

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

8/9 2020

12+

ПЛАНЕТЫ-ДЕТИ // АКТУАЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ РОССИЙСКОЙ ВИРУСОЛОГИИ

СПЕЦРЕПОРТАЖ

ПАНДЕМИЯ КОРОНАВИРУСА

Как она началась, как развивается
и как ей противостоят ученые





4



102

Темы номера

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

Пандемия коронавируса 4

Вирусологи расследуют историю возникновения заболевания; медики ищут среди лекарств те, которые могли бы помочь в условиях отсутствия времени на изобретение лечения с нуля; медработники признаны героями и испытывают острый стресс; для быстрого создания вакцины, вероятно, понадобятся геномная инженерия; эпидемии прошлого помогут нам понять, как завершится COVID-19

Внутри коронавируса 38

Марк Фишетти
Что известно об «интимной жизни» патогена, поразившего жителей всего земного шара

Крупнейший психологический эксперимент 44

Лидия Дэнцурт
Пандемия показала, как люди реагируют на невзгоды

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

Цифровой мир: среда доверия 54

Мария Кравчук
Генеральный директор НПК «Криптонит» **Вартан Хачатуров** — о том, почему актуальность информационной безопасности сейчас высока как никогда



44

СОДЕРЖАНИЕ

Август/сентябрь 2020

МЕДИЦИНА

Вирусы — двигатели эволюции 62

Наталья Лескова
Академик **Виктор Малеев** — о своем уникальном опыте инфекциониста применительно к сложившейся пандемической ситуации



ГЕНЕТИКА

«Генетика — это мост между науками» 68

Наталья Лескова
Член-корреспондент РАН **Александр Кудрявцев** — о прошлом, настоящем и будущем генетических исследований в мире и в России



ЭНЕРГЕТИКА

Энергия притяжения Луны 76

Валерий Чумаков
О переходе на альтернативные энергетические источники говорят уже давно, и один из перспективных вариантов — приливы



132



142



76

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Царица наук на службе геологии

Анастасия Пензина

Врио ректора Томского политехнического университета

Андрей Яковлев — о лидерстве, значимости партнерских отношений и универсальности математики

ФИЗИКА

Самые темные частицы

Уильям Чарлз Луи и Ричард Ван де Уотер

Проводится эксперимент, направленный на поиск нового типа нейтрино, который мог бы стать ключом к темному сектору Вселенной

АСТРОНОМИЯ

Планета родилась

Мереди Макгрегор

Четкие изображения околозвездных дисков позволяют обнаружить спрятавшиеся там планеты и понять, как формируются планетные системы

СОЗНАНИЕ

Рассказы умирающего мозга

Кристоф Кох

Соприкосновение со смертью может оставить неизгладимое впечатление в сознании выжившего — и рассказать о работе мозга в экстремальных условиях

ЗДОРОВЬЕ И МЕДИЦИНА

84 Лечение пациентов без взвешивания 120

Вирджиния Соле-Смит

Заикленность на потере веса не делает людей здоровее. Некоторые врачи пробуют другой подход



ЭВОЛЮЦИЯ

Удивительная история пальцев 132

Ришар Клутье и Джон Лонг

Пальцы передних конечностей возникли задолго до того, как позвоночные выбрались из воды и колонизировали сушу

АРХЕОЛОГИЯ

Как земледельцы завоевали Европу 142

Лаура Спинни

Когда земледельцы встретились с охотниками-собираателями, вероятно, сформировалась нарушившая равновесие иерархия

102

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Ваш прогноз на 28 дней 152

Кэти Пиджен

Метеорологам все лучше удается предсказать жару, холод, влажность и засуху на четыре недели вперед

112

Разделы

От редакции 3

50, 100, 150 лет тому назад 119, 160



54



84

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. Фортв

Главный научный консультант:

президент РАН акад. А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

член-корр. РАН А.М. Кудрявцев; акад. В.В. Малеев; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин;

д.ф.-м.н. А.А. Яковлев

Над номером работали:

Е.В. Аржевский, М.С. Багоцкая, М.Ю. Кравчук, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон,
Н.Л. Лескова, А.И. Пензина, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина, В.И. Сидорова, В.М. Хачатуров,
Н.Н. Шафрановская, 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. Фортв

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.rf, тел.: 8 (495) 745-84-28, 8 (4963) 82-06-85
Заказ № 0103

© 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.

У журнала *Scientific American* — НОВЫЙ ГЛАВНЫЙ редактор



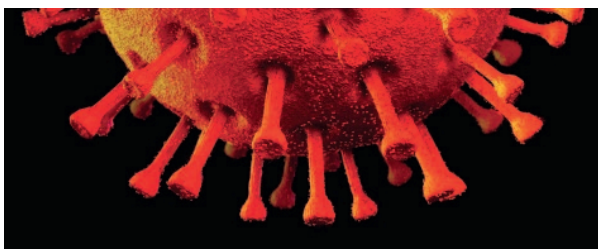
Лора Хельмут,
главный редактор
журнала *Scientific American*

Им стала научный журналист, доктор наук Лора Хельмут (Laura Helmut). Ранее она была редактором журнала *Washington Post* по вопросам здравоохранения и науки, занимала также пост президента Национальной ассоциации писателей-ученых. В своей первой редакционной статье она написала: «Я очень рада влиться в ряды коллектива *Scientific American* в качестве очередного главного редактора. Всегда

любила этот журнал и восхищалась им со стороны, и теперь для меня большая честь работать вместе с талантливыми и трудолюбивыми людьми, которые так вдохновенно трудятся над созданием актуальных и достоверных рассказов о науке».

Поздравляем Лору Хельмут с новой должностью и надеемся на долгое и плодотворное сотрудничество!

Наука против коронавируса



В центре внимания научных журналистов по-прежнему *COVID-19*. В двойном номере журнала — рассказ о том, что ученым уже удалось выяснить о структуре и механизме действия этого патогена.

В специальном репортаже «Пандемия коронавируса» — рассказ о китайском вирусологе Ши Чжэнли, которая выявила десятки смертоносных, похожих на *SARS* вирусов в пещерах — местах обитания летучих мышей. «Коронавирусы, передающиеся от летучих мышей, будут и дальше вызывать вспышки заболеваемости среди людей, — говорит Ши. — Мы должны найти их прежде, чем они найдут нас».

Другой специальный репортаж посвящен подробному разбору «поведения» коронавируса после того, как он попадает в организм человека через рот или нос и по дыхательным путям достигает

слизистой легких. Как срабатывает иммунитет человека и образуются антитела? Как работают лекарства и вакцины? Читайте в материале «Внутри коронавируса».

COVID-19 — не первый и не последний вирус, объявивший войну человечеству. У врачей и ученых накоплен огромный опыт борьбы с подобными врагами. Всемирно известный ученый-инфекционист академик В.В. Малеев в интервью «Вирусы — двигатели эволюции» рассказывает о своей работе в очагах смертельно опасных инфекций, об особенностях коронавируса, а также о том, почему вирусы всегда будут составной частью жизни человека.

«Из природного резервуара всегда может выскочить новый вирус и начать поражать человека», — говорит директор Института общей генетики РАН им. Н.И. Вавилова член-корреспондент РАН А.М. Кудрявцев. Поэтому необходима программа по геному вирусов. Поскольку сейчас мы можем создавать вакцины *in silico*, почему бы не разрабатывать какие-то платформы предварительно? Читайте об этом в интервью «Генетика — это мост между науками».

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



СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

ПАНДЕМИЯ КОРОНАВИРУСА



ОХОТА ЗА ЧУМОЙ 6

Джейн Цю

**БЫСТРОЕ ПОЛУЧЕНИЕ
ЛЕКАРСТВА** 14

Майкл Вальдхольц

ТРАВМА НА ПЕРЕДОВОЙ 20

Джиллиан Мок

ЧТО ЧУВСТВУЮТ МЕДИКИ 24

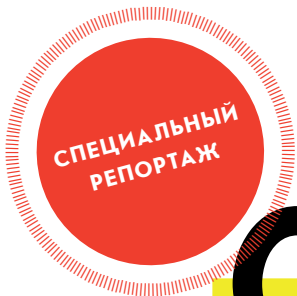
Джиллиан Мок и Джен Шварц

ПОИСКИ ВАКЦИНЫ 28

Чарлз Шмидт

ЧТО БУДЕТ ДАЛЬШЕ 34

Лидия Дэнуорт



ОХОТА ЗА ЧУМОЙ

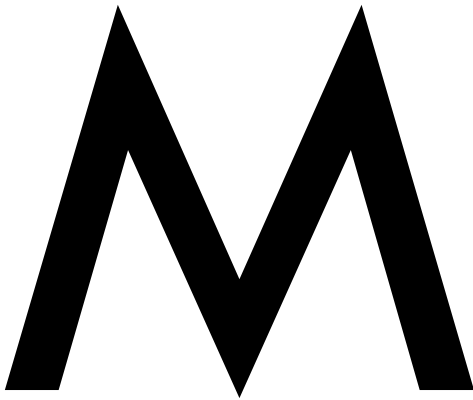
ВИРУСОЛОГ ШИ
ЧЖЭНЛИ ОБЛАЗИЛА
ПЕЩЕРЫ С ЛЕТУЧИМИ
МЫШАМИ В КИТАЕ,
ЧТОБЫ ПРОСЛЕДИТЬ
ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ПЕРВОГО ВИРУСА SARS
И НЫНЕШНЕЙ ЭПИДЕМИИ

Джейн Цю



ОБ АВТОРЕ

Джейн Цю (Jane Qiu) — отмеченный наградами научный журналист из Пекина.



Материал от пациентов с загадочным заболеванием поступил в Уханьский институт 30 декабря 2019 г. в 19:00. Спустя мгновение у Ши Чжэнли (Shi Zhengli) зазвонил мобильный телефон. Ей звонил директор института. Уханьский центр по контролю и профилактике заболеваний обнаружил новый коронавирус у двух пациентов, госпитализированных с атипичной пневмонией, и поступил запрос на проведение исследования в знаменитой лаборатории Ши. Если открытие подтвердится, то новый патоген может представлять серьезную угрозу для здоровья населения, поскольку он принадлежит к тому же семейству вирусов, представитель которого вызвал тяжелый острый респираторный синдром (SARS) — заболевание, поразившее в 2002–2003 гг. 8,1 тыс. человек, из которых умерло примерно 800. «Бросьте все, чем вы занимались, и разберитесь с этим прямо сейчас», — вспоминает Ши слова директора.

Ши — вирусолог, коллеги часто называют ее китайской «женщиной — летучей мышью» (бэтвумен) из-за экспедиций в течение последних 16 лет, в которых она занималась охотой за вирусами в пещерах с летучими мышами. Ши покинула конференцию в Шанхае и села на ближайший поезд, идущий в Ухань. «Я думала о том, нет ли ошибки [у городских органов здравоохранения], — рассказывает она. — Я никогда бы не предположила, что такое может случиться в Ухане, в центральной Китае». Согласно ее исследованиям, наибольший риск, что коронавирусы перейдут к людям от животных, например от летучих мышей, которые представляют собой

известный резервуар для этой инфекции, существует в субтропических, южных провинциях Гуандун, Юньнань и в Гуанси-Чжуанском автономном районе. Она вспоминает, как думала: если причина действительно в коронавирусах, то не из их ли лаборатории?

В то время как группа исследователей из Уханьского института, находящегося под управлением Китайской академии наук, лихорадочно работала под руководством Ши, чтобы идентифицировать патоген, и за неделю определила, что заболевание связано с новым коронавирусом, получившим название SARS-CoV-2, сама болезнь распознала, как лесной пожар. К апрелю 2020 г. в Китае были

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В 2004 г. Ши Чжэнли обнаружила, что летучие мыши в пещерах на юге Китая — природный резервуар коронавирусов.
- По данным генетических анализов, эти вирусы несколько раз перескакивали на людей, вызывая смертельные заболевания вроде COVID-19.
- Рост числа контактов между людьми и дикими животными повышает вероятность подобных вспышек.

заражены более 84 тыс. человек. Примерно 80% из них жили в провинции Хубэй, столица которой — Ухань, и более 4,6 тыс. умерли. За пределами Китая около 2,4 млн человек в общей сложности из примерно 210 стран подцепили этот вирус, более 169 тыс. погибли от вызванной им болезни — COVID-19.

Ученые давно предупреждали, что темпы появления новых инфекционных заболеваний все увеличиваются, особенно это касается развивающихся стран, где высока плотность людей и животных. «Чрезвычайно важно точно определить источник инфекции и цепочку межвидовой передачи», — говорит специалист по экологии болезней Питер Дасзак (Peter Daszak). Дасзак — президент расположенной в Нью-Йорке некоммерческой исследовательской организации *EcoHealth Alliance*, которая сотрудничает с такими учеными, как Ши, из 30 стран Азии, Африки и Ближнего Востока, чтобы выявлять в дикой природе новые вирусы. Он добавляет, что охота за другими патогенами не менее важна, «чтобы предотвратить повторение подобных инцидентов».

Пещеры

В начале первой экспедиции по поиску вирусов Ши чувствовала себя как в отпуске. В прохладный солнечный весенний день 2004 г. она присоединилась к международной группе исследователей, чтобы собрать образцы из колоний летучих мышей в пещерах рядом с Наньнином, столицей Гуанси-Чжуанского автономного района. Ее первая пещера была характерной для этого региона: большая, с многочисленными известняковыми колоннами, кроме того, в нее было легко попасть, поэтому она пользовалась популярностью у туристов. «Это было завораживающе, — вспоминает Ши. — Блестящие от влаги молочно-белые сталактиты свисали с потолка, как сосульки».

Но отпускное настроение вскоре рассеялось. Многие рукокрылые, и в том числе насекомоядные виды подковоносов, которые в изобилии водятся в Южной Азии, прячутся в глубоких узких пещерах на крутых склонах. Часто, руководствуясь информацией, полученной от местных жителей, Ши с коллегами должны были часами подниматься к нужным местам и дюйм за дюймом ползти на животе по узким скальным расщелинам. Но эти летающие млекопитающие могут быть неуловимы. В течение недели разочарованная группа исследовала более 30 пещер и встретила всего лишь дюжину летучих мышей.



Около пещеры с летучими мышами в Гуанси-Чжуанском автономном районе КНР в 2004 г. Ши Чжэнли выпускает крылана после взятия крови на анализ (1). Во время той же поездки группа исследователей собирает образцы крови, в которых они будут искать вирусы и другие патогены (2).

Эти экспедиции были частью усилий по поимке виновника вспышки SARS, первой крупной эпидемии в XXI в. Исследователи из Гонконга сообщили, что торговцы дикими животными изначально заразились коронавирусом, вызывающим SARS, от циветт — родственных мангустам млекопитающих, живущих в тропических и субтропических областях Азии и Африки.

Руководитель программы изучения новых инфекционных заболеваний в сингапурской Высшей медицинской школе *Duke-NUS* Линьфа Ван (Linfa Wang) рассказывает, что до вспышки SARS мир имел слабое представление о коронавирусах, которые называли так за то, что под микроскопом их покрытая шипами поверхность напоминает

корону. Главным образом про коронавирусы было известно, что они могут вызывать обычное ОРЗ. «Вспышка SARS в корне меняла положение дел», — говорит Ван. Тогда впервые объявился смертельный коронавирус, способный вызывать пандемии. После этого случая резко начались глобальные поиски таких вирусов животных, которые способны проникнуть в человека. Ши была в числе первых исследователей, включившихся в эти поиски, а Дасзак и Ван долгое время работали вместе с ней.

Появление у циветт вируса, вызывающего SARS, оставалось загадкой. Два предыдущих случая были весьма показательны: вирусная инфекция Хендра, попавшая к людям от лошадей в 1994 г в Австралии, и вирус Нипах, перешедший от свиней в Малайзии в 1998 г. Ван обнаружил, что

первоначально носителями этих вирусов были крыланы. Лошади и свиньи оказались всего лишь промежуточным звеном. У летучих мышей на рынке Гуандуна тоже были следы вируса SARS, но многие ученые сочли, что это следствие загрязнения образцов. Однако Ван считал, что летучие мыши могут быть природным резервуаром данного вируса.

В те первые месяцы охоты за вирусами в 2004 г., когда Ши и другие исследователи обнаруживали пещеру с летучими мышами, они ставили сеть перед наступлением сумерек и ждали, когда ночные животные рискнут вылезти, чтобы покормиться. Когда мыши попадали в сеть, исследователи брали образцы крови, слюны и фекальные мазки, обычно это происходило до рассвета. Немного вздремнув, утром они возвращались в пещеру, чтобы собрать образцы мочи и фекалий.

Исследователи анализировали пробу за пробой, но не находили никаких следов генетического материала коронавируса. «Казалось, что восемь месяцев тяжелой работы ушли в никуда, — рассказывает Ши. — Мы подумали, что, возможно, летучие мыши не имеют никакого отношения к SARS». Ученые уже собирались сдать ее специалистам из соседней лаборатории вручили им диагностический набор для выявления антител, которые образуются у людей с SARS.

Не было никакой гарантии, что тест покажет антитела у летучих мышей, но Ши все равно решила его использовать. «Что нам было терять?» — рассказывает она. Результаты превзошли все ожидания. Пробы, полученные от трех видов подковоносов, содержали антитела к вирусу SARS. По словам Ши, «для проекта это стало поворотным моментом». Исследователи выяснили, что присутствие коронавируса у летучих мышей было непродолжительным и сезонным, но антитела сохранялись неделями и годами. Таким образом, этот диагностический набор дал ценную подсказку, как можно охотиться за геномными последовательностями вирусов.

Группа Ши использовала тест на антитела, чтобы сузить список мест обитания и видов летучих мышей, в которых надо искать гены вируса. Побродив в горной местности в десятках китайских провинций, исследователи обратили внимание на одно место: пещеру Шитоу в пригороде Куньмина, столицы Юньнани. Там они в течение пяти лет подряд интенсивно собирали пробы.



В китайской провинции Юньнань ученые из международной организации EcoHealth Alliance, занимающейся поиском болезней, которые могут перейти от животных к людям, охотятся за патогенами в пещере с летучими мышами

Усилия ученых окупились. Охотники за патогенами обнаружили, что летучие мыши переносят сотни коронавирусов с невероятным генетическим разнообразием. «Большинство из них безвредны», — говорит Ши. Но некоторые относятся к той же группе, что и SARS. Они могут поражать клетки легких человека в чашке Петри и вызывать SARS-подобное заболевание у мышей.

В пещере Шитоу при тщательном изучении обнаружилась целая естественная генетическая коллекция вирусов, переносимых летучими мышами, и там ученые выявили у подковоносов штамм коронавируса, геномная последовательность которого примерно на 97% совпадала с вирусом, найденным у циветт в Гуандуне. Этой находкой завершился десятилетний поиск природного резервуара коронавируса.

Опасная смесь

По словам Ральфа Барика (Ralph Baric), вирусолога из Университета Северной Каролины в Чапел-Хилле, во многих убежищах летучих мышей, где Ши собирала образцы, и в том числе в пещере Шитоу, «непрерывное смешивание разных вирусов создает прекрасную возможность для появления новых опасных патогенов». По словам Ши, в непосредственной близости от таких вирусных плавающих котлов, чтобы заразиться, не обязательно быть торговцем дикими животными.

Например, рядом с пещерой Шитоу среди покрытых бурной растительностью склонов раскинулось множество деревень, этот край известен своими розами, апельсинами, грецкими орехами и плодами боярышника. Там в октябре 2015 г. группа Ши собрала образцы крови у более 200 жителей из четырех деревень. У шестерых человек, то есть примерно у 3%, они обнаружили антитела против коронавирусов, подобных SARS, люди получили вирус от летучих мышей, хотя никто из них не имел дела с дикими животными и не сообщал о симптомах SARS или других, похожих на пневмонию. Только один из них побывал за пределами Юньнани до отбора проб, но все они говорили, что видели летучих мышей, летающих по деревне.

Тремя годами ранее команду Ши вызвали исследовать вирусы в шахте в горном уезде Моцзян провинции Юньнань (этот район известен своим ферментированным чаем пуэр). Там у шести шахтеров, двое из которых впоследствии умерли, обнаружилось похожее на пневмонию заболевание.

Исследователи в течение года собирали пробы в пещере и обнаружили разнообразные коронавирусы у шести видов рукокрылых. Во многих случаях у одного и того же животного было несколько штаммов, таким образом оно превращалось в летающую фабрику по производству новых вирусов.

«Непрерывное смешивание разных вирусов создает прекрасную возможность для появления новых опасных патогенов»

— Ральф Барик, Университет Северной Каролины в Чапел-Хилле

«Шахта адски провоняла, — рассказывает Ши, которая вместе с коллегами зашла туда в защитной одежде и маске, — пещера была завалена пометом летучих мышей, покрытым грибами». Хотя выяснилось, что шахтеры заболели из-за грибов, по словам Ши, если бы шахта не была быстро закрыта, рано или поздно они подхватили бы коронавирус.

С ростом численности населения, которое все чаще вторгается в среду обитания диких животных, с беспрецедентными изменениями в землепользовании, с перемещением скота и диких животных по стране, со стремительным ростом числа поездок внутри страны и за ее пределы пандемии новых заболеваний становятся практически неизбежными. Это мешало Ши и многим другим исследователям спать по ночам задолго до того, как загадочные образцы оказались в Уханьском институте вирусологии в тот зловещий вечер в прошлом декабре.

Более года назад группа Ши опубликовала два обширных обзора о коронавирусах в журналах *Viruses* и *Nature Reviews Microbiology*. Опираясь на данные собственных исследований, многие из которых были опубликованы в ведущих научных журналах, и на материалы других авторов, Ши с соавторами предупреждали о риске из-за возможных вспышек коронавирусных заболеваний, переносимых летучими мышами.

Кошмарный сценарий

Возвращаясь в Ухань на поезде 30 декабря прошлого года, Ши с коллегами обсуждали, как можно немедленно запустить проверку

образцов, полученных от пациентов. Следующие недели были самыми напряженными и насыщенными в ее жизни, Ши казалось, что она участвует в сражении из своего самого страшного ночного кошмара, хотя именно к этому она готовилась в течение последних 16 лет. Используя метод, который называется «полимеразная цепная реакция» (ПЦР) и позволяет выявить вирус путем амплификации его генетического материала, группа обнаружила, что образцы пяти из семи пациентов содержали генетические последовательности, присутствующие во всех коронавирусах.

Ши дала группе указание повторить анализы и одновременно задействовала другое оборудование, чтобы определить полную последовательность генома вируса. Тем временем она лихорадочно просматривала записи, сделанные в ее собственной лаборатории за последние несколько лет, чтобы проверить, не было ли каких-нибудь неправильных действий с экспериментальными материалами, особенно во время утилизации. Ши вздохнула с облегчением, когда пришли результаты: ни одна из полученных последовательностей не совпадала с теми вирусами, которые ее группа получила из пещер с летучими мышами. «Это сняло тяжесть с моей души, — говорит Ши. — До этого я несколько дней не могла сомкнуть глаз».

К 7 января уханьская команда ученых определила, что действительно именно этот новый вирус вызвал заболевание, которым страдали пациенты. К такому заключению пришли благодаря результатам ПЦР, полному секвенированию генома, анализу крови на антитела и проверке способности вируса инфицировать клетки легких человека в чашке Петри. Геномная последовательность вируса, позже названного SARS-CoV-2, на 96% совпадала с последовательностью коронавируса, ранее идентифицированного у подковоносов в Юньнани. Результаты были представлены в статье, опубликованной на сайте журнала *Nature* 3 февраля. «Абсолютно ясно, что опять естественным резервуаром стали летучие мыши», — говорит Дасзак, который не участвовал в данном исследовании.

С тех пор исследователи опубликовали более 4,5 тыс. геномных последовательностей вируса, и, как рассказывает Барик, образцы со всего мира, по-видимому, имеют общего предка. По словам исследователей, полученные данные свидетельствуют также, что

вирус перешел к человеку единожды, а затем передавался только от человека к человеку.

Учитывая, что, по-видимому, вирус с самого начала слабо изменился и у многих инфицированных людей наблюдаются только легкие симптомы, ученые предполагают, что патоген мог быть поблизости в течение недель или даже месяцев, прежде чем поднялась тревога из-за тяжелых случаев. «Могли быть небольшие вспышки, но вирус либо затихал, либо передавался довольно медленно, прежде чем ему удалось посеять хаос», — рассказывает Барик. Он добавляет, что большинство переносимых животными вирусов периодически появляются вновь, поэтому «вспышка в Ухане отнюдь не была неожиданностью».

Влияние рынка

По мнению многих специалистов, местные разрастающиеся рынки, торгующие дикими животными, где продается множество разных видов, например летучие мыши, циветты, панголины, барсуки и крокодилы, — идеальный плавильный котел для вирусов. Хотя люди могли заразиться смертельным вирусом непосредственно от летучих мышей (как показано в некоторых исследованиях, в том числе в работе Ши с коллегами), другие группы ученых предположили, что промежуточными хозяевами могли быть панголины. Эти группы, как сообщается, обнаружили вирус, похожий на SARS-CoV-2, у панголинов, которые были конфискованы в ходе операций по борьбе с контрабандой в Южном Китае.

24 февраля Китай объявил о введении постоянного запрета на добычу диких животных и торговлю ими, кроме как в исследовательских, медицинских и демонстрационных целях. Это уничтожит отрасль, которая, согласно отчету, подготовленному по заказу Китайской инженерной академии, в 2017 г. приносит \$76 млрд дохода и обеспечивает работой примерно 14 млн человек. Некоторые одобрили эту инициативу, тогда как другие, и в том числе Дасзак, обеспокоены тем, что если не попытаться изменить традиционные взгляды людей и не обеспечить их альтернативным источником средств к существованию, то полный запрет может просто загнать этот бизнес в подполье. Тогда выявлять заболевания будет еще сложнее. Дасзак говорит, что поедание диких животных тысячелетиями было частью культурных традиций в Китае: «Это не изменится за одну ночь».

По словам Ши, в любом случае добыча диких животных и торговля ими — лишь часть проблемы. В конце 2016 г. в округе Цинъюань в Гуандуне, чуть менее чем в 100 км от того места, где началась вспышка SARS, свиньи на четырех фермах страдали от сильной рвоты и диареи, около 25 тыс. животных погибли. Местные ветеринары не выявили никаких известных им патогенов и обратились за помощью к Ши. Причиной заболевания — синдрома острой диареи у свиней (SADS) — оказался вирус, геномная последовательность которого на 98% совпала с последовательностью коронавируса, обнаруженного у подковоносов в соседней пещере.

«Это серьезная причина для беспокойства», — говорит эпидемиолог-инфекционист из Дюкского университета Грегори Грей (Gregory Gray). У людей и свиней очень схожа иммунная система, поэтому вирусы могут легко переходить между этими двумя видами. Более того, группа ученых из Чжэцзянского университета в китайском городе Ханчжоу обнаружила, что в чашке Петри вирус SADS может заражать клетки многих организмов, включая грызунов, кур, обезьян и людей. Грей говорит, что с учетом масштабов свиноводства в ряде стран, например в Китае и США, поиск новых коронавирусов у свиней должен стать важнейшей задачей.

До нынешней вспышки в течение предыдущих трех десятилетий было еще несколько других, вызванных разными вирусами, полученными от рукокрылых: Хендра, Нипах, Марбург, SARS-CoV, MERS-CoV (ближневосточный респираторный синдром) и Эбола. Но Ван утверждает, что проблема не в животных как таковых. На самом деле летучие мыши способствуют здоровью экосистем и поддержанию биоразнообразия, поедая насекомых и опыляя растения. «Проблема возникает, когда мы вступаем с ними в контакт», — объясняет Ван.

Переход к профилактике

Когда я разговаривала с Ши в конце февраля, через два месяца после начала эпидемии и через месяц после того, как правительство ввело суровые ограничения передвижения в Ухане, 11-миллионном мегаполисе, она сказала, смеясь, что жизнь кажется почти нормальной: «Может быть, мы уже привыкли к этому. Худшее, очевидно, закончилось». У сотрудников института был специальный пропуск, чтобы добираться из дома в лабораторию, но больше они нигде не могли

пойти. Проводя много часов на работе, они питались лапшой быстрого приготовления, потому что институтская столовая была закрыта.

На свет продолжали появляться все новые сведения о коронавирусе. Так, например, исследователи выяснили, что патоген проникает в клетки легких человека с помощью рецептора под названием «ангиотензин-превращающий фермент 2», после чего занялись поиском препаратов, которые могли бы его заблокировать. Кроме того, идет гонка за созданием вакцины. В долгосрочной перспективе уханьские ученые планируют разработать вакцины и лекарства широкого спектра действия от разных коронавирусов, считающихся опасными для человека. «Вспышка в Ухане — это тревожный сигнал», — считает Ши.

Многие специалисты полагают, что мир не должен ограничиваться только реагированием на появление смертельных патогенов. «Лучшим решением в будущем должна стать профилактика», — говорит Дасзак. Поскольку 70% новых инфекционных заболеваний приходят от диких животных, приоритетной задачей должно быть их выявление и создание более совершенных диагностических тестов, добавляет он. По сути, это означало бы продолжить в гораздо большем масштабе ту работу, которой Ши и Дасзак занимались, пока в этом году у них не закончилось финансирование.

Дасзак говорит, что усилия надо направить на работу с группами млекопитающих, подверженных коронавирусным инфекциям, то есть с рукокрылыми, грызунами, барсуками, циветтами, панголинами и обезьянами. Он добавляет, что в этой битве с вирусами на переднем крае должны быть развивающиеся тропические страны, в которых особенно велико биоразнообразие.

Дасзак с коллегами проанализировали около 500 человеческих инфекционных заболеваний из прошедшего столетия. Они выяснили, что появление новых патогенов, как правило, происходит в местах, где при высокой плотности населения изменяется ландшафт — строятся дороги и шахты, вырубается леса и повышается интенсивность сельского хозяйства. «Китай — не единственная горячая точка», — говорит Дасзак, отмечая, что другие крупные развивающиеся страны, такие как Индия, Нигерия и Бразилия, тоже подвергаются высокому риску.

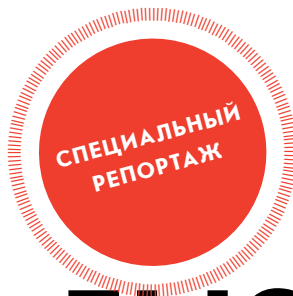
Грей рассказывает, что после того как потенