положили на бамбуковую платформу в головах могилы. Потом старейшины украсили могилу, наматывая метры цветной ткани вокруг столба, отмечавшего место, до тех пор, пока он не стал напоминать стоящую мумию. Все постоянно находилось в хмельном состоянии благодаря тодди (перебродившему соку кокосовой пальмы), который передавали по кругу в скорлупе кокосовых орехов; подростки флиртовали. Несколько нарядно одетых девушек предлагали гостям табак и листья бетеля из украшенных корзин.

После того как старейшины завершили обряд, толпа вернулась в дом Чачо, шутя и смеясь. Тинфус установил в доме символизирующую дух Чачо изящную крылатую статуэтку, которую он сам вырезал и раскрасил. Плакальщики начали петь

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Для ликвидации последствий разрушительного декабрьского цунами 2004 г. потребовались серьезные усилия с привлечением неправительственных организаций и затратой беспрецедентных ресурсов со стороны правительств.
- На коренных жителей Никобарских островов, где прежде существовала самостоятельная экономика, обрушилась помощь без учета особенностей местной культуры, что привело к разрыву связей в общине и стимулировало рост потребления.
- Через 15 лет никобарцы приобрели вкус к потребительским товарам, для получения удовлетворения от которых у них не имеется средств. Они страдают от болезней, связанных с образом жизни, таких как диабет, а также от депрессии и алкоголизма.

и раскачиваться и, употребляя все больше и больше тодди, постепенно впадали в коллективный экстатический транс. Радостное настроение сохранялось почти весь следующий день: шаман перешла в мир духов, где она будет жить и защищать общину.

С точки зрения никобарцев, смерть — это продолжение жизни в другой форме. Все их церемонии связаны с культом духов природы и духов предков, проводниками которых служат вырезанные и раскрашенные статуи. Эти объекты рассматриваются как живые существа, охраняющие дом, деревню и общину. По мнению никобарцев, на самом деле никто не умирает. Если какое-нибудь общество и имеет культурные и психологические ресурсы для того, чтобы справиться с тяжелой травмой от неожиданной массовой гибели людей в результате стихийного бедствия, так это коренные жители этих удаленных островов.

Ранним утром 26 декабря 2004 г. резкое скольжение Индийской континентальной плиты под Бирманскую микроплиту в 30 км от западного побережья северной части Суматры вызвало землетрясение магнитудой 9,1 балла, ставшее причиной самого разрушительного цунами в истории. Архипелаг Никобарские острова, включающий 22 острова, общая площадь которых составляет всего 1841 км², расположен вдоль линии разлома и очень близко к эпицентру землетрясения. Волны высотой больше 15 м ударили по островам несколько раз, полностью захлестнув более мелкие острова и смыв целые деревни. Десятки квадратных километров суши разрушились и погрузились под воду; прекрасный остров Тринкет разломился на три части. По официальным данным, на Никобарских островах погибло или пропало без вести 3449 чел., но по оценкам независимых исследователей число жертв составило порядка 10 тыс. (По данным переписи 2001 г., численность населения составляла 42 068 чел., из них около 26 тыс. — этнические никобарцы.) В результате цунами погибли около 125 тыс. домашних животных и было уничтожено более 6 тыс. га кокосовых плантаций, 40 тыс. га коралловых рифов и почти три четверти домов.

Традиции спасли жизни нескольких людей. Староста деревни Мунак на острове Каморта вспомнил предупреждения предков о последствиях колоссального землетрясения и заставил жителей деревни бежать с пляжа. К счастью для них внутренняя часть острова представляет собой возвышенность; никто из Мунака не погиб. Невероятно, но многим жителям острова Чаура, которых смыло гигантскими волнами, удалось вплавь вернуться назад.

Катастрофа таких масштабов вызвала огромный отклик. Для оказания гуманитарной помощи

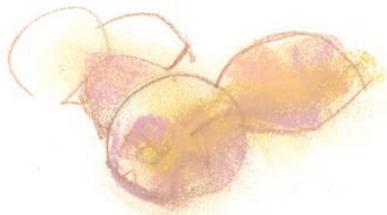


Никобарские острова расположены на линии крупного разлома, где 26 декабря 2004 г. произошло скольжение литосферных плит, породившее разрушительное цунами, которое погубило тысячи коренных никобарцев и уничтожило их деревни

жертвам цунами в Бенгальском заливе и остальным были мобилизованы более \$14 млрд, 39% из которых составляли добровольные частные пожертвования. Правительство Индии, которая унаследовала Никобарские острова от Британской империи в 1947 г., начало операцию по спасению и восстановлению, стали действовать агентства помощи. В течение последовавших месяцев и лет благотворители буквально засыпали в высшей степени изолированное общество продуктами, электроникой, потребительскими товарами и пожертвованиями.

Могло бы показаться, что такие благородные усилия намного улучшили жизнь никобарцев по сравнению с тем, что было до цунами. Но помощь, не учитывавшая особенности культуры, подорвала основы исторически стойкого общества с веками существовавшими институтами независимого и демократического принятия решений. Эти меры привели к дезинтеграции когда-то тесно связанного сообщества, и многие из его членов стали страдать от алкоголизма, диабета и других болезней, прежде неведомых. Сейчас, 15 лет спустя, в связи с бедственным положением островитян возникает вопрос об эффективности гуманитарной помощи, движущей основой которой становятся приоритеты жертвователей, а не получателей.

Ежегодно мир переживает приблизительно 350 стихийных бедствий, наносящих ущерб миллионам людей. За последние три года государственные и неправительственные организации помогли снизить влияние таких трагедий за счет их предупреждения и подготовленности.



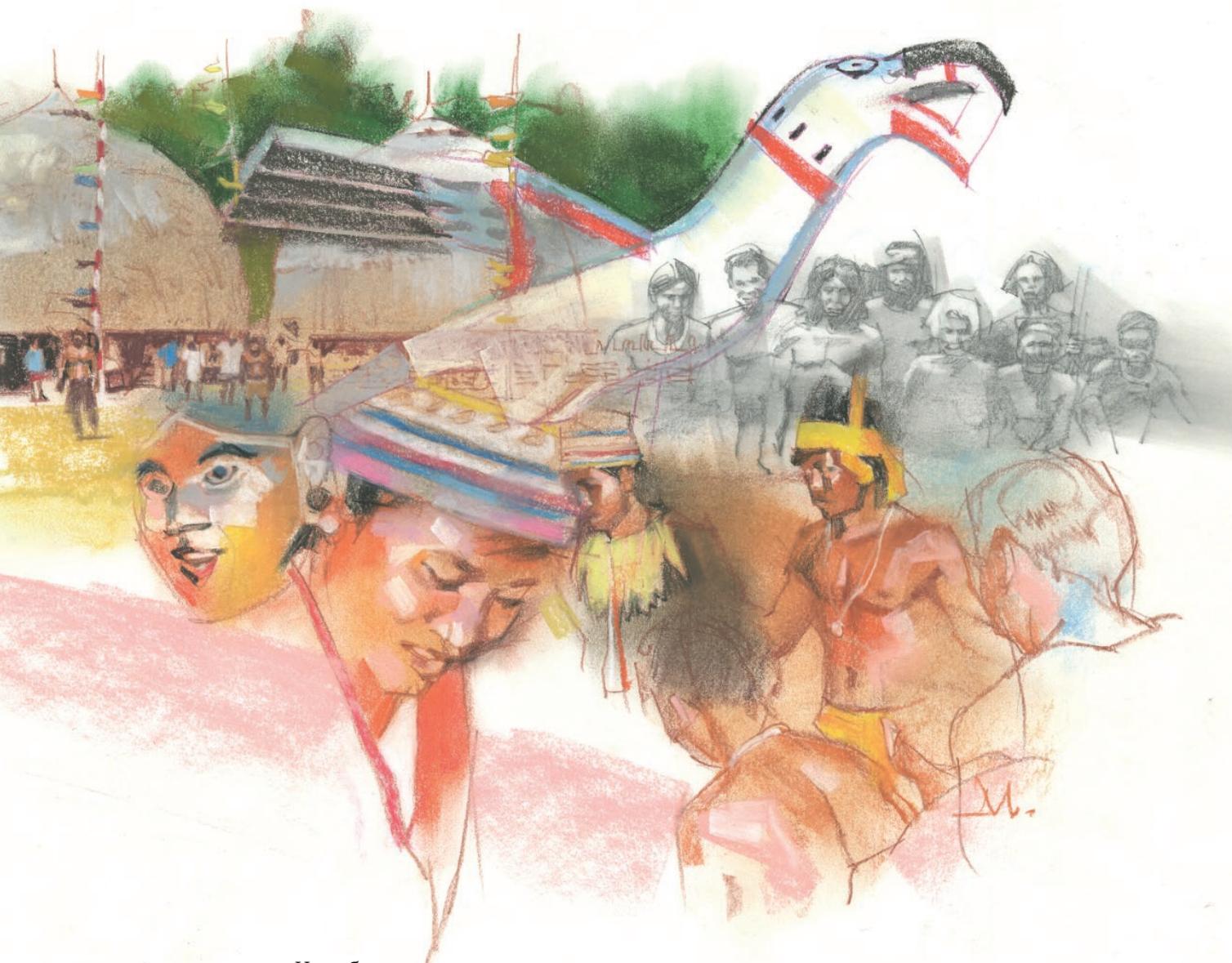
Кокосы, выращенные в садах, — характерный элемент пиров, музыкальных представлений и спортивных состязаний во время никобарских церемоний. Помимо жителей деревни, в таких церемониях принимают участие природные духи и духи предков, представленные вырезанными из дерева статуями людей и других существ.

К несчастью, согласно оценке Департамента ООН по экономическим и социальным вопросам, правительства и другие игроки считают культуру коренных народов «низкой, примитивной, неуместной, чем-то, что необходимо искоренять или преобразовывать». Такие сообщества становятся особенно уязвимы во время бедствий, поскольку группы, экономически и политически доминирующие в современном обществе, навязывают им изменения исходя из идеологических соображений, навсегда отдаляя людей от земли и культуры.

Мы, авторы этой статьи, — антропологи, которые независимо друг от друга в течение двух десятилетий занимались изучением никобарцев. Эти исследования позволили нам глубоко понять устройство общества и культуру этого народа до и после цунами. Симрон Сингх проводил полевые исследования в период с 1999 г. по 2009 г., а Аджай Саини занимается изучением коренного населения Никобарских островов с 2010 г.

Никобарцы переселились на архипелаг с полуострова Малакка тысячи лет назад и говорят на языке, относящемся к семье австроазиатских языков. До цунами островитяне занимались охотой и собирательством, выращивали свиней и рыбачили в богатых коралловых рифах, окружающих острова. Некоторые расширенные семьи, называемые *tuhet* или *kamuanse*, выращивали сельскохозяйственные культуры, многие из которых продавали за пределы островов: корнеплоды, апельсины, сахарный тростник, лимоны, бананы, ямс, папайю, хлебное дерево и особенно кокосы. Все члены семьи, состоящей из трех или более поколений, вместе ухаживали за садами, пели, шутили и наслаждались тодди; труд и отдых составляли единое целое. Размер социального капитала — объем помощи, которую мог получить нуждающийся от друзей и соседей, — варьировался и считался важной формой богатства. Тем не менее социальные нормы гарантировали, что никто не будет страдать от бедности.

Веками суда, курсировавшие между Индией и Китаем, во время своих долгих путешествий



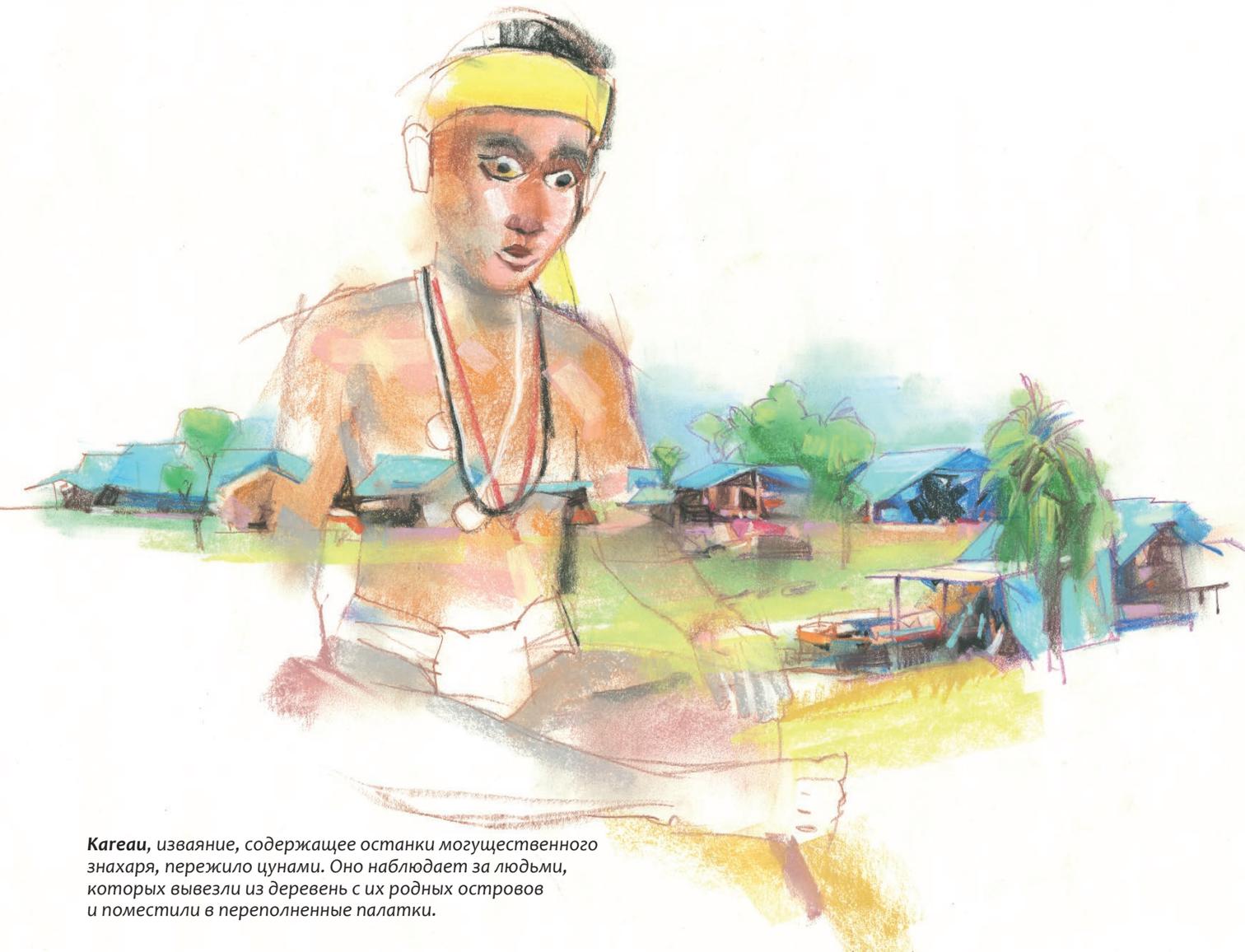
вставали на якорь у Никобарских островов для пополнения продовольственных и прочих запасов. В 1756 г. архипелаг колонизировали датчане, затем островами по очереди владели Австрия, Великобритания, Япония (во время Второй мировой войны), опять Великобритания и, наконец, Индия. Ни одни из перечисленных колонизаторов не оставили заметного следа в местной культуре. В 1956 г. Индия законодательно ограничила въезд на острова для должностных лиц, военнослужащих, избранных бизнесменов и поселенцев. Никобарцы начали высушивать мякоть кокосов, получая копру, которую они обменивали у частных торговцев или местных кооперативов на рис, сахар, керосин, одежду и другие товары, которые не производились на островах. Наличные редко переходили из рук в руки.

Однако когда Симрон Сингх добрался до архипелага через три недели после катастрофы 2004 г., все было не так, как раньше. Береговую линию стало не узнать, остатки многих деревень затопило море. Разрушенные кораллы, поваленные деревья и другой мусор не позволяли передвигаться

по островам на лодке, а внедорожники застревают в болотах, поэтому приходилось совершать длительные переходы.

Однако больше потрясло то, что произошло с людьми. Индийские вооруженные силы эвакуировали почти 29 тыс. выживших, из них около 20 тыс. никобарцев, включая всех жителей шести мелких островов, таких как Тринкет, Чаура и Бомпока. Местная администрация, находящаяся в столице региона Порт-Блэре на острове Южный Андаман, разместила эвакуированных в 118 лагерях, разбитых на возвышенностях во внутренних частях оставшихся островов. Люди, оказавшиеся в переполненных палатках из голубого брезента, получили чистую воду и пищу, и ничего больше. Многие по-прежнему находились в шоке.

По словам Кефуса, старосты острова Бомпока, для обеспечения будущей продовольственной безопасности было крайне важно, чтобы местные жители сразу же вернулись на остров строить жилища и ухаживать за садами и огородами. Кефус и другие старейшины опасались — и эти опасения оказались пророческими, — что длительная



Kageau, изваяние, содержащее останки могущественного знахаря, пережило цунами. Оно наблюдает за людьми, которых вывезли из деревень с их родных островов и поместили в переполненные палатки.

разлука с островами приведет к исчезновению связи с предками и идентичности народа. «Мы можем умереть, но должны вернуться», — заявил Джонатан, староста Чауры. Несколько старост попросили лодки и инструменты у правительственных чиновников, однако местная администрация сообщила, что меры по оказанию серьезной помощи планируются индийским правительством в Нью-Дели (которое напрямую управляет архипелагом) и если беженцы уедут, то откажутся от помощи. Это обещание смутило многих обитателей лагеря, которые не знали, то ли полагаться на собственные ресурсы и традиции, то ли довериться властям. Многие решили подождать и посмотреть, что будет.

В последующие недели и месяцы начали поступать предметы первой необходимости, которые зачастую плохо соотносились с потребностями и культурой получателей помощи. К середине 2005 г. никобарцы жили в строениях, возведенных из листов жести. Правительство снабжало беженцев пайками и медикаментами, неправительственные организации — другими гуманитарными грузами, в том числе технологически обработанными продуктами и потребительскими товарами, прежде неизвестными коренному

населению. Многие были бесполезны. Жители лагерей получали шерстяные одеяла (неподходящие для жаркого и влажного климата), сари (эту одежду носят индийские женщины, но она совершенно чужда никобарцам) и электронику (в условиях, где электроснабжения или не существует, или оно непостоянно).

Подход индийского правительства к распределению помощи усугубил проблемы. Власти консультировались с получателями помощи по некоторым вопросам, но предпочитали работать с неопытной и впечатлительной молодежью, владеющей хинди или английским. Эти так называемые старосты цунами не могли эффективно представлять общину и в конечном итоге во всем соглашались с чиновниками. Авторитет старейшин, принимавших решения прежде, ослаб, поэтому возник конфликт поколений и власть сосредоточилась в руках администрации.

При поддержке «старост цунами» правительство разместило на вновь открытых банковских счетах огромные средства в качестве компенсации ущерба, причиненного цунами. Все без исключения нуклеарные семьи (*супружеские пары с детьми*. — *Примеч. пер.*), возглавляемые мужчинами,

получили деньги. Таким образом, была подорвана система семьи из трех и более поколений и нарушен статус женщин, которые до этого играли важную роль в принятии ключевых решений в области экономики. Получение неведомой раньше власти изменило мужчин — глав семей; когда вставал вопрос об определении получателей помощи, некоторые «старосты цунами» отдавали предпочтение собственным семьям, в результате между ними возникли конфликты.

Все это время никобарцы томились в душных и грохочущих жестяных будках. Мохо с острова Кондул сказал, что он чувствовал себя, как «птица в клетке». В тесных убежищах не оставалось места для выращивания овощей и разведения свиней. В лесах было полно поваленных деревьев, но не было топоров, чтобы обработать древесину для постройки домов. Мелкие реки на островах, с которых эвакуировали людей, изобиловали рыбой и крабами, не за горами был посевной сезон, но большинство никобарцев застряли в лагерях и зависели от пайков. Некоторые чувствовали, что их превращают в попрошаек. «Мы можем справиться сами, — сказал Хиллари, староста деревни Тапонг на острове Нанкаури. — Нам не нужны печенье и чипсы. Нам нужно строить дома и выращивать наши сады. Дайте нам инструменты, если хотите помочь».

На островах начались слабые протесты. Никобарцам было необходимо место, чтобы горевать и строить свою жизнь так, как предписывали их культурные традиции. «Оставьте нас в покое, или мы точно умрем», — сказал Джон Пол (John Paul), староста острова Катчалл. Эти просьбы не были услышаны. Многие старейшины, такие как Пол Джоора (Paul Jooga), староста островов Большой и Малый Никобар, предвидели, что «однажды эта помощь разобьет никобарцам сердце». Но из-за конфликтов с молодыми лидерами и запутанных сигналов от администрации старейшинам не удалось победить. Кроме того, в силу особенностей своей культуры, основанной на достижении согласованного мнения, никобарцам трудно выражать несогласие, и они не могли решительно протестовать, когда им что-либо навязывали.

Некоторые никобарцы отказались сдаваться. Находившиеся в лагере на соседнем острове Тересса жители Чауры, у которых традиции исключительно сильны, построили каноэ с помощью инструментов, спасенных ими из менее пострадавших деревень. Каноэ дали им возможность постоянно наведываться на Чауру, чтобы расчищать мусор, ухаживать за садами и восстанавливать дома. Через полтора года после эвакуации жители Чауры навсегда вернулись домой на ста малых и десяти используемых для празднеств каноэ, на строительство которых они потратили свое время в период изгнания.

К моменту, когда в 2011 г. правительство завершило строительство постоянных жилищ для никобарских беженцев, их сообщество бесповоротно изменилось. За годы, проведенные в гуманитарных лагерях, коренное население вступило в тесный контакт с индийскими поселенцами, смотревшими на никобарцев сверху вниз и считавшими их «примитивным» народом, который ходит полуголым и питается сырой рыбой. Со временем многие молодые люди усвоили такую точку зрения и стали стыдиться собственной культуры. Наличные, полученные от правительства, позволили им покупать вещи — телевизоры, мотоциклы, мобильные телефоны, — благодаря которым они стали выглядеть как чужаки и вели такую же жизнь. Мерилом богатства стало обладание современными предметами потребления. Поселенцы и торговцы обирали доверчивых никобарцев, быстро опустошая их банковские счета.

Имея деньги и бесплатные пайки и годами вынужденно бездельничая, многие никобарцы постепенно утратили стимул для работы. Длительное бездействие привело к депрессии, и многие нашли утешение в крепком алкоголе

Имея деньги и бесплатные пайки и годами вынужденно бездельничая, многие никобарцы постепенно утратили стимул для работы. Их рацион изменился: стали преобладать пряные индийские блюда и фастфуд. Длительное бездействие и зависимость привели к депрессии, и многие нашли утешение в гораздо более крепком алкоголе, чем ферментированный сок кокоса. Несмотря на принятый в 1956 г. законодательный запрет, быстро выросли продажи не традиционных для Индии, но производимых внутри страны алкогольных напитков, таких как виски и ром, которыми никобарцев снабжали поселенцы и торговцы.

Для обеспечения занятости бездельничающих никобарцев правительство приступило к реализации нескольких программ по восстановлению источников средств к существованию, но большинство мероприятий продумали плохо. Например, когда власти учредили общественные плантации, они не понимали, что у никобарцев право

собственности на землю имеет род, который распределяет права пользования среди составляющих его нуклеарных семей. Дерево принадлежит тому, кто его посадил, но земля остается во владении *tuhet* или *kamuanse*. Если кто-нибудь пытался посадить дерево на земле, которая не была предоставлена родом, то возникали серьезные конфликты.

Завершение строительства 7001 постоянного дома спровоцировало еще один кризис. До цунами типичное поселение никобарцев располагалось в пределах бухты близко к берегу, часто скрытое за мангровыми зарослями. Каноэ с аутригерами обеспечивали быстрый доступ к другим деревням и близлежащим островам. Хижины возводили на сваях для защиты от ядовитых рептилий и разливов во время сезона дождей; в тени под хижинами жили куры и свиньи. Предназначенные для тропиков дома были исключительно комфортными: вход, как правило, был обращен к морю, крышу крыли пальмовыми листьями, а стены и пол из расщепленного бамбука свободно пропускали легкий ветер с моря.

При осуществлении мероприятий по ликвидации последствий стихийных бедствий надо не использовать универсальный подход, а учитывать культурные различия, обеспечивать активное участие самих пострадавших

Однако власти построили постоянные дома, которые назвали убежищами от цунами, далеко от берега, на больших высотах над уровнем моря. Подрядчики привезли на судах импортные материалы — сборные конструкции, стальные колонны, вагонку, бетонные блоки, железные столбы и оцинкованные листы — и сотни рабочих отовсюду. Многие из них постепенно захватили никобарские земли и остались на постоянное жительство.

Теперь никобарцы не могли отремонтировать собственные дома, если в них протекала крыша или обрушились стены. Жителям приходилось просить помощи у властей. Что еще хуже, при проектировании и распределении таких домов правительство разделило расширенные семьи на несколько нуклеарных домохозяйств, подрывая сами основы никобарского общества. В прошлом род поддерживал всех своих членов и помогал

родственным семьям в трудные времена или во время организации больших церемоний. Фрагментация привела к уничтожению системы сильной социальной поддержки, характерной для общества, и его члены в критический момент оказались уязвимы.

Для некоторых последствия оказались еще более разрушительными. Власти объявили отдельные острова непригодными для жилья и построили дома для бывших обитателей этих земель на других островах. Оторванность от земли предков, с которой существовала глубокая духовная и эмоциональная связь, стала для таких никобарцев причиной великих страданий. «Мы скучаем по нашим деревням, но и они тоже будут скучать по нас», — горевал Пол Джоора. Родина, населенная духами предков, была для никобарцев живым существом, и разрыв связей с ней оказался еще более болезненным, чем потеря члена семьи.

Кроме того, пришлось расплачиваться за многолетний стресс, сидячий образ жизни и привязанность к технологически обработанным продуктам. Появились прежде неведомые болезни, такие как гипертензия. На островах нет современных медицинских учреждений, а большинство традиционных целителей, обладавших богатыми знаниями о растительных лекарственных средствах, погибли во время цунами. Никобарцы начали умирать от инфарктов, диабета, ран, респираторных заболеваний, пневмонии, малярии и других болезней. Таким же бедствием стал алкоголизм.

После распределения последних убежищ от цунами в 2011 г. власти внезапно прекратили предоставление помощи. Когда наличные закончились, зависимые от алкоголя больше не могли покупать виски и ром и начали употреблять *jungle*, запрещенную токсичную смесь этилового спирта, мочевины, электролита из аккумуляторов и других химикатов, с которой никобарцев познакомили рабочие с материка в период восстановления. «*Jungle* убьет больше никобарцев, чем убил цунами», — предсказал Айеша Маджид (Aysha Majid), возглавляющий племенной совет Нанкаури.

Многие коренные жители считают, что причина их болезней и смерти кроется в беспрестанной печали. «Может, мы и кажемся живыми, но глубоко внутри мы все мертвы», — с отчаянием рассказывал Чупон, старейшина Нанкаури. Тинфус, знахарь, участвовавший в радостной поминальной церемонии, посвященной Чачо, разделял его чувства. «Никобар умирает», — сказал он Аджаю Саини в 2014 г. Тихим дрожащим голосом Тинфус объяснил, что *kareau*, духи предков, всегда защищали никобарцев от злых духов. Но за последнее время его народ утратил веру в свою традиционную мудрость и вступил на путь самоуничтожения. Тинфус предсказывал, что помощь после цунами приведет к уничтожению поколений никобарцев. Его

рассказ был долгим и прерывался глубокомысленными паузами, а в середине предложения Тинфус вдруг разразился слезами. В сентябре 2018 г. Тинфус, один из последних *tinlunana*, скончался в возрасте 80 лет. Его смерть ознаменовала конец целой эпохи на Никобарских островах.

После цунами сообщество никобарцев утратило социальную сплоченность, духовные традиции, обычаи рационального использования ресурсов и другие нематериальные атрибуты, когда-то обеспечивавшие его устойчивость. Расход материалов (оцениваемый по весу) возрос в шесть раз, потребление ископаемого топлива увеличилось в 20 раз. Не имея постоянной помощи или хорошо оплачиваемой работы, никобарцы могут лишь предаваться отчаянию, потому что их возросшие потребности не соответствуют ограниченному средству. Истратив деньги, полученные в качестве компенсации, и располагая ограниченным выбором источников средств к существованию на Никобарских островах, многие островитяне переселяются в поисках работы в столицу региона, Порт-Блэр. Там они кое-как перебиваются, сталкиваясь с эксплуатацией и расизмом со стороны преобладающего населения — индийцев. Кристофер, секретарь племенного совета острова Терресса, в 2018 г. рассказывал Саини, что жители материка оскорбляют никобарцев словесно и физически. «Это больно, — сказал он. — Но что мы можем сделать?»

Мы считаем, что негативные последствия непродуманной помощи можно было бы исправить. Это тесно связанное сообщество, обладающее богатой базой традиционных знаний, не нуждалось в специалистах-чужаках, чтобы определить, как справиться с затруднительным положением после цунами. По словам Рашида Юсуфа (Rasheed Yusoof), представителя племенного совета Нанкаури, для того чтобы получить то немного, что им требовалось от чужаков, никобарцам было нужно только, чтобы к ним прислушались. Однако из-за действий неправительственных организаций и правительства, уверенных в том, что они лучше знают, как должно быть, первоначальная решимость островитян заново построить свое будущее растворилась в потоке неподходящей помощи, и в конечном счете они превратились в сбитых с толку людей, ведущих сидячий образ жизни и страдающих от депрессии.

В 2015 г. на конференции ООН были официально приняты руководящие принципы предотвращения и смягчения последствий бедствий и подготовки к ним, а также решено внедрять принцип «сделать лучше, чем было», то есть положение жертв после стихийного бедствия должно стать лучше, чем до. Тем не менее исследования в таких

разных местах, как Гаити, Непал и Филиппины, показывают, что специалисты, реализующие на практике принцип «сделать лучше, чем было», постоянно упускают из виду специфические нужды и предпочтения тех, кому они стремятся помочь. «Обещание не создавать заново и не усугублять моменты уязвимости, существовавшие до стихийного бедствия, в основном не выполняется», — сделали вывод исследователи Гленн Фернандес (Glenn Fernandez) и Ифтекхар Ахмед (Iftekhar Ahmed) в опубликованном в 2019 г. обзоре литературы о реализации принципа «сделать лучше, чем было». На таком фоне еще более важно извлечь уроки из негативных последствий оказания помощи на Никобарских островах.

При осуществлении мероприятий по ликвидации последствий стихийных бедствий и восстановлению надо не использовать универсальный подход, а учитывать культурные различия и традиционные знания, обеспечивать активное участие самих пострадавших, восстанавливать устойчивость и снижать уязвимость. Лица, руководящие оказанием помощи, должны пытаться не уничтожить различия, а, наоборот, защищать и поддерживать культурное разнообразие там, где оно еще сохранилось, и способствовать реализации принципов, лежащих в основе обеспечения процветания человечества и планеты.

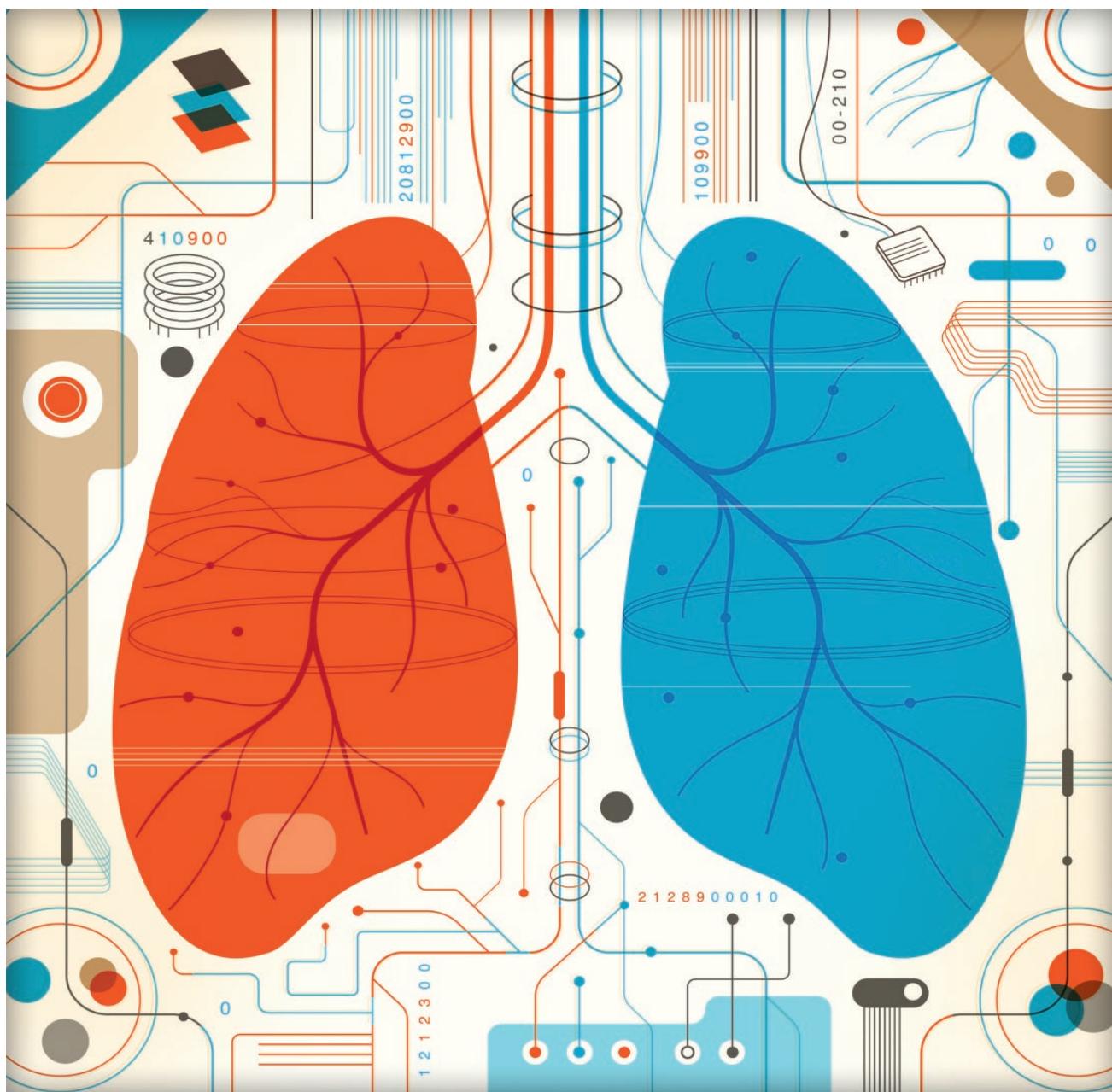
Спустя 15 лет после цунами многие никобарцы сожалеют о том, что поверили обещаниям своих спасителей. Некоторые возвращаются домой. «Здесь у нас нет будущего, — заявил в декабре 2019 г. Портифер, который раньше проживал на Тринкете, а теперь живет на соседнем острове Каморта. — Многие из нас планируют вернуться». Площадь Тринкета до землетрясения и цунами составляла всего лишь 36 км², а после бедствия уменьшилась до 29 км². Для чужака жизнь на расколовшемся острове, где вдоль берега рыщут крокодилы, может показаться полной лишений, но семь никобарских семей уже вернулись, предпочитая опасности океана угрозам современной цивилизации. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Nicobar Islands: Cultural Choices in the Aftermath of the Tsunami. Simron Jit Singh. Czernin Verlag, 2006.
- Disciplining the Other: The Politics of Post-tsunami Humanitarian Government in Southern Nicobar. Ajay Saini in Contributions to Indian Sociology, Vol. 52, No. 3, pages 308–335; October 2018.
- The Sustainability of Humanitarian Aid: The Nicobar Islands as a Case of “Complex Disaster.” Simron Jit Singh et al. in The Asian Tsunami and Post-Disaster Aid. Edited by Sunita Reddy. Springer, Singapore, 2018.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЭЛЕКТРОННОЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЕ



ОПУБЛИКОВАНО ПРИ ПОДДЕРЖКЕ КОМПАНИИ F. HOFFMANN — LA ROCHE LTD

Cover and main illustrations by Harry Campbell

Как ИИ изменит современную медицину?



В медицине и биологии приходится иметь дело с гигантскими объемами информации. Нас захлестывает океан данных: терабайты геномов живых организмов, результатов клинических исследований, данных реальной клинической практики. Всю эту громаду информации ученым удалось обработать с помощью мощных компьютеров и даже получить неплохие результаты. Но очевидно, что намного больше мы смогли бы почерпнуть из этого океана, если бы подключили искусственный ин-

теллект (ИИ). В наступающем десятилетии нейронные сети, использующие технологии глубокого обучения, скорее всего, позволят выявлять скрытые закономерности в гигантских объемах информации, а также разрабатывать методики клинических исследований и терапии. В предлагаемом спецрепортаже исследуются перспективы зарождающейся революции.

Сейчас самые большие надежды возлагаются на разработку новых лекарств (с. 96), и ясно почему. С 2003 по 2013 г. средняя стоимость выпуска на рынок нового препарата почти удвоилась, достигнув \$2,6 млрд. Поскольку девять из десяти кандидатов на роль лекарства отсеиваются в процессе клинических испытаний, приходится признать: большая часть вложений в их создание тратится впустую. Крупные фармацевтические компании стремятся повысить эффективность инвестиций, сотрудничая со стартапами, работающими с ИИ. Алгоритмы машинного обучения способны перебирать миллионы химических соединений, сужая круг поиска отдельных молекул-мишеней. Важное свойство ИИ — его беспристрастность. ИИ-системы не скованы предрассудками в виде господствующих теорий, а потому могут обнаруживать совершенно новые мишени, выявлять тонкие различия (на уровне тканей, клеток, генов или белков) между, скажем, мозгом здорового человека и мозгом пациента с болезнью Паркинсона.

Проницательность ИИ используется также при анализе рентгеновских и томографических снимков (с. 104). Некоторые ИИ-системы научились обнаруживать ранние признаки онкологии, которые могут быть не замечены врачом-рентгенологом. Компьютерные программы визуализации на основе ИИ уже получают одобрение Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США. ИИ-приложения будут использоваться и в других областях. Существующие электронные медицинские карты несовершенны, поскольку могут допускать ошибки при назначении лекарств пациенту. Можем ли мы с помощью ИИ повысить их эффективность, более того — предупреждать о заболеваниях, причем на ранней стадии? Над решением этих вопросов работают некоторые из мировых технологических гигантов (с. 111).

Несмотря на опасения, что компьютеры полностью вытеснят человека, большинство экспертов уверены: искусственный интеллект и человеческий разум будут друг друга дополнять. Нам остро необходимы специалисты, обладающие одновременно знаниями в биомедицинской сфере и навыками программирования (с. 116).

Публикуемый благодаря спонсорской поддержке компании *F. Hoffmann — La Roche Ltd* спецрепортаж был самостоятельно подготовлен редакторами журнала *Scientific American*, которые берут на себя полную ответственность за содержание статей.

Клаудиа Уоллис, ответственный редактор

СОДЕРЖАНИЕ

ИИ помогает создавать новые лекарства 96

Дэвид Фридман

Количество новых лекарств, созданных фармацевтической отраслью, резко снижается. Сможет ли искусственный интеллект исправить ситуацию?

Инфографика: как ускорить процесс создания лекарств? 103

На горизонте роботы-радиологи 104

Сара Реардон

Алгоритмы глубокого обучения, обладая невиданной доселе способностью распознавания образов, теперь используются для анализа МРТ-изображений и рентгеновских снимков. Но кто будет виноват, если такой алгоритм вдруг ошибется?

Смогут ли ИИ облегчить работу с медицинскими картами? 111

Кассандра Уилльямс

Электронные медицинские карты должны были радикально изменить здравоохранение. Искусственный интеллект поможет раскрыть их потенциал

Соединяя умы 116

Амит Каушал и Расс Олтмен

Наличие специалистов, получивших междисциплинарную подготовку, — залог успешного применения ИИ в биомедицинских исследованиях



ИИ помогает создавать НОВЫЕ лекарства

Количество новых лекарств, созданных фармацевтической отраслью, резко снижается. Сможет ли искусственный интеллект исправить ситуацию?

Дэвид Фридман

ЕСТЬ МНОЖЕСТВО ПРИЧИН, по которым перспективные, казалось бы, фармацевтические препараты отсеиваются на стадии разработки. Взять, например, цитохром *P450*, или, как его обычно называют, *CYP450*. Это семейство ферментов, которые вырабатываются главным образом печенью. Они участвуют в расщеплении химических веществ и препятствуют повышению их концентрации в крови до опасного уровня. И вот оказалось, что многие экспериментальные препараты обладают неприятным побочным эффектом: они подавляют выработку *CYP450* и тем самым делают любой препарат токсичным для человеческого организма.

В попытках предсказать, будет ли то или иное синтезируемое лекарство подавлять выработку в организме *CYP450*, фармацевтические компании на протяжении долгого времени использовали традиционные методы — например, проводили химические анализы в колбах и пробирках, изучали взаимодействие *CYP450* с известными лекарственными средствами, имеющими сходство химического строения с синтезируемым лекарством, ставили опыты на мышах. Но третья часть их прогнозов оказывалась ошибочной. Оставалось только одно: выявлять токсичность препаратов, обусловленную подавлением фермента *CYP450*, в ходе клинических испытаний — а на это уходят миллионы долларов и годы напряженной работы. Одним словом, неточность прогноза слишком дорого обходится — вот уж действительно «сущее наказание», как выразился Саурабх Саха (Saurabh Saha), старший вице-президент по научным исследованиям и трансляционной медицине в фармацевтической компании *Bristol-Myers Squibb* (США).

Малая эффективность традиционных методов лабораторного анализа не могла не усугубить кризис в фармацевтике: на протяжении двух десятилетий в мировой фармацевтической отрасли стоимостью \$1 трлн, а точнее — в области разработки лекарственных средств, наблюдаются спад и снижение производительности. Сегодня фармацевтические компании неуклонно увеличивают объемы инвестиций в свои разработки, но при этом выдают на-гора все меньше и меньше эффективных лекарственных препаратов (к слову сказать, в настоящее время десять крупнейших компаний ежегодно инвестируют в создание лекарств около \$80 млрд). Если десять лет назад каждый доллар, вложенный в исследования и разработки, приносил прибыль десять центов, то сегодня прибыль не дотягивает и до двух центов. Отчасти это объясняется тем, что лекарства, которые легче всего было синтезировать и которые эффективно должны излечивать общие расстройства, характерные для широких масс населения, уже созданы;

теперь осталось создать такие препараты, которые способны лечить сложные, комплексные заболевания, мало поддающиеся терапии и характерные лишь для небольших групп населения. Понятно, что подобные препараты больших доходов не принесут.

В наши дни процесс создания новых перспективных лекарств намного усложнился. Как сообщает Центр анализа разработок лекарственных препаратов им. Тафтса, в период с 2003 по 2013 г. средняя стоимость выпуска на рынок нового препарата почти удвоилась, достигнув \$2,6 млрд. В силу этих причин сроки создания нового лекарственного препарата (с момента начала его разработки и до выхода на рынок) увеличились до 12 лет, причем 90% кандидатов на роль лекарства отсеиваются на одном из этапов клинических испытаний.

Вот почему совсем не удивительно, что фармацевтическая отрасль проявляет живой интерес к методикам разработки лекарств с помощью искусственного интеллекта (ИИ). Сущность ИИ-методов состоит не в том, чтобы всего-навсего заложить в компьютер математическую начинку, разработанную экспертами; в основу ИИ-методов положен другой принцип: искусственный интеллект знакомит с типичной задачей (некоторая молекула) и решением (фармакологическое действие этой молекулы в качестве лекарства), а ИИ-софт уже сам должен выработать собственные вычислительные методы для получения тех же самых решений.

В большинстве компьютерных приложений, предназначенных для создания лекарств с помощью искусственного интеллекта, используется машинное обучение и, в частности, один из его видов — глубокое обучение. Большинство программ машинного обучения имеют дело с небольшими массивами структурированных и размеченных данных, тогда как программы глубокого обучения способны работать с сырыми и неструктурированными данными, причем для программ глубокого обучения требуются гораздо большие объемы входящих данных. Таким образом, программа машинного

обучения после ознакомления, скажем, с десятками тысяч размеченных фотографий с изображениями клеток организма способны научиться распознавать элементы структуры клетки. А программа глубокого обучения может самостоятельно выявлять детали структуры клеток на неразмеченных изображениях, но для этого ей нужно будет ознакомиться, скажем, с миллионом изображений, не меньше.

По мнению многих специалистов в области фармацевтики, искусственный интеллект в конечном итоге непременно ускорит процесс создания лекарственных препаратов. Каким образом? Во-первых, он сможет успешнее выявлять вещества — потенциальные кандидаты на роль лекарственного средства, во-вторых, увеличит количество лекарств-кандидатов для дальнейшей их апробации в клинических условиях с целью получения от регулирующих органов лицензии на использование. Словом, фармацевты ожидают, что благодаря искусственному интеллекту произойдет ускорение всего процесса синтеза лекарственных средств от начальной стадии до конечной. Так, например, совсем недавно программу машинного обучения, разработанную компанией *Bristol-Myers Squibb*, «заточили» на выявление во входящих данных таких паттернов, которые бы коррелировали с подавлением выработки *CYP450*. В результате, по утверждению Саурабха Сахи, компьютерный ИИ-софт увеличил точность прогнозов по ферменту *CYP450* до 95%; иными словами, количество неточных прогнозов по сравнению с традиционными методами уменьшилось в шесть раз. Новые методы на основе ИИ позволяют ученым быстро отсеивать потенциально токсичные модификации препаратов и полностью сосредоточить свое внимание на тех, которые с большой вероятностью успешно пройдут клинические испытания и в конечном итоге будут одобрены Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (*FDA*) США. «Искусственный интеллект поможет нам уже на ранних стадиях отсеивать неэффективные препараты, чтобы мы не инвестировали в них понапрасну», — заявляет Випин Гопал (*Vipin Gopal*), директор по данным и методам анализа в фармацевтической компании *Eli Lilly and Company*.

Итак, в настоящее время в фармацевтическом секторе идет процесс накопления, концентрации сил. В 2018 г. стартапы, осуществлявшие синтез лекарственных препаратов с помощью ИИ, сумели привлечь более

\$1 млрд инвестиций, а в сентябре прошлого года они уже планировали выйти на показатель в \$1,5 млрд. И еще один штрих: каждый из фармацевтических гигантов объявил о создании партнерства как минимум с одной ИИ-компанией. Однако на данный момент лишь немногие из лекарственных препаратов, синтезированных при помощи искусственного интеллекта, оказались готовы к клиническим испытаниям; при этом ни одно из лекарств-кандидатов не дошло и до третьей стадии клинической проверки, которая почитается специалистами в качестве своеобразного золотого стандарта. По признанию Саурабха Сахи, должно пройти еще несколько лет, прежде чем он сможет с уверенностью сказать, что компания *Bristol-Myers Squibb* добилась успеха благодаря ИИ, который научился предсказывать ингибирование *CYP450* лекарственными препаратами. Так что, несмотря на огромный интерес к методам создания лекарств с помощью ИИ, на первых порах вряд ли появится значительное количество эффективных лекарственных средств.

Тщательно просеиваем миллионы молекул

Для фармацевтики появление программ на основе искусственного интеллекта — совсем не новость. В этой области время от времени уже появлялись сложные аналитические решения, которые позволяли ускорить процесс синтеза лекарственных препаратов. Более десяти лет назад специалисты стали разрабатывать мощные программы статистического и биофизического моделирования, что дало импульс биоинформатике (данная область использует вычислительные инструменты в биологии для более качественной систематизации и анализа больших массивов данных). И в результате появились компьютерные средства, способные прогнозировать свойства молекул. Но все же этим софтам была свойственна ограниченность, поскольку ученые не совсем понимали принципы взаимодействия молекул (то есть какие именно элементы данных наиболее важны и как они связаны друг с другом), по этой причине никак не удавалось растолковать компьютеру, каким же образом следует отыскивать закономерности. Однако более совершенная компьютерная начинка на основе ИИ способна самостоятельно выявлять значимые элементы и закономерности в массивах данных, а также делать более точные прогнозы для более широкого диапазона переменных.

Компьютерные инструменты на базе искусственного интеллекта позволяют по-разному подходить к синтезированию лекарств. Например, некоторые ИИ-компании делают акцент на разработке лекарственных средств, которые бы могли безопасно и эффективно воздействовать на хорошо известные молекулы-мишени (обычно это какой-то из хорошо изученных белков, играющих ключевую роль в развитии того или иного заболевания). Задача заключается в следующем: необходимо разработать такие соединения, которые были бы способны химически соединиться с белком-мишенью и модифицировать его таким образом, чтобы он уже больше не смог провоцировать заболевание или его симптомы. Программный продукт, созданный канадской компанией *Cyclica*, умеет сопоставлять биофизическую структуру и биохимические свойства миллионов молекул со структурой и свойствами примерно 150 тыс. белков; цель этого сопоставления — найти такие активные соединения, которые бы смогли прикрепляться к белкам-мишеням (или же, наоборот, не вступать с ними в контакт).

Но и это еще не все. Химическое соединение, претендующее на роль перспективного лекарства, должно удовлетворять еще и некоторым другим требованиям: оно должно обладать способностью проникать через кишечник в кровоток и при этом не подвергаться расщеплению в печени, а также не лишиться своих свойств под действием метаболизма; если химическое соединение — кандидат предназначено для лечения какого-то одного органа (скажем, почки), то при этом оно не должно патологически воздействовать на другие органы. Кроме того, кандидат на роль лекарства ни в коем случае не должен вступать во взаимодействие с любым из многих тысяч жизненно важных белков человеческого организма и уж тем более выводить их из строя. И, наконец, соединение-кандидат должно выводиться из организма, не успев достигнуть опасной концентрации. Все указанные требования как раз и учитывает программный ИИ-софт, созданный компанией *Cyclica*. «Как правило, если молекулярное соединение взаимодействует с каким-либо одним белком-мишенью, то обычно оно способно взаимодействовать и с более чем 300 другими белками, — поясняет генеральный директор компании *Cyclica* Нахид Курджи (Naheed Kurji). — Вот почему при синтезе какого-либо одного молекулярного соединения следует учитывать и остальные 299 взаимодействий,

чтобы убедиться в том, что ни одно из них не повлияет летально на человеческий организм».

Все больше специалистов, занятых в области биомедицинских исследований, приходят к пониманию того, что комплексные заболевания вроде рака и болезни Альцгеймера обусловлены сбоями в работе не какого-то одного, а сотен белков, и воздействие лишь на один из них вряд ли остановит страшные болезни. По словам Курджи, компания *Cyclica* пытается синтезировать такие химические соединения, которые бы могли адресно воздействовать на десятки конкретных белков-мишеней, одновременно уклоняясь от взаимодействия с сотнями других белков. В настоящее время, продолжает Курджи, специалисты изучают глобальные базы анонимных генетических данных, содержащих информацию об изменчивости структуры белков, чтобы с помощью ПО выявить тех пациентов, которым лучше всего подойдут те или иные синтезируемые лекарственные препараты. Благодаря указанному подходу, полагает Курджи, срок разработки лекарственных средств сократится в конечном итоге на пять лет (обычно от начальной стадии до клинических испытаний проходит около семи лет).

О создании партнерства с компанией *Cyclica* уже объявили два фармацевтических гиганта — *Merck* и *Bayer*. Их представители особо не распространяются о том, что именно они синтезируют с помощью ИИ-технологий. Впрочем, подобная закрытость характерна и для большинства других совместных фармацевтических партнерств, ведущих разработки лекарств при помощи искусственного интеллекта. И все же *Cyclica* отчасти раскрыла некоторые детали своей работы по выявлению одного из ключевых белков-мишеней, с которым взаимодействуют одобренные *FDA* лекарственные препараты, предназначенные для лечения системной склеродермии (аутоиммунного заболевания кожи и других органов) и вируса Эбола. Кроме того, каждый из препаратов получил одобрение со стороны *FDA* для лечения других заболеваний (ВИЧ и депрессии), а это означает, что в случае дальнейшего успешного продвижения научных исследований оба препарата можно будет со временем быстро перенацелить и на лечение других болезней.

Иногда ученым удается выявить белок-мишень, играющий ключевую роль в возникновении некоторого заболевания, но тут выясняется, что о структуре и свойствах этого

белка известно немного (это касается почти 90% всех белков человеческого организма). Если информации о белке будет недостаточно, то большинство программ машинного и глубокого обучения не смогут его «починить», то есть подобрать такие компоненты, которые бы смогли соединиться с этим белком-мишенью, отвечая одновременно критериям безопасности и эффективности. На решении подобных задач специализируются некоторые ИИ-компании, в том числе *Exscientia*. Последняя при помощи ПО собственной разработки ведет поиск молекулярных соединений, способных воздействовать на белок-мишень. По словам генерального директора *Exscientia* профессора медицинской информатики в Университете Данди (Шотландия) Эндрю Хопкинса (Andrew Hopkins), его компания разработала софт, позволяющий получать значимую информацию о десяти структурных фрагментах белка.

В программу, созданную компанией *Exscientia*, вводят неполные сведения о белке-мишени, и она ищет по базе данных информацию о том, в каких взаимодействиях он участвует (программе предстоит перебрать почти миллиард комбинаций). На этом этапе список возможных молекулярных соединений сужается и появляется дополнительная уточняющая информация. Она может быть получена при анализе образцов биологических тканей, благодаря чему у нас появляется возможность, например, лучше разобраться в механизме действия этого белка в человеческом организме. Затем полученный массив данных снова прогоняют через ИИ-софт, после чего список возможных взаимодействий белка-мишени снова уменьшается, при этом опять появляется уточняющая информация. Данный процесс повторяется до тех пор, пока программа не выдаст компактный список лекарств-кандидатов, которыми предстоит воздействовать на молекулярную мишень.

По мнению Хопкинса, программное обеспечение, разработанное компанией *Exscientia*, способно сократить время, затрачиваемое на создание лекарственных средств, с четырех с половиной лет до одного года; при этом затраты на разработку препаратов должны снизиться на 80%, а количество синтезированных веществ составит одну пятую часть от общего количества, обычно необходимого для производства итогового препарата. В настоящее время в рамках сотрудничества между компанией *Exscientia* и биотехнологическим гигантом *Celgene* ведутся разработки

некоторых перспективных лекарственных компонентов, которые предназначены для трех молекулярных мишеней.

Между тем в результате сотрудничества между *Exscientia* и *GlaxoSmithKline* было синтезировано некое перспективное вещество, предназначенное для терапии хронической обструктивной болезни легких инновационными методами. Но поскольку *Exscientia* появилась на рынке не так давно (а молодость — это характерная черта любой ИИ-компании), созданные ею препараты еще не успели дойти до финальной стадии тестирования, на что обычно уходит от пяти до восьми лет. Однако, по словам Хопкинса, одно из соединений-кандидатов, выявленных компанией *Exscientia*, готово пройти клинические испытания уже в нынешнем году. «В конце концов о нас будут судить по тем лекарствам, которые мы создаем», — резюмирует Хопкинс.

Поиск новых мишеней

Поиск активных соединений, способных воздействовать на ту или иную молекулу-мишень, — не единственная серьезная задача, с которой сталкиваются специалисты при разработке лекарств. Сначала, в первую очередь, необходимо выявить молекулы-мишени как таковые — а это в основном белки, поскольку именно они играют ключевую роль в развитии заболеваний. Чтобы их обнаружить, биофармацевтическая компания *Berg* с помощью искусственного интеллекта использует тщательный анализ данных, полученных из образцов человеческих тканей. По словам генерального директора *Berg* Нивена Нарайна (Niven R. Narain), ИИ поможет избавиться от следующих двух препятствий, которые в большинстве случаев осложняют проведение работ по выявлению мишеней. Во-первых, как известно, в основе большинства лабораторных исследований лежит гипотеза, человеческая догадка, а это порой чревато предвзятым отношением к экспериментальным результатам и слишком ограничивает выбор соединений — кандидатов на роль лекарственного средства. Во-вторых, зачастую бывает так, что между молекулой-мишенью и заболеванием действительно прослеживается некая связь, но она в конечном счете оказывается не ключевой, а это значит, что воздействие на данную мишень с помощью лекарства не будет эффективным.

Специалисты компании *Berg* предлагают учитывать весь массив данных, всю информацию, которую только можно извлечь из образцов тканей пациента и из физиологических жидкостей организма, включая кровь.

Необходимо иметь в виду индивидуальные генетические особенности пациента, а именно протеомные, метаболомные, липидомные и многие другие, — словом, речь идет о необычайно широком диапазоне параметров, которые необходимо принять во внимание при поиске молекул-мишеней. Пробы необходимо брать как у пациентов, страдающих от каких-то определенных видов заболеваний на разных стадиях, так и у здоровых людей. Живые клеточные культуры из взятых проб подвергаются воздействию различных веществ и помещаются в различные типы физической среды (например, с пониженным содержанием кислорода или с высоким уровнем глюкозы). В результате подобных экспериментов ученым удается получить данные о происходящих в клетке изменениях, например о ее способности вырабатывать энергию, о прочности мембраны и т.д.

После этого весь собранный массив данных загружают в программу глубокого обучения и та начинает выискивать всевозможные отличия между нормальным и патологическим состояниями. Программа ищет те белковые молекулы, которые, скорее всего, и играют ключевую роль в развитии заболевания. Именно эти молекулы будут выбраны в качестве кандидатов на роль мишеней. Затем компьютерный софт, разработанный компанией *Berg*, начинает искать соединения, способные терапевтически воздействовать на выбранные молекулы-мишени. Такой софт способен выявлять те варианты, в которых данный белок вызывает то или иное заболевание у некоторой подгруппы пациентов, и, следовательно, программа способна обнаруживать индивидуальные характеристики указанной подгруппы, скажем, специфические гены. Таким образом, закладывается фундамент так называемой точной медицины, суть которой состоит в следующем: перед приемом препарата пациент должен пройти тестирование, которое определит степень эффективности препарата именно для него.

Из всех разработок компании *Berg* наибольшее впечатление производит противораковый препарат *ВРМ31510*. Это, пожалуй, самый яркий пример эффективного использования искусственного интеллекта для синтеза лекарственных средств. Совсем недавно *ВРМ31510* прошел вторую стадию клинических испытаний, его опробовали для лечения прогрессирующей, чрезвычайно агрессивной и с трудом поддающейся терапии формы рака поджелудочной железы. Заметим, что на первой стадии клинических испытаний мы можем определить лишь степень токсичности

препарата при разных дозировках, но зачастую мало что можем сказать о его реальном потенциале. Однако при изучении воздействия *ВРМ31510* на другие виды раковых опухолей первая стадия испытаний показала, что ИИ-софт, разработанный компанией *Berg*, оказался способен дать следующий прогноз: ответ организма на препарат будет наблюдаться почти у 20% пациентов, в то время как у остальных зачастую будут фиксироваться побочные эффекты.

Кроме того, проанализировав образцы тканей, взятых во время клинических исследований, программный софт компании *Berg* смог, к большому изумлению, предсказать, что препарат *ВРМ31510* окажется способен противостоять и более опасным видам онкологических заболеваний, поскольку он воздействует на механизмы, играющие значительную роль в онкогенезе. Если препарат *ВРМ31510* будет официально разрешен к применению, то компания *Berg* скорее всего станет проводить послепродажные исследования с целью анализа воздействия, которое данный препарат оказал на каждого сотого участника клинических испытаний. Все это делается для того, чтобы фармакологи, по словам Нарайна, «и дальше продолжали его модернизировать».

Компания *Berg* в кооперации с фармацевтическим гигантом *AstraZeneca* надеется обнаружить молекулы-мишени, выступающие причиной болезни Паркинсона и прочих неврологических заболеваний, а совместно с *Sanofi Pasteur* она приступит к разработке более эффективных вакцин против гриппа. Кроме того, компания *Berg*, Министерство по делам ветеранов США и Кливлендская клиника участвуют в совместном проекте по выявлению молекул-мишеней, становящихся причиной рака предстательной железы. К настоящему времени уже были созданы программные продукты, способные с помощью специальных тестов отличать рак предстательной железы от аденомы (заметим, что в настоящее время правильно диагностировать каждую из этих двух патологий без хирургического вмешательства зачастую совсем не просто).

Что получилось в сухом остатке?

Фармацевтические гиганты проявляют живейший интерес к проектам создания лекарственных препаратов с помощью искусственного интеллекта. Об этом говорит такой факт: в указанной области уже создано не менее 20 партнерств между гигантами фарминдустрии и компаниями,

разрабатываемыми лекарственными препаратами с помощью ИИ. У известных фармацевтических производителей, таких как *Pfizer*, *GlaxoSmithKline* и *Novartis*, накопился солидный опыт в области использования искусственного интеллекта, и, судя по всему, по проложенной ими дороге уже следуют другие компании.

Руководители научных исследований выражают оптимизм по поводу полученных ранее результатов, однако тут же признают, что использование искусственного интеллекта еще не гарантирует коммерческого успеха. Чтобы в этом убедиться, достаточно заметить, что лишь немногим компаниям, которые использовали ИИ при разработке лекарств, удалось дойти до стадии тестирования препаратов на животных, не говоря уж о клинических испытаниях на человеке. По словам Сары Кенкаре-Митры (*Sara Kenkare-Mitra*), старшего вице-президента по НИОКР в компании *Genentech* (дочерней компании, принадлежащей *Roche*), среди специалистов пока что не могут однозначно ответить на вопрос, сможет ли ИИ ускорить создание лекарственных препаратов или нет. Но даже если сможет, продолжает Кенкаре-Митра, то «мы все равно не в состоянии предугадать, как это будет происходить — постепенно или скачкообразно». Даже если многие препараты, синтезированные с помощью ИИ, успешно пройдут клинические испытания, то и в этом случае у нас все равно не будет четкого ответа на поставленный вопрос, ведь компании-разработчику предстоит еще получить одобрение со стороны *FDA*.

Саурабх Саха из компании *Bristol-Myers Squibb* полагает, что скорость выхода препаратов, полученных с помощью ИИ, на рынок еще в течение какого-то времени останется невысокой. Однако она резко увеличится,

если будут упрощены процесс тестирования препаратов и процедура получения разрешения на их производство. А это произойдет только в том случае, если будет учтена вся мощь систем машинного и глубокого обучения, в частности — их способность более точно прогнозировать безопасность и эффективность лекарственных препаратов, а также умение выделять целевую группу пациентов. «Нам дадут зеленый свет лишь в том случае, если не только мы, но и регулирующие органы оценят мощный потенциал искусственного интеллекта, — говорит Саха. — А если мы продемонстрируем, что наши препараты способны взаимодействовать с молекулярными мишенями без побочных эффектов, то нам, быть может, позволят даже пропустить стадию испытаний на животных и перейти сразу к клинической проверке». Но, по признанию Сахи, вероятнее всего эти изменения — дело отдаленного будущего. По его мнению, было бы ошибкой считать, что искусственный интеллект отодвинет ученого на задний план и вытеснит традиционные методы исследований. Несмотря на то что ИИ помогает человеку, приумножая его силы, он продолжает от человека зависеть, поскольку выдвигать новые идеи в биологии, определять научные направления и приоритеты исследований, получать результаты и обосновывать их, да и просто создавать необходимые данные — все это искусственный интеллект способен делать лишь с помощью человека.

По словам Нивена Нарайна, чрезмерный энтузиазм по поводу создания новых лекарств с помощью ИИ может навредить, подобно тому как несбывшиеся надежды ведут к разочарованию и неприятию нового. «Мы делаем первые шаги, поэтому нужно понимать, что мы имеем дело лишь с инструментами, которые помогают нам решать задачи, но сами при этом не представляют собой решение», — добавляет Нарайн. А генеральный директор компании *Cyclica* Нахид Курджи вообще критично отозвался о тех ИИ-компаниях, которые, по его словам, делают громкие маркетинговые заявления. Например, они утверждают, что использование ИИ приведет к тому, что растянутые на несколько лет сроки исследований вдруг магическим образом сократятся всего лишь до нескольких недель, а миллиардные расходы снизятся буквально до каких-то сотен тысяч долларов. «Это неправда, — настаивает Курджи. — Делать такие заявления — признак безответственности и неконструктивности».

90%

химических веществ, претендующих на роль лекарства, отсеиваются в ходе клинических испытаний, которые проводятся после того, как в разработку лекарства уже были вложены долгосрочные инвестиции. ИИ способен увеличить эффективность этого процесса.

Как ускорить процесс создания лекарств?

В процессе создания лекарственного препарата сначала ищут белок-мишень, выступающий причиной заболевания. Затем ученые синтезируют подходящее химическое вещество, которое бы могло, соединившись с белком-мишенью, заблокировать его и тем самым воспрепятствовать развитию заболевания. Компания Exscientia создала ИИ-софт, который выявляет химические компоненты, способные соединяться с белком-мишенью и подсказывать ученым, с помощью каких тестов можно сократить список химических соединений, чтобы затем перейти к масштабным испытаниям.

5 Данный процесс повторяется до тех пор, пока не будет получен окончательный оптимальный список перспективных химических соединений



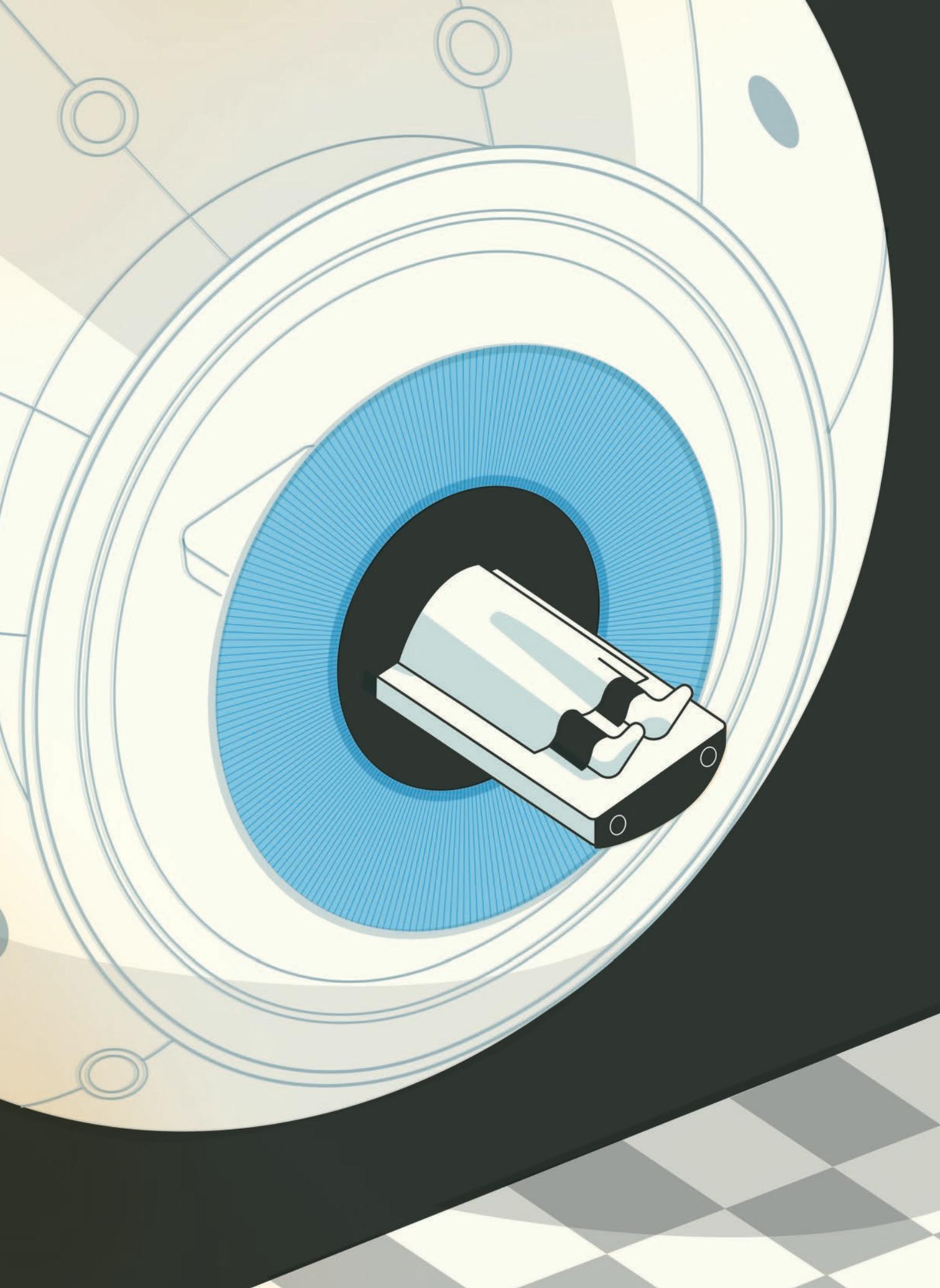
Итак, шума лишь вредит делу. В отличие от нее импульс работам по созданию лекарств с помощью ИИ, по мнению Курджи, могут придать лишь массивы свежей информации, подлежащей компьютерной обработке. «Для нас важны только три вещи: данные, данные и еще раз данные», — поясняет Курджи. С ним соглашается Инек Хуан (EPOCH Huang), вице-президент *Pfizer*, курирующий медицинские исследования. По его словам, даже наличие добротного алгоритма — отнюдь не самый важный фактор.

Итак, компьютерный софт, созданный на основе ИИ, не может обойтись без больших массивов данных. И осознание этой потребности уже начинает трансформировать науку, побуждая ученых добывать все больше и больше экспериментальных данных с целью дальнейшей их обработки искусственным интеллектом. Этот процесс, по словам вице-президента *Genentech* Сары Кенкаре-Митры, уже наблюдается при синтезировании лекарств в иммунотерапии.

«Клинических данных, поступающих из медицинских учреждений, не всегда бывает достаточно для машинного обучения. Но их вполне можно получить в лаборатории, а уже потом заносить в систему искусственного интеллекта», — говорит Кенкаре-Митра.

Описанный нами подход позволяет создавать принципиально новые лекарства. Причем ИИ служит мощным подспорьем для ученых, поскольку подсказывает, в каких областях следует искать молекулы-мишени и каким образом надо синтезировать лекарственные препараты. И чем больше результатов мы получаем в ходе научных исследований, тем больше перед нами с помощью ИИ открывается перспектив. «Мы верим не столько в искусственный интеллект, сколько в сотрудничество между ним и человеком», — резюмирует Кенкаре-Митра. ■

Дэвид Фридман (David H. Freedman) — журналист, более 30 лет пишет статьи о науке, бизнесе и технологиях.



На горизонте роботы-радиологи

Алгоритмы глубокого обучения с невиданной способностью распознавания образов уже используются для анализа МРТ и рентгеновских снимков. Но кто будет виноват, если такой алгоритм вдруг ошибется?

Сара Реардон

КАК-ТО РАЗ, когда Реджайне Барзилэй (Regina Barzilay) было слегка за 40, она решила пройти маммографическое обследование. На снимках молочной железы виднелись несколько пятен белого цвета. Трактовать их можно было двояко: или норма, или злокачественные образования. Зачастую даже лучшие специалисты-радиологи не всегда способны отличить одно от другого. В тот раз консилиум решил, что в ближайшее время о пятнах беспокоиться не стоит. Однако сейчас, по прошествии времени, Реджайна рассказывает: «Врачи не заметили, что у меня к тому моменту уже имелось злокачественное образование».

В течение последующих двух лет Барзилэй провели повторное маммографическое обследование, сделали МРТ молочной железы и биопсию. Результаты оставались неоднозначными и противоречивыми. В 2014 г. ей в конце концов поставили правильный диагноз: рак молочной железы. Однако путь к постановке точного диагноза напоминал хождение по мукам. «Как такое могло случиться, что три теста показали совершенно разные результаты?» — недоумевает Реджайна.

Впоследствии, после курса терапии, Барзилэй удалось излечиться от онкологии. Однако с тех пор Реджайне все еще не по себе от самого факта, что лечение может начаться с запозданием — и все из-за двусмысленного толкования маммограммы. «Я осознала, до какой степени все мы беззащитны перед подобными методами диагностики», — говорит Реджайна. Вот поэтому она и приняла решение, круто изменившее ее карьеру: «Ситуацию с диагностикой нужно радикально изменить».

Реджайна Барзилэй раньше вообще не имела никакого отношения к медицине, она занималась компьютерными науками в Массачусетском технологическом институте. В своей научной работе она использовала методы машинного обучения (это одна из форм искусственного интеллекта) для обработки естественных языков. Но уже в те времена, когда Реджайна искала новое направление, она решила принять участие в разработке алгоритмов машинного обучения вместе со специалистами-радиологами. Последние, полагаясь на достижения визуального компьютерного анализа, занимались задачей распознавания в маммограммах едва уловимых элементов изображения, которые человеку порой выявить не под силу.

В течение последующих четырех лет команда разработчиков пыталась научить компьютерную программу распознаванию маммограмм примерно 32 тыс. женщин разных возрастов и рас, а также вводила в нее информацию о тех женщинах, у которых на протяжении пяти лет после сканирования диагностировался рак. Затем ученые проверяли возможности компьютера распознавать онкологическое заболевание еще у 3,8 тыс. пациентов. В итоге появился программный алгоритм (его опубликовали в мае прошлого года в журнале *Radiology*), который научился диагностировать раковые опухоли еще точнее, чем обычные клинические методы. А когда группа разработчиков под началом Барзилэй решила ввести в эту программу изображения старых маммограмм Реджайны, полученных после 2012 г. (тех самых, на которых врач вроде бы ничего подозрительного не обнаружил), то алгоритм точно определил, что у нее на тот момент имелся более высокий риск появления рака молочной железы в течение последующих пяти лет, чем у 98% пациентов.

Но ИИ-алгоритмы умеют не только распознавать фрагменты изображения, неуловимые для глаза. Они также могут предложить врачу совершенно оригинальные способы интерпретации медицинских снимков, порой настолько нестандартные, что человеку и в голову такое не придет. Многие ученые, а также стартапы и производители томографического оборудования, занятые разработкой ИИ-программ, надеются, что им наконец-то удастся увеличить точность диагностики и ее своевременность, повысить уровень медобслуживания в развивающихся странах и в тех отдаленных регионах планеты, где наблюдается дефицит радиологов. Кроме того, они полагают, что с помощью программ на основе ИИ удастся выявить какие-то новые связи между строением живого организма и заболеваниями, а, быть может, даже и прогнозировать наступление смерти.

В настоящее время в медицинские учреждения все активнее начинают внедрять ИИ-приложения. С одной стороны, новые технологии — это

замечательно, ведь они способны разгрузить врачей, с другой стороны, они вызывают опасения: а вдруг из-за компьютерной программы врачи станут терять работу? Кроме того, появление ИИ-алгоритмов ставит перед нами нестандартные вопросы вроде следующих: как законодательно урегулировать использование компьютеров, которые постоянно учатся и эволюционируют? И кто будет отвечать, если такой компьютер вдруг поставит неправильный диагноз? И все-таки многие врачи воодушевлены теми перспективами, которые открываются перед нами в результате использования ИИ-программ. «Нам нужно их как следует обкатать и получше разобраться в принципах их работы. Именно это даст нам возможность повысить уровень медобслуживания для всех и каждого», — уверяет рентгенолог из Стэнфордского университета Мэттью Лунгрен (Matthew Lungren).

«Очень-очень актуальная тема»

О том, чтобы научить компьютер распознаванию рентгеновских снимков, говорили давно. В 1990-х гг. специалисты-рентгенологи начали использовать программу компьютерной диагностики (CAD) для выявления на маммограммах рака молочной железы. Технологию провозгласили революционной, и медицинские учреждения быстро взяли ее на вооружение. Но оказалось, что в отличие от существовавших на тот момент методов CAD медлительна и сложна в использовании. Кроме того, как показали некоторые исследования, в тех клиниках, где использовалась CAD, было допущено больше ошибок, чем в остальных медучреждениях, которые данную технологию не применяли. По словам Виджая Рао (Vijay Rao), радиолога из Университета Томаса Джефферсона в Филадельфии, подобные ошибки дали повод многим врачам вообще усомниться в методах компьютерной диагностики.

Однако за последнее десятилетие технологии компьютерного зрения стали совершенными. И уже сейчас они применяются, например, в обычных приложениях распознавания лиц и в медицине. Их широкое использование в значительной мере было обусловлено развитием методов глубокого обучения, при которых в компьютер сначала вводят набор изображений, а затем дают ему возможность сформировать свои собственные связи между ними; в конечном итоге компьютер создает свою собственную сеть ассоциаций. При использовании данного подхода в рентгенографии компьютеру можно, например, сообщить, на каких изображениях имеются злокачественные новообразования, а затем предоставить машине возможность самой найти признаки, которые будут общими для данного множества снимков, но будут отсутствовать на тех изображениях, где признаков онкологии нет.

Разработка и внедрение ИИ-технологий в лучевой диагностике идет быстрыми темпами. «В прошлом году, на каком бы из важных мероприятий я ни побывал, главными темами были искусственный интеллект и визуализация. Понятно, что это актуальные темы», — заметил Рао, бывший президент Радиологического общества Северной Америки.

FDA заявило, что не ведет перечень разрешенных к использованию ИИ-продуктов. Но, по мнению Эрика Топола (Eric Topol), специалиста по цифровой медицине из Научно-исследовательского института Скриппса в Ла-Хойе, штат Калифорния, FDA санкционирует более одной программы медицинской визуализации в месяц. Опрос, проведенный в 2018 г. фирмой по исследованию рынка *Reaction Data*, показал, что в США 84% клиник лучевой диагностики либо уже внедрили ИИ-программы, либо собирались это сде-

84%

клиник лучевой диагностики согласно опросу, проведенному в 2018 г. в США, либо уже внедрили ИИ-программы, либо собирались внедрить

лать. В настоящее время наблюдается особенно быстрый рост данной сферы в Китае: здесь насчитывается более 100 компаний — разработчиков ИИ-приложений для нужд здравоохранения.

«Сейчас на этом рынке наступили удивительные времена», — утверждает Элад Валах (Elad Walach), генеральный директор стартапа *Aidoc* в Тель-Авиве. Его компания разрабатывает приложения для распознавания и выявления аномалий на срезах компьютерной томографии, а затем последующего помещения этих пациентов в начало очереди на прием к врачу. Кроме того, компания *Aidoc* учитывает частоту использования врачами ИИ-программы и времени, необходимого для подтверждения диагноза. «Поначалу медики смотрят на нее с недоверием, но месяца через два привыкают и начинают доверять», — утверждает Валах.

В медицине время драгоценно. Своевременно оказать помощь — значит спасти чью-то жизнь. Как было установлено в одном из недавних исследований рентгенографии грудной клетки при пневмотораксе, рентгенологи выбирают в приоритетном порядке из общей массы, как правило, более 60% всех снимков. А это значит, что они вынуждены часами перебирать весь массив рентгеновских снимков один за другим, включая

и снимки с отсутствием признаков патологии, прежде чем доберутся наконец до неотложных случаев. «Пожалуй, каждый врач, с которым мне доводилось общаться, может поведать печальную историю о каком-нибудь летальном исходе из-за коллапса легкого», — обмолвилась Карли Йодер (Karley Yoder), вице-президент и главный менеджер по искусственному интеллекту в бостонской компании *GE Healthcare*, одном из ведущих производителей медицинского оборудования для визуализации. В сентябре прошлого года *FDA* одобрило инструментарий на базе ИИ, который теперь будут интегрировать в сканеры *GE*. Новое оборудование позволит автоматически выделять из общей массы снимков самые неотложные случаи.

Поскольку компьютер способен обрабатывать огромные массивы данных, ему вполне по силам решать задачи, с которыми человек справиться не может. Корпорация *Google*, например, использует свои вычислительные ресурсы для разработки ИИ-программ, позволяющих преобразовывать двумерные изображения легких, полученные на томографе, в трехмерные и проводить диагностику легких с целью обнаружения раковых опухолей. В отличие от компьютера врачу приходится поочередно рассматривать каждый снимок, а потом мысленно проводить это преобразование из двумерного в трехмерное. *Google* разработал еще один программный продукт. Ему под силу такое, что врачу вообще недоступно: программа умеет определять риск сердечно-сосудистого заболевания у пациента на основании изображений сетчатки глаза. Алгоритм способен выявлять еле заметные изменения, учитывая при этом такие параметры, как кровяное давление, уровень холестерина, страсти к табакокурению и возрастные изменения. «Помимо известной нам информации, всегда имеется еще и неизвестная», — говорит менеджер по продуктам *Google* Дэниэл Це (Daniel Tse).

Проблема «черного ящика»

ИИ-программы способны выявлять совершенно неожиданные связи между биологическими особенностями и результатами лечения пациента. В статье, опубликованной в 2019 г. в журнале *JAMA Network Open*, описан алгоритм глубокого обучения, который тренировали на множестве из более чем 85 тыс. рентгеновских снимков грудной клетки пациентов-добровольцев. Эти люди участвовали в двух крупных клинических испытаниях, в ходе которых мониторинг состояния их здоровья осуществлялся на протяжении более 12 лет. Описанный алгоритм учитывал риск смерти каждого пациента в указанный период. Ученые обнаружили, что 53% пациентов, которых ИИ-программа отнесла к категории высокого риска, умерли в течение последующих 12 лет, а из тех, кто был отнесен к категории невысокого риска, скончались лишь

«Искусственный интеллект не заменит радиолога. Врачи, применяющие ИИ, придут на смену тем, кто его не использует»

*Кертис Лэнглоц,
Стэнфордский университет*

4% пациентов. При этом в программу не вводилась информация о летальных исходах или об их причине. По мнению ведущего исследователя и специалиста в области лучевой диагностики Майкла Лу (Michael Lu) из Массачусетской больницы общего профиля, ИИ-программа способна оказать помощь при оценке состояния здоровья пациента, если ее использовать в сочетании с врачебным осмотром и такой информацией, как генетические особенности организма и т.д.

Чтобы разобраться в том, как работает упомянутый ИИ-алгоритм, ученые решили выявить те области изображений, которые он использовал для обработки. Выбор некоторых из них (таких как, например, окружность талии и структура женской груди) вполне понятен, поскольку эти области связаны с известными факторами риска, обуславливающими развитие определенных заболеваний. Но вот что интересно: программный алгоритм заглянул, например, в область под лопатками, которая с медицинской точки зрения вроде бы не столь важна. Майкл Лу предполагает, что гибкость тела — возможно, один из факторов, влияющих на продолжительность жизни. И действительно: во время рентгенографического исследования грудной клетки пациент должен обхватить рентгеновский аппарат руками, причем при наличии какой-либо патологии он, скорее всего, осуществит такой обхват как-то иначе и потому несколько другому расположит свои плечи. «Вряд ли бы этот вывод пришел мне на ум», — утверждает Майкл Лу.

Люди не понимают, как мыслит компьютер. Мы называем это проблемой «черного ящика». Смысл ее в том, что компьютерный мозг работает в замкнутом пространстве, в режиме, недоступном для человеческого понимания. Может ли это как-то осложнить процесс медицинской визуализации? Эксперты расходятся во мнениях. Возможно, если ИИ-программа улучшает качество работы врачей и помогает лечить больных, то врачу незачем знать, как именно она работает. В конце концов,

медики до сих пор не до конца постигли механизм действия многих веществ, например лития, который начиная с 1950-х гг. используется для лечения депрессии. «А может нам не надо так сильно закликиваться на этом вопросе? Ведь даже действия врачей тоже чем-то напоминают "черный ящик". Чего же вы хотите от компьютера?» — задается вопросом Топол.

И все же нельзя отрицать, что проблема «черного ящика» усиливает недопонимание между человеком и ИИ. Например, исследователей из Медицинской школы им. Айкана при Медицинском центре «Маунт-Синай» сильно озадачили отклонения в работе алгоритма глубокого обучения, который они разработали для диагностики пневмонии при рентгенологическом исследовании легких. Для рентгеновских снимков, сделанных в Медицинской школе Айкана, точность распознавания превышала 90%, а вот при распознавании снимков из других медучреждений точность алгоритма подкачала. В итоге ученые выяснили, что при принятии решения программа, вместо того чтобы анализировать снимки, руководствовалась вероятностью появления пневмонии в данном медицинском учреждении, то есть делала совсем не то, что от нее ожидали.

Подобные отклонения в работе ИИ-приложений насторожили Сэмюэла Финлейсона (Samuel Finlayson), изучающего работу биомедицинских программ машинного обучения в Гарвардской медицинской школе. По его мнению, массивы данных, на которых происходит обучение ИИ-программ, могут иметь — причем совершенно неожиданным образом — систематическую ошибку, чего разработчики учесть не в состоянии. Скажем, на снимках, сделанных в отделении неотложной медицинской помощи или в ночное время, вероятность обнаружения патологии выше, чем на изображениях, полученных в ходе обычного медосмотра. Или другой пример: при распознавании швов или различных имплантированных медицинских устройств на теле пациента (что говорит о наличии у него проблем со здоровьем в прошлом) алгоритм вдруг может решить, что, мол, человек без швов на коже и имплантов здоров. И даже метод, которым медицинские учреждения размечают снимки, способен запутать ИИ-алгоритм: в разных медучреждениях он способен работать по-разному, что происходит из-за различий в системе разметки. «Если вы просто обучаете алгоритм с помощью снимков из больницы, расположенной в каком-то одном месте в данный момент времени и применительно к одной конкретной группе населения, то для вас остаются неизвестными тысячи других мелких факторов, которые данная модель будет учитывать сама. И если хотя бы один из этих факторов изменится, то проблем не оберешься», — предупреждает Финлейсон.

Финлейсон предлагает следующий выход: алгоритм нужно обучить на массиве данных, полученных из разных мест и относящихся к разным группам населения, а затем его проверить (не модифицируя) на какой-нибудь новой группе пациентов. Но не все программы тестируются таким способом. В обзорной статье Эрика Топола, опубликованной недавно в журнале *Nature Medicine*, сказано следующее: среди нескольких десятков исследований, в которых говорилось о превосходстве ИИ-программ над человеком-радиологом, всего лишь в нескольких ИИ-алгоритмы тестировались на разных группах населения (то есть разработчики брали не только ту группу, на основе которой алгоритм создавался, но и другие группы). «ИИ-программа — это очень тонкая штука. Если вдруг придется ее использовать за пределами обучающего множества изображений, то она способна дать сбой», — поясняет Синтия Рудин (Cynthia Rudin), специалист по информатике из Дюкского университета.

Чем яснее ученые осознают эту проблему, тем больше появится перспективных исследований в области ИИ-алгоритмов. Так, совсем недавно группа ученых под руководством Реджайны Барзилэй опробовала маммографическую ИИ-программу на массиве данных объемом 10 тыс. снимков, предоставленных шведским Каролинским институтом. И, как оказалось, программа продемонстрировала столь же хорошие результаты, как и в Массачусетсе. В настоящее время группа Барзилэй тестирует свою программу в больницах Тайваня и Детройта на более разнотипных группах пациентов. Между прочим, ученые выяснили, продолжает Реджайна, что современные правила диагностирования риска возникновения рака молочной железы гораздо менее точны по отношению к афроамериканским женщинам, поскольку эти правила были в свое время разработаны главным образом на основе маммограмм белых американок. «Я думаю, что нам вполне по силам изменить столь печальную ситуацию», — считает Барзилэй.

Пробелы в законодательстве

Но даже если, по мнению медиков, ИИ-программа заработает корректно, проблема «черного ящика» по-прежнему создаст ряд трудностей — на этот раз с юридической точки зрения. И действительно, если искусственный интеллект поставит неправильный диагноз, то кто за это будет отвечать — врач или программа? «Сфера здравоохранения подчас тоже дает сбой, но вам необязательно знать их причину», — считает Николсон Прайс (Nicholson Price), эксперт по медицинскому праву из Мичиганского университета. Если система ИИ вынудит врача поставить неверный диагноз, то вряд ли она вам расскажет, какими именно доводами она руководствовалась. Более того, информацию о методологии

теста компания-производитель, будет, скорее всего, строго охранять, ведь это коммерческая тайна.

Поскольку медицинские ИИ-системы появились совсем недавно, они еще не стали предметом судебных разбирательств о врачебной ошибке, и поэтому неясно, как в этом случае суды станут трактовать понятие «ответственность». Непонятно также, какого вида «прозрачность» нам потребуется.

Разработчики алгоритмов будто нарочно стремятся создать из них «черный ящик». Такая тенденция расстраивает Синтию Рудин. И проблема здесь заключается в том, что большинство медицинских ИИ-алгоритмов создаются не с нуля, а путем адаптации программ глубокого обучения, предназначенных для других типов анализа изображений. «В принципе, ничто не мешает создать робота, который бы смог сам объяснять свои действия», — уверяет Синтия. Но создать прозрачный алгоритм с нуля неизмеримо сложнее — проще перепрофилировать уже имеющийся алгоритм (а он представляет собой «черный ящик») для анализа медицинских данных. Вот почему, по мнению Рудин, большинство врачей сначала запускают алгоритм, а затем пытаются понять, как он делает выводы.

Синтия Рудин разрабатывает прозрачные алгоритмы искусственного интеллекта, которые анализируют маммограммы с целью обнаружения опухоли и непрерывно информируют врача о том, что они делают. Но работа Рудин застопорилась из-за отсутствия подходящих маммограмм, предназначенных для обучения алгоритма. Синтия утверждает, что те данные, которые находятся в открытом доступе, как правило, плохо размечены или же получены на устаревшем оборудовании, которое сейчас уже не используется, а без достаточно больших массивов разнообразных данных ИИ-программы работают, как правило, с искажениями.

Регулирующим органам не так-то просто законодательно решить проблему «черных ящиков» и каким-то образом регламентировать процесс обучения ИИ-алгоритмов. Возьмем, например, лекарственное средство: его фармакологическое действие не зависит от времени — и в настоящем и в будущем оно действует одинаково. В отличие от лекарств ИИ-программа со временем неуклонно совершенствуется, повышая качество своей работы по мере расширения массива обрабатываемых клинических данных. Поскольку ИИ-алгоритм учитывает огромные массивы параметров, то любое безобидное на первый взгляд изменение одного из них (например, перевод больницы на использование новой информационной системы) способно внезапно вывести ИИ-программу из строя. «Компьютер может подцепить вредоносное ПО и заболеть, подобно человеку», — говорит Топол. — «Если на кону стоит человеческая жизнь, то полагаться целиком на компьютерный алгоритм нельзя».

«Если на кону — человеческая жизнь, то полагаться целиком на компьютерный алгоритм нельзя»

**Эрик Топол,
НИИ Скриппса**

В апреле прошлого года *FDA* предложило ряд мер по правовому регулированию использования ИИ-алгоритмов, эволюционирующих с течением времени. Вот лишь одна из них: разработчик обязан следить за тем, как со временем изменяется созданный им алгоритм, и тем самым гарантировать, что качество работы этого интеллектуального продукта не изменилось. Если же разработчик вдруг заметит какие-либо неожиданные изменения, которые способны повлиять на качество анализа алгоритма, то ему следует уведомить об этом *FDA*. Кроме того, управление также разрабатывает стандарты «наилучшей производственной практики» (*best manufacturing practices*) и у него есть право требовать от компаний-производителей, чтобы они делились информацией о возможном изменении характера работы программы и сообщали о том, как ее надлежит после этого эксплуатировать. «Нельзя все подгонять под один уровень», — резюмирует Бакул Патель (*Bakul Patel*), директор департамента цифровых технологий в здравоохранении *FDA*.

Вытеснят ли компьютеры врачей?

Специалисты-радиологи, не волнуйтесь: компьютеры не украдут у вас рабочие места, ведь искусственный интеллект несовершенен. В 2012 г. венчурный инвестор в области высоких технологий и соучредитель *Sun Microsystems* Винод Хосла (*Vinod Khosla*) переполошил медицинское сообщество, заявив, что компьютеры заменят 80% врачей. А совсем недавно Хосла напорочил, что через десяток лет нынешние рентгенологи якобы станут «убивать пациентов». По словам рентгенолога Виджая Рао, такие высказывания могут вызвать лишь оторопь и неприятие в сообществе радиологов. «Мне кажется, что подобные громкие заявления порождают настороженность», — добавляет Рао.

Но вызванный переполох подкрепляется реальной статистикой. Так, в 2015 г. в США было заполнено только 86% позиций врачей-рентгенологов по сравнению с 94% в предыдущем году (правда,

за последние несколько лет положение выправилось). По данным опроса 322 канадских студентов-медиков, проведенного в 2018 г., 68% считают, что ИИ понизит спрос на радиологов.

Тем не менее большинство экспертов и разработчиков ИИ-продуктов сомневаются, что в ближайшее время ИИ заменит врачей. «Разработки и решения на основе ИИ хороши для выполнения какой-то одной задачи», — поясняет Элад Валах. Но поскольку человеческий организм крайне сложен, продолжает Валах, «без человека не обойтись, ведь только он способен выполнять несколько задач одновременно». Другими словами, способность ИИ-программ диагностировать заболевание, помноженная на знания и опыт врача и его умение учитывать анамнез пациента, — все это увеличивает точность диагноза.

Таким образом, ИИ возьмет на себя выполнение какой-то одной задачи и тем самым избавит радиолога от монотонной работы, позволив ему больше времени уделять общению с пациентами. «И они расскажут ему все в подробностях, до последней мелочи», — утверждает Топол. — В медицине необходимо постоянно углублять взаимодействие и связи между людьми».

В то же время Рао и его коллеги полагают, что в результате применения ИИ-программ инструментов и методы обучения радиологов, а также их повседневная работа в ближайшие годы серьезно изменятся. «Искусственный интеллект не заменит радиолога. Врачи, применяющие ИИ, придут на смену тем, кто его не использует», — утверждает Кертис Лэнглотц (Curtis Langlotz), специалист по лучевой медицине из Стэнфорда.

Однако уже есть некоторые исключения. В 2018 г. FDA одобрило первую ИИ-программу, способную без помощи врача ставить диагноз по изображению. Программный продукт, разработанный компанией *IDx Technology* из Коралвилла, штат Айова, умеет по изображению сетчатки глаза выявлять диабетическую ретинопатию; представители компании заявляют, что точность диагноза составляет 87%. Вот что заявляет генеральный директор *IDx* Майкл Абрамофф (Michael Abramoff): поскольку врач вообще не участвует в постановке диагноза, компания-разработчик берет на себя всю юридическую ответственность за любые медицинские ошибки созданного ею программного продукта.

В краткосрочной перспективе ИИ-программы будут скорее помогать медикам, а не заменять их. Например, в развивающихся странах врачам порой недоступно то медицинское оборудование, которое имеется в ведущих медицинских центрах США и Европы; кроме того, вряд ли вы там найдете хорошо подготовленных специалистов в области лучевой диагностики, умеющих ставить точный диагноз по результатам снимков. Как утверждает радиолог Мэттью Лунгрэн, по мере того как

медицина становится все более узкопрофильной и все шире внедряет методы анализа изображений, разрыв между стандартами медицинской помощи в богатых и бедных регионах мира увеличивается. Внедрение ИИ-программ как раз и призвано сократить этот разрыв, и теперь снимок можно сделать с помощью мобильного телефона.

Группа разработчиков под руководством Лунгрэна создает программный продукт, позволяющий врачу делать рентгеновские снимки прямо на мобильный телефон (это приспособление позволяет обойтись без цифровых снимков, обычно используемых в медицинской практике богатых стран), а затем запустить программу, которая способна выявлять различные заболевания, например туберкулез. «Все равно программа не заменит человека», — уверяет Лунгрэн (во многих развивающихся странах радиологов нет вообще). — Поэтому мы увеличиваем количество врачей других специальностей, а не только в области лучевой диагностики, и стараемся как можно лучше их подготовить».

Кроме того, по словам Виджая Рао, в ближайшей перспективе с помощью ИИ можно будет (на основе анализа медицинских карт) определять, нужно ли пациенту в срочном порядке делать снимки или нет. Многие специалисты в области экономики здравоохранения полагают, что методы визуализации используются слишком часто; только в США компьютерные томографы ежегодно производят более 80 млн снимков. Такое изобилие визуального контента оказывает большую помощь разработчикам приложений, помогая им обучать алгоритмы. Но, с другой стороны, сканирование обходится слишком дорого; к тому же пациенты вынуждены получать лишнюю дозу облучения. Как уверяет Лэнглотц, придет время, и программы со встроенным ИИ будут распознавать изображения в тот самый момент, когда пациент еще находится в рентгеновской установке, и сразу же ставить точный диагноз, тем самым уменьшая количество времени и лучевую экспозицию, необходимую для получения хорошего снимка.

В конечном итоге, по мнению Реджайны Барзилэй, искусственному интеллекту отведена роль бдительного и компетентного помощника; он позволит диагностировать заболевания, которые врач самостоятельно обнаружить не способен. «Вот если бы нам удалось создать такую эффективную модель взаимодействия между человеком и ИИ, тогда бы мы смогли точно ставить диагнозы», — заключает Барзилэй. Однако, увы, такая цель по большому счету еще не достигнута. И об этом Реджайна знает не понаслышке. ■

Сара Реардон (Sara Reardon) — независимый журналист из Бозмена, штат Монтана; работала штатным журналистом в *Nature*, *New Scientist* и *Science*; магистр в области молекулярной биологии.

ПРЕДСТАВЬТЕ СЕБЕ СИТУАЦИЮ: некий молодой человек, назовем его Роджер, появился в отделении неотложной медпомощи с жалобами на боль в животе и тошноту. Врачебный осмотр показал, что боль локализована в нижней правой части брюшного отдела. Доктор забеспокоился: вдруг у парня аппендицит? Но вот пришли снимки. Однако к этому моменту Роджеру стало лучше. Да и снимки показали, что его аппендикс в норме. Прежде чем отпустить пациента, врач, консультируясь с компьютером, прописывает Роджеру два лекарства: одно от тошноты, другое (а это был тайленол) от боли.

Мы описали всего лишь одну из нескольких гипотетических ситуаций, с которыми были ознакомлены 55 врачей в разных регионах США в рамках исследования, в задачи которого входит изучение вопроса об использовании электронных медицинских карт (ЭМК). Чтобы прописать лекарство, врач сначала должен найти его в системе ЭМК. В одной из больниц поиск по слову «тайленол» выдает список из более чем 80 возможных вариантов. Роджеру 26 лет, но в списке говорится следующее: тайленол предназначен лишь для детей, включая младенцев; он также показан к применению при дисменорее. Чтобы сузить поиск, врач задает уточняющие параметры: он вводит в окно поиска необходимую дозу (500 мг), однако система больше не предлагает никаких вариантов. И врачу приходится снова возвращаться в основной список, из которого он, наконец, выбирает 68-й вариант — *Tylenol Extra Strength* (500 мг; это наиболее распространенная доза препарата). Вроде бы простые действия, но на их выполнение уходят драгоценные минуты. К тому же от врача требуется много дополнительных усилий. Мы привели всего лишь один пример, когда врачу при работе с ЭМК приходилось совершать множество утомительных манипуляций.

ЭМК — цифровой аналог бумажной медкарты, куда врач вносит информацию об амбулаторном приеме, результатах лабораторных анализов и другие важные медицинские показатели. Предполагалось, что ЭМК радикально изменят врачебную практику. В 2009 г. был принят Закон США о применении медицинских информационных технологий в экономической деятельности и клинической практике (сокращенно *HITECH*; от англ. *Health Information Technology for Economic and Clinical Health*). Этот закон предусматривал выделение \$36 млрд для перехода больниц и клиник от бумажных карт к электронным. Занимавший в то время пост президента Барак Обама заявил, что использование новых видов медкарт «сократит излишние затраты времени, избавит от волокиты и необходимости дублировать дорогостоящие медицинские анализы». По мнению Обамы, ЭМК «спасут жизни людей, сократят количество серьезных, но предотвратимых врачебных ошибок, которые столь часто встречаются в нашей системе здравоохранения».

К тому моменту, когда закон *HITECH* был принят, электронными медкартами пользовались 48%

врачей, а к 2017 г. этот показатель возрос до 85%. Однако потенциал ЭМК еще полностью не реализован. Медики подчас жалуются на неуклюжие пользовательские интерфейсы, а также на неудобства при вводе данных, что отнимает массу времени. Опросы показывают, что врач зачастую тратит больше времени на обработку медицинской карты, чем на самого пациента. В результате у врача возникает профессиональная усталость. Даже президент Обама заметил, что процесс перехода на новые медкарты пошел как-то не так. «Все оказалось сложнее, чем мы думали», — заявил он новостному portalу *Vox* в 2017 г.

Тем не менее, по словам врачей и специалистов в области обработки и анализа данных, у ЭМК большое будущее: они облегчают поиск нужной информации о пациенте, да и вообще повышают эффективность работы медиков. Искусственный интеллект (а точнее, машинное обучение) позволяет компьютеру выявлять те или иные закономерности в массивах данных и самостоятельно делать выводы. ИИ поможет наконец избавиться от неудобств, связанных с использованием ЭМК, и раскрыть их потенциал, дабы проводить более точную диагностику пациентов и повысить качество медицинской помощи.

Цифровые неполадки

В 2016 г. Американская медицинская ассоциация (*AMA*) совместно с *MedStar Health* (это медицинская организация, включающая десять больниц в конгломерате городов Балтимор и Вашингтон) решила проанализировать работу двух крупнейших систем ЭМК, разработанных компаниями *Cerner* из Канзас-Сити, штат Миссури, и *Epic* из Вероны, штат Висконсин; попутно заметим, что *Cerner* и *Epic* охватывают 54% рынка медицинских информационных технологий, поставляемых для стационаров неотложной медицинской помощи. Итак, команда специалистов *AMA* и *MedStar Health* выбрала из четырех разных больниц врачей скорой помощи и, ознакомив их с анамнезом гипотетических пациентов, предоставила медикам на выбор шесть ситуаций, включая описанную в начале статьи (про того самого Роджера, у которого поначалу заподозрили приступ аппендицита). В каждом из шести вариантов врачам было предложено выполнить то, что им обычно приходится делать на приеме, — скажем, выписывать

лекарства, назначать анализы. Команде специалистов из *AMA* и *MedStar Health*, проводившей это исследование, удалось измерить следующие параметры: время, которое уходит у врача на выполнение каждой задачи, общее количество кликов и точность действий медика.

Выводы не обрадовали. Так, например, выяснилось следующее: время и количество кликов значительно варьировали не только от сайта к сайту, но даже между сайтами, использующими одну и ту же систему. А выполнение некоторых задач (например, вычисление убывающей дозировки стероида при выписке лекарства) оказалось для всех участников эксперимента чрезвычайно сложным делом. Врачам приходилось рассчитывать убывающую дозировку препаратов вручную — эта операция занимала от двух до трех минут, причем приходилось делать от 20 до 42 кликов. Заметим к тому же, что врач мог допускать и ошибки, причем вовсе не безобидные; скажем, частыми были ошибки при назначении дозировки. Так, например, на одном из сайтов уровень ошибок даже составил 50%. «Мы увидели, что здоровью некоторых гипотетических пациентов был нанесен вред. Зафиксировали даже летальные исходы. И причиной этого были ошибки и недочеты, которые возникали из-за неудобств при использовании системы ЭМК», — говорит Радж Ратвани (*Raj Ratwani*), директор Национального центра человеческих факторов, одного из подразделений компании *MedStar Health*.

Но неудобные интерфейсы — еще полбеды. Другая проблема, связанная с использованием ЭМК, — это затруднения при передаче информации между провайдером. Как говорилось в докладе Национальной академии медицины за 2018 г., системе электронных медкарт недостает «способности беспрепятственно и автоматически передавать данные, в любое время и в любом месте, через надежную сеть, которой бы не угрожала блокировка по политическим, техническим или финансовым причинам». А что произойдет в том случае, если пациент вдруг перейдет к другому врачу, или же ему будут оказывать неотложную помощь, или же он вообще переедет из одного населенного пункта в другой? В этом случае существует вероятность того, что данные из ЭМК этого пациента вообще не перешлют на новое место. «Синхронность передачи медицинских данных — это наша цель, отсутствие синхронности — реальность», — заключают авторы доклада.

В марте 2018 г. компания *Harris Poll* провела от имени Медицинской школы Стэнфордского университета онлайн-опрос, в котором изучался вопрос об отношении врачей к электронным медкартам. Результаты заставили нас сильно призадуматься. Врачи-респонденты сообщили, что тратят в среднем около полчаса на каждого пациента,

причем более 60% этого времени уходит на обработку ЭМК пациента. Половина опрошенных медиков (а точнее, тех, кто занимается оказанием первичной медпомощи в приемном покое) считают, что использование ЭМК фактически снижает эффективность действий врача. Завкафедрой биомедицинской информатики Гарвардской медицинской школы, специалист в области информатики Айзек Кохэйн (*Isaac Kohane*) выразился еще откровеннее: «Электронные медкарты — это отстой».

И все же, несмотря на значительные недостатки существующих систем электронных медицинских карт, большинство врачей сходятся во мнении, что ЭМК намного превосходят бумажные карты. Они оцифрованы, а это означает, что теперь их можно анализировать с помощью ИИ. «У систем искусственного интеллекта и машинного обучения имеется огромный потенциал, позволяющий разрабатывать прогнозные модели и получать более четкое представление о клинических результатах, — настаивает Ратвани. — Я думаю, что за ними будущее».

И отчасти это уже происходит. Так, в 2015 г. компания *Eric* стала предлагать своим клиентам модели машинного обучения. Они создавались путем обучения алгоритма на реальных примерах с заранее известными результатами. Например, нам нужно определить, у кого из пациентов имеется наибольший риск сепсиса (инфекционного поражения крови, которое может привести к летальному исходу). Для решения этой задачи программный алгоритм собирает данные (скажем, показатели артериального давления, пульса, температуры), которые накапливаются в отделениях интенсивной терапии. Чем качественнее данные, тем лучше будет работать модель машинного обучения.

И теперь компания *Eric* готова продавать клиентам целую библиотеку таких моделей. «На сегодня более 300 организаций либо уже используют программы из этой библиотеки, либо их внедряют», — утверждает Сет Хейн (*Seth Hain*), директор компании по аналитике и машинному обучению. Одним из самых популярных стал софт, позволяющий прогнозировать наступление сепсиса. Программа каждые 15 минут тщательно анализирует информацию о пациенте и отслеживает более 80 показателей. В 2017 г. эта модель была внедрена Медицинским центром Норт-Оукс в Хаммонде, штат Луизиана. Программа работает так: если показатели, отражающие состояние здоровья пациента, достигают некоторого порогового значения, врач сразу же получает об этом сигнал-предупреждение, который заставляет его пристальнее наблюдать за здоровьем пациента, а в случае необходимости — дать ему антибиотики. После того, как Медицинский центр Норт-Оукс внедрил это ПО, уровень смертности от сепсиса снизился на 18%.

Однако на самом деле создать и запустить такую модель оказалось не так-то просто. Большинство программ обрабатывают исключительно структурированные данные, имеющиеся в ЭМК, то есть те данные, которые агрегированы и представлены в стандартном формате. Они могут включать такие показатели, как величина артериального давления, результаты анализов, диагнозы, наличие или отсутствие аллергической реакции на лекарства. Но в ЭМК также имеется и широкий спектр неструктурированных данных — например, пометки лечащего врача, сделанные во время амбулаторного приема, какие-нибудь электронные письма, рентгеновские снимки. «И это тоже значимая информация, но компьютеру трудно ее извлечь», — поясняет ученый из Гарвардского университета Финале Доши-Велес (Finale Doshi-Velez), которая специализируется на компьютерных науках. Однако эти неструктурированные данные игнорировать никак нельзя, ведь именно в них подчас содержится важная информация, скажем, об изменении состояния здоровья пациента. «На самом деле мы не можем создать программу, которая бы до них добралась», — говорит Доши-Велес. Более того, по мнению Раджа Ратвани, из-за неудобств, связанных с их обработкой, эти данные могут быть случайно занесены совсем не туда, куда следует — не в те регистры, например: запись об аллергии пациента на клубнику может в конечном итоге появиться в поле для клинических комментариев, а не в специальном поле, где проставляются пометки о наличии либо отсутствии аллергии. И тогда получится, что если программа будет искать информацию об аллергии лишь в том разделе медкарты, где сообщается об аллергиях, то она, как сформулировал Ратвани, будет «выстроена на неточных данных». «И это, наверное, одна из самых больших проблем, с которыми мы сейчас сталкиваемся», — заключил Ратвани.

С ним согласен и Лео Энтони Чели (Leo Anthony Celis), специалист в области интенсивной терапии и руководитель клинических исследований в Лаборатории вычислительной физиологии Массачусетского технологического института. Алгоритм не способен учесть большую часть данных, содержащихся в электронных медицинских картах. Поэтому сначала необходимо очень сильно потрудиться, чтобы подготовить для него почву. Допустим, например, что вы хотите разработать программу, которая бы могла предотвращать падение уровня глюкозы в крови пациентов, помещенных в отделение интенсивной терапии (с этой проблемой медики сталкиваются часто). Задача вроде бы простая, замечает Чели. Но оказывается, что уровень сахара в крови можно измерять по-разному: кровь можно брать либо из пальца, либо из вены. И, кстати, инсулин тоже можно вводить разными способами. После того как Чели с коллегами

проанализировали все данные по инсулину и сахару в крови у пациентов одной из больниц, вдруг обнаружилось, что «существуют буквально тысячи разных способов занесения этих данных в ЭМК». И вот при разработке алгоритма все это море информации приходилось сортировать и кластеризовать вручную. «Информация, заключенная в медицинских картах, подобна сырой нефти, — резюмирует Чели. — Если ее не очистить, то пользоваться ею бесполезно».

ИИ устраняет неполадки

Нам хотелось бы научиться извлекать разного рода полезную информацию из ЭМК, но этому пока что препятствуют недостатки самих электронных медкарт. А что если использовать для решения этой задачи искусственный интеллект? По мнению медиков, один из главных недостатков существующих ЭМК-систем — затраты времени, которое у врача уходит на заполнение истории болезни во время амбулаторного приема: врач фиксирует в карте жалобы пациента, медицинское заключение, рекомендации врача. Однако, по утверждению Айзека Кохэйна (и с ним согласны большинство медиков), значительная ценность амбулаторного приема как раз и заключается в диалоге, общении между врачом и пациентом. Но ЭМК «буквально заставляет доктора отвернуться от пациента и уткнуться в компьютер». Врач обязан, как правило, не только задокументировать прием больного, но и вносить информацию о назначении лабораторных анализов, выписке лекарств и вводить код учета, говорит Пол Брайент (Paul Brient), главный специалист по медицинскому обслуживанию в компании *athenahealth*, еще одном разработчике ЭМК. Такое дублирование работы ведет к эмоциональному выгоранию врача и упадку сил.

В качестве временной меры в некоторых больницах теперь вводится должность помощника-секретаря, который во время амбулаторного приема обязан заниматься оформлением медицинской карты, пока врач беседует с пациентом. В настоящее время уже несколько компаний разрабатывают электронного секретаря; они хотят создать алгоритм машинного обучения, который мог бы распознавать беседу между врачом и пациентом, анализировать текст и заносить нужную информацию в ЭМК пациента.

На самом деле, некоторые из таких систем уже появились. Так, в 2017 г. стартап *Saykara* из Сиэтла запустил виртуального помощника по имени *Kara*. В приложении iOS используются технологии машинного обучения, распознавания голоса и обработки речи, что позволяет записывать разговор между врачом и пациентом, а затем на его основе заносить в ЭМК данные, ставить диагнозы, выписывать лекарства и предписывать методы лечения. В предыдущих версиях этого ПО врач должен

был задавать наводящие вопросы (примерно так же, как в случае с *Apple Siri*). Однако недавнюю версию приложения можно переводить в фоновый режим для прослушивания разговора между врачом и пациентом, а затем выбирать нужную информацию. Правда, в наше время электронные медицинские карты превратили врача, по словам Кохэйна, в подобие секретаря, задача которого свелась лишь к тому, чтобы заносить данные в компьютер. Однако приложения наподобие *Kara* уже способны стать умными и компетентными помощниками и коллегами врача. Компания *Saykara* — лишь один из множества стартапов, разрабатывающих столь продвинутые электронные инструменты. Так, например, с помощью новой версии мобильного приложения от компании *athenahealth* врач получил возможность оформлять документы посредством голосовых команд, после чего компьютерное приложение переводит текст в учетный и диагностический коды. Однако, как выразился Брайент, это мобильное приложение пока «несовершенно, как ни крути», и врачу все еще приходится исправлять его ошибки. Тем не менее мобильное приложение помогает разгрузить врачей. Правда, завкафедрой медицинского факультета Калифорнийского университета в Сан-Франциско Роберт Вахтер (*Robert Wachter*), ознакомившись с этими компьютерными приложениями, высказался о них так: они, «вероятно, не совсем готовы работать в полную мощь», и все же они, судя по всему, появятся через несколько лет.

Искусственный интеллект способен помогать врачу в принятии корректных, выверенных решений. «Назначение компьютерного средства поддержки и принятия решений состоит в том, чтобы вовремя послать сигнал тревоги медику», — считает Джейкоб Рейдер (*Jacob Reider*), врач и исполнительный директор медицинского центра в штате Нью-Йорк *Alliance for Better Health*. Оно могло бы действовать подобно всплывающему окошку в компьютерной программе, чтобы предупредить врача, скажем, об аллергии пациента на лекарства. Но более сложная программа была бы способна, скажем, вычислять вероятность побочного эффекта при использовании лекарственного препарата *A* в сравнении с другим лекарственным средством *B*, при этом сравнивая стоимость обоих. По словам Рейдера, с технологической точки зрения подобная программа «ничем не отличается от тех рекламных объявлений, которые размещает, например, *Amazon* для информирования клиента о товарах и услугах.

Вахтер нашел по крайней мере одно обнадеживающее свидетельство, которое показывает, что позитивные изменения уже идут. На протяжении нескольких лет гиганты высоких технологий — компании *Google*, *Amazon*, *Microsoft* — проявляли большой интерес к сфере здравоохранения. Так,

«Информация, заключенная в медицинских картах, подобна сырой нефти. Если ее не очистить, то пользоваться ею бесполезно»

Лео Энтони Чели,
Лаборатория вычислительной физиологии МТИ

корпорация *Google* в партнерстве с учеными из Калифорнийского университета в Сан-Франциско, Стэнфордского университета и Чикагского университета принялась разрабатывать компьютерные модели, которые должны прогнозировать осложнения у госпитализированных пациентов (в частности, отслеживать уровень смертности и незапланированной повторной госпитализации).

Чтобы решить проблему неупорядоченности данных, ученые сначала перевели данные, полученные из двух систем ЭМК, в стандартизированный формат обмена медицинской информацией, который называется *Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR*, «Ресурсы быстрого взаимодействия в сфере здравоохранения»). Затем, вместо того чтобы вручную выбирать какие-то отдельные параметры (например, артериальное давление, частота сердечных сокращений), ученые поручили программе считывать из медкарт весь массив данных, а именно — всю историю болезни пациента начиная с даты выдачи карты и вплоть до момента госпитализации больного. В результате получается 46 464 534 945 точек данных, включая клинические комментарии. «В этом подходе интересно вот что: все прогнозы базируются на одном и том же массиве данных», — поясняет врач Элвин Раджкомар (*Alvin Rajkumar*), исследователь ИИ в корпорации *Google*, который возглавлял этот проект. ИИ помогает упростить процесс ввода данных и увеличить результативность обработки.

Однако участие крупных корпораций также ставит перед нами серьезные вопросы, связанные с конфиденциальностью. Так, в середине ноября 2019 г. газета *Wall Street Journal* сообщила, что *Google* в партнерстве с компанией *Ascension*, вторым по величине медицинским центром США, получила доступ к медицинским данным десятков

миллионов человек без их ведома и согласия. Компания планировала воспользоваться этими данными для разработки средств машинного обучения, чтобы облегчить врачам доступ к медицинским картам пациентов.

Нельзя сказать, чтобы такой доступ к конфиденциальной информации, о котором мы только что упомянули, был чем-то беспрецедентным или незаконным. Президент *Google Cloud* по отраслевым продуктам и решениям Тарик Шукат (Tariq Shaukat) пишет, что медицинские данные «нельзя использовать ни для каких других целей, кроме как для предоставления тех услуг, которые мы предлагаем в рамках нашего соглашения; при этом данные о пациентах не могут быть и не будут объединены с какими-либо иными данными о клиентах, имеющимися в распоряжении у компании *Google*». Но все эти заверения не помешали Министерству здравоохранения и социальных служб США начать расследование, которое должно прояснить следующий вопрос: соответствуют ли положения о партнерстве между *Google* и *Ascension* требованиям Закона о мобильности и подотчетности медицинского страхования (*Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA*). На момент публикации этой статьи расследование еще не закончено.

Однако, по словам Джейкоба Рейдера, проблемы с конфиденциальностью не должны мешать созданию удобных и интеллектуальных ЭМК, которые смогли бы оперативно выдавать врачу любую информацию. Рейдер утверждает, что разработчикам вполне по силам создать такие ЭМК, которые бы также смогли гарантировать конфиденциальность и безопасность предоставления информации.

Итак, для того чтобы радикально модернизировать врачебную практику в подлинном смысле этого слова, нам понадобится создать принципиально новый вид электронных медицинских карт — и здесь обычной электронной папкой с файлами нам уже не обойтись. Правда, по наблюдению Джейкоба Рейдера, все известные ЭМК полагаются на базы данных возрастом от 20 до 30 лет. «Это всего лишь строчки и столбцы», — добавил он. Рейдер сравнил все эти системы с незамысловатой компьютерной программой, которую используют в любом книжном магазине для учета запасов: «Она умеет лишь фиксировать поступления и продажи». А теперь смотрите: компания *Amazon* с помощью компьютерного софта уже научилась предугадывать запросы клиентов. «Они создали такие компьютерные системы, которые могут обучаться и самостоятельно принимать решения», — говорит Рейдер. И здравоохранению тоже необходимо сделать подобный качественный скачок. ■

Кассандра Уилльямс (Cassandra Willyard) — популяризатор науки из Мадисона, штат Висконсин.

Соединяя умы

Наличие специалистов, получивших междисциплинарную подготовку, — залог успешного применения ИИ в биомедицинских исследованиях

Амит Каушал и Расс Олтмен

В наши дни на страницах газет и журналов, с трибун медицинских конференций мы то и дело читаем или слышим пророчества о грядущей революции, к которой приведет применение искусственного интеллекта в биомедицинских исследованиях. Кажется, еще немного — и ИИ-системы начнут творить чудеса: дистанционно выявлять людей, у которых есть предрасположенность к тому или иному недугу, диагностировать заболевания (без участия врача!), выбирать созданное ИИ лекарство и доставлять его пациенту точно в срок — и непременно на автомобиле, который автоматически управлялся бы ИИ.

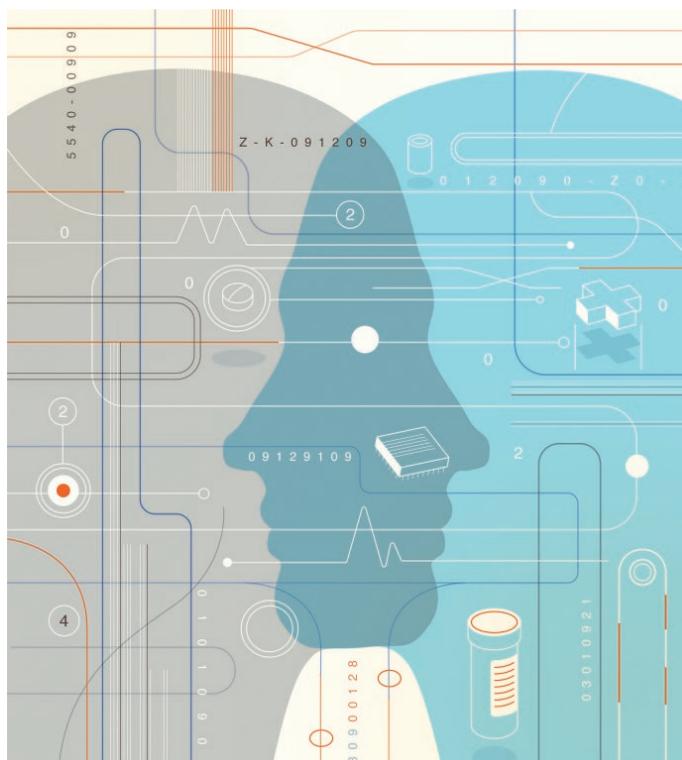
Если имеется в виду именно такое будущее, то до него еще очень и очень далеко. Не спорим, мы стали свидетелями радикальных изменений. Еще десяток лет назад большинство специалистов, даже тех, кто занимался информатикой, ничего не слышали о глубоком обучении, а сегодня эта область ИИ стремительно развивается. Благодаря ей компьютеры научились диагностировать пневмонию по рентгеновским снимкам грудной клетки или предугадывать ухудшение здоровья пациента на основе данных из медицинской карты. Мы не знаем, какие достижения — эволюционные или революционные — придадут импульс развитию искусственного интеллекта в ближайшие несколько десятилетий. Но мы уверены в следующем: успехи ИИ в области биомедицины зависят не только от компьютерных технологий, но и от квалификации тех, кто ими управляет.

Для того чтобы достижения в области компьютерных наук привели к успехам в биомедицине, необходимо критически рассмотреть не только различные области знаний, но и усилия людей,

прилагаемые на самых разных уровнях. Например, как отличить истинные возможности новой технологии от шумихи, неизбежно сопровождающей ее создание? Какие проблемы в области биологии и медицины можно будет решить с появлением более мощных компьютеров? Как нам перейти от уникальных (но единичных) новых технологий в медико-биологической сфере к внедрению целых систем, действительно помогающих улучшить здоровье людей? Поиск ответов на все эти сложные и многогранные вопросы должен осуществляться междисциплинарными группами ученых. Для этого нужны эксперты, специализирующиеся в вопросах искусственного интеллекта, биологии, медицины, и, что самое важное, — нужны истинные лидеры, способные мотивировать и направлять в нужное русло усилия талантливых специалистов из разных научных областей.

В биомедицинской сфере в отличие от ряда других областей, где уже используется ИИ, цена ошибки очень велика. Если компания, управляющая социальной сетью, вдруг обнаружит, что используемая модель ИИ не позволяет добиться увеличения откликов на рекламу, то она может спокойно перейти на другую модель. Но совсем другое дело — медицина, где на карту поставлена жизнь человека: если здесь ИИ вдруг воспользуется искаженной информацией, то отрицательные последствия станут очевидными для всех (неточный диагноз, ошибочные рекомендации врача), но могут появиться также и незаметные на первый взгляд ошибки. Представьте себе, что некая программа будет предлагать предвзятые в расовом отношении рекомендации, и все лишь потому, что при глубоком обучении были использованы данные с небольшой систематической погрешностью. С учетом сложности медико-биологической сферы как таковой и непонятности для неспециалиста многих ИИ-алгоритмов на обнаружение этой ошибки могут уйти годы. Руководители междисциплинарных групп — в научной сфере, в фармацевтических лабораториях и стартапах — должны уметь не только хорошо ориентироваться в технических и научных вопросах, но также предвидеть и четко формулировать свое понимание потенциальных рисков, выгод и последствий, связанных с проектами, над которыми работают возглавляемые ими коллективы.

Нам нужны люди, способные создавать медицинские системы на основе ИИ, с помощью которых мы смогли бы повысить уровень медобслуживания. Зачастую при решении сложных технических задач мы сосредоточиваемся на технических аспектах. Однако для того чтобы технические достижения принесли реальную пользу, во многих случаях нам необходимо решать множество



регулятивных, экономических и управленческих проблем, столь часто встречающихся в области здравоохранения. Истинных лидеров отличают умение использовать глубокие знания, а также интуиция как в области искусственного интеллекта, так и в сфере биомедицины. Однако таких разносторонних руководителей у нас маловато.

Устранение этого пробела имеет решающее значение для достижения успеха при создании ИИ в области биомедицины. И здесь основная трудность заключается в значительной продолжительности обучения по специальностям в области биологии и медицины. Однако еще более сложная проблема заключается в том, что студентам необходимо овладевать знаниями в тех областях, где подходы к решению научных задач принципиально отличаются друг от друга. Например, возьмем информатику. Она основывается на строгости формального подхода, характерного вообще для математики, статистики и инженерно-технических наук, в то время как биология исследует такие явления эволюции, которые сложно поддаются формализации, ведь свойства живых организмов — свойства именно живой материи. Таким образом, нам нужны студенты незашоренные, устремленные к знаниям, готовые на протяжении долгого времени изучать эти столь непохожие друг на друга научные традиции. Неужели мы слишком многого хотим?

И все же нужные нам студенты появились, и число их растет. Мы сначала должны выявлять молодых людей, уже получивших глубокие знания

в области биологии и медицины либо вычислительных наук, и помогать им приобрести специальность в другой сфере. В биомедицинской информатике с начала 1980-х гг. эту роль выполняют программы получения степени магистра (M.S.), аспиранта (Ph.D.) и доктора медицины (M.D./Ph.D.). Студенты различных специальностей приглашаются на обучение в рамках этих программ по самым разным дисциплинам — вычислительной биологии, биоинформатике, клинической информатике, биомедицинским наукам и т.д. Во всех этих научных сферах для решения задач в области биологии и медицины используется информатика.

Но возможно ли такое — обучать студентов сразу в тех областях, которые находятся на пересечении вышеупомянутых научных дисциплин, причем в то самое время, когда интеллектуальные представления студентов еще только формируются? Различие между двумя подходами сродни разнице в обучении второму языку взрослых людей и обучении детей, выросших в двуязычных семьях: вторые в отличие от первых владеют «иностранном» языком абсолютно свободно.

В 2001 г. в Стэнфордском университете по нашей инициативе была введена новая профилирующая специальность — биомедицинская инженерия, предусматривающая изучение информатики и статистики с уклоном в область биологии и медицины. Молодые люди, успешно окончившие обучение по этой специальности, получают степень бакалавра естественных наук, поскольку они приобретают знания и навыки, необходимые для применения вычислительных методов к решению сложных медико-биологических задач. Наши студенты изучают биологию в объеме, предусмотренном в рамках подготовительного курса медицинского вуза, а информатику — наравне с теми, кто в будущем собирается работать в компаниях Кремниевой долины. Во время учебы в Стэнфорде каждый из наших студентов обязан принять участие в исследовательском проекте продолжительностью от трех месяцев до полугода. Таким образом, учащиеся приобретают широкие знания одновременно в медико-биологической и инженерно-технической областях, а также получают основательные познания в одной из узких прикладных областей. Кроме того, студенты должны прослушать не менее одного курса, посвященного социальным и этическим последствиям применения технологий.

Опираясь на почти двадцатилетний опыт преподавания студентам, специализирующимся в области биомедицинских вычислений, мы убедились, что предложенная нами модель обучения эффективна. Многие из наших выпускников работают сейчас в научных учреждениях, клиниках, стартапах (в области биологии и не только), в крупных компаниях, в юридических фирмах, венчурных компаниях и много где еще. Среди наших

студентов в равной степени представлены мужчины и женщины (50 на 50) — а это, согласитесь, редкое явление для инженерно-технических специальностей.

Большинство наших выпускников считают, что полученная ими у нас специализация — это отдельное, вполне самостоятельное направление в науке; они уже не рассматривают себя ни как «специалистов по ИИ, занятых в биологии», ни как «биологов, работающих с ИИ», хотя обе эти интеллектуальные традиции, мирно уживаясь в умах наших выпускников, продолжают интеллектуально их обогащать. Правда, ни за четыре года, ни даже за 40 лет учебы невозможно изучить всю биомедицину и всю информатику. Однако подготовленные нами специалисты свободно ориентируются и в биомедицине, и в информатике; они умеют применять свои инженерные навыки для решения — с учетом социального контекста — сложнейших задач биологии и здравоохранения.

В дополнение к программам бакалавриата необходимо разработать комплекс программ по биомедицине и вычислительным методам для магистров и аспирантов, что позволит студентам, которые только начинают получать образование, свободно ориентироваться в этих столь отличающихся друг от друга научных дисциплинах. Такие программы будут способствовать быстрому увеличению числа специалистов, всегда готовых использовать ИИ на благо развития биологии и здравоохранения. ■

Амит Каушал (Amit Kaushal) — доцент клинической медицины, адъюнкт-профессор биоинженерии Стэнфордского университета.

Расс Олтмен (Russ B. Altman) — профессор биоинженерии, генетики, медицины и биомедицинских данных Стэнфордского университета.

Перевод: И.В. Ногаев



ScientificAmerican.com/
InnovationsIn/dna-drug-revolution



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия



Взгляд на науку
с пристрастием

Актуальная информация о науке и технике в России и в мире
Открытия в разных областях фундаментальной и прикладной науки
Новости из научных центров и вузов страны и мира

scientificrussia.ru

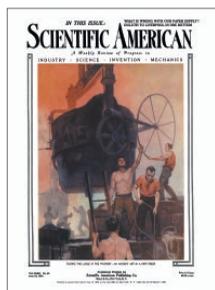


ИЮНЬ 1970

Переключатели генов. «Каким образом управляются гены? Все клетки должны иметь возможность включать и выключать свои гены. Например, клетке бактерии могут потребоваться другие ферменты, чтобы переварить новую пищу, в связи с изменением окружа-

ющей среды. Когда простой вирус проходит свой жизненный цикл, его гены включаются последовательно, управляя серией упорядоченных во времени событий. Более сложные организмы развиваются из яйца, их клетки включают и выключают тысячи различных генов, и такое переключение продолжается на протяжении всего жизненного цикла организма. Для этого переключения требуется воздействие множества определенных элементов управления. В течение последних десяти лет один из механизмов такого управления удалось объяснить в терминах молекулярной биологии: управление целевыми генами с помощью молекул, называемых репрессорами». — Марк Ташне (Mark Ptashne) и Уолтер Гилберт (Walter Gilbert).

Примечание: Гилберт разделил Нобелевскую премию 1980 г. по химии за работу в области нуклеиновых кислот.



ИЮНЬ 1920

Усиление голоса. Громкоговорящие телефонные системы, установленные в помещении крытой арены «Колизей» в Чикаго, разрабатывались примерно десять лет. Работа в основном выполнялась в лаборатории на одной из самых оживленных и шумных улиц

Нью-Йорка. Члены группы разработчиков были поражены, услышав среди цоканья копыт и грохота множества упряжек и грузовиков странный



1870 г.: при строительстве изящного моста Джона Реблинга в максимальной степени использованы дешевые железо и сталь

голос, исходящий, очевидно, откуда-то поблизости и медленно и четко повторяющий детский стишок. Вряд ли они могли видеть рупор на крыше высокого здания лаборатории и не догадывались, что проводится тестирование с целью поддержки выдвижения одного из кандидатов в президенты.

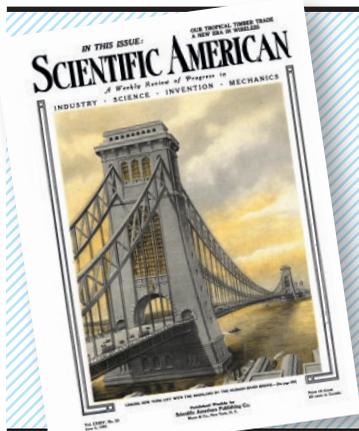


ИЮНЬ 1870

Век машин. Одно-единственное предприятие в нашем городе — компания Singer — ежедневно производит 500 швейных машин. Работа идет днем и ночью.

Созданный украшать. Полагаем, что выразим общее мнение

инженеров и архитекторов, если скажем, что мост через реку Аллегейни в Питтсбурге — одна из самых изящных конструкций в своем классе на нашем континенте. Непревзойденное изящество его очертаний особенно заметно, если смотреть с подходящей точки. Этот великолепный мост был спроектирован и построен в 1860 г. покойным Джоном Реблингом (John A. Roebling).



ПРАЗДНУЕМ
175
ЛЕТ

Мосты: показатель развития цивилизации

Инженерное искусство строить мосты через естественные препятствия красноречиво говорит о способности человечества планировать будущие путешествия. Неолитические гати через болота датируются временем около 6 тыс. лет назад. Изобретение в конце XIX в. более дешевого бессемеровского процесса получения железа стало началом новой эры мостостроения: изящные конструкции из железа и стали соединили более длинные пролеты (но потребовали большего ухода, чем каменные мосты). Мосты характеризуют прогресс человечества в искусстве строительства, рассматриваемый как показатель развития его цивилизации и культуры. Самый длинный на сегодня мост, проходящий над каналами, рисовыми полями и озерами, протянулся примерно на 165 км и обеспечивает скоростное железнодорожное сообщение между Пекином и Шанхаем.

1923 г.: чрезмерно дорогой проект будущего моста Джорджа Вашингтона через Гудзон в Нью-Йорке

Acting Editor in Chief:

Copy Director:

Creative Director:

Managing Editor:

Chief Features Editor:

Chief News Editor:

Chief Opinion Editor:

Senior Editors:

Associate Editors:

Curtis Brainard
 Maria-Christina Keller
 Michael Mraz
 Ricki L. Rusting
 Seth Fletcher
 Dean Visser
 Michael D. Lemonick
 Mark Fischetti, Josh Fischman, Clara Moskowitz,
 Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong
 Gary Stix, Lee Billings, Sophie Bushwick,
 Andrea Thompson, Tanya Lewis, Sarah Lewin Frasier

Editors Emeriti:

Contributing Editors: Gareth Cook, Lydia Denworth, Ferris Jabr, Anna Kuchment,
 Robin Lloyd, Melinda Wenner Moyer, George Musser, Ricki L. Rusting

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

Art Director: Jason Mischka

Senior Graphics Editor: Jen Christiansen

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Vice President, Commercial: Andrew Douglas

Publisher and Vice President: Jeremy A. Abbate

© 2020 by Scientific American, Inc.

В мире науки

SCIENTIFIC AMERICAN

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

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ: БУДУЩЕЕ МЕДИЦИНЫ

Новая эра для болезни Альцгеймера

Прошло более столетия с тех пор, как Алоис Альцгеймер впервые выступил с описанием нейродегенеративного заболевания, которое названо его именем, но до сих пор у нас нет способа противостоять этому недугу и излечиться. Сейчас ученые заговорили о том, что пора радикально обновить подход к лечению.

Тайна Таму

Новое объяснение образования гигантского вулкана — массива Таму — меняет представление о формировании морского дна.

Жизнь вместе с лесом

Пигмеи процветали в бассейне Конго, но лишь до тех пор, пока не началось развитие региона в сочетании с охраной окружающей среды.

Квантовый стимпанк

Подобно тому как в жанре стимпанка стиль викторианской эпохи переплетается с современной техникой, новая область физики приспосабливает термодинамику XIX в. для описания квантовых систем нашего времени.

GPS под угрозой

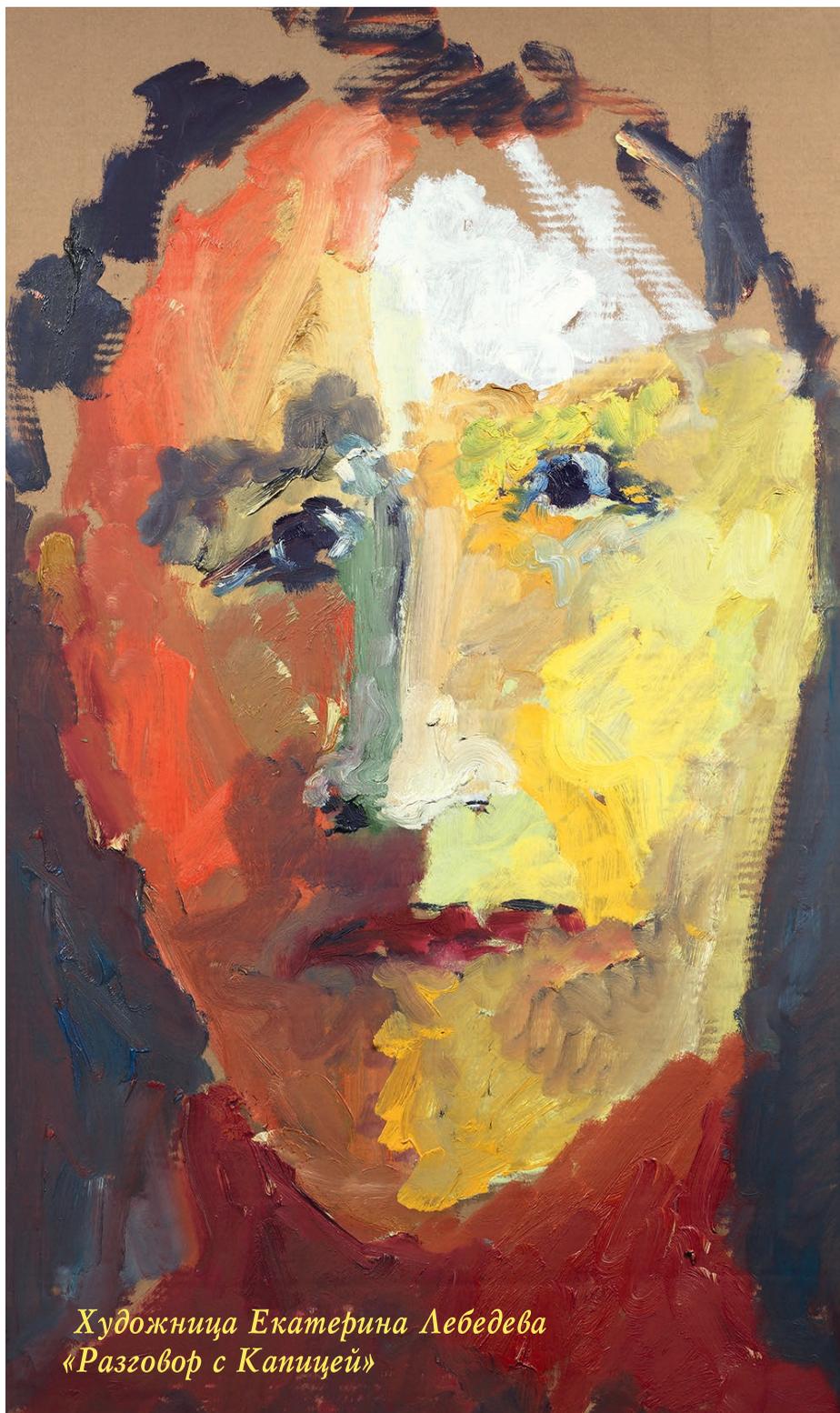
Мы доверяем системе GPS, но оказалось, что взломать ее несложно — и что у США нет защиты от взлома.





ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия



*Художница Екатерина Лебедева
«Разговор с Капицей»*



Взгляд на науку с пристрастием

Актуальная информация
о науке и технике в России
и в мире

Открытия в разных
областях фундаментальной
и прикладной науки

Новости из научных
центров и вузов страны
и мира

scientificrussia.ru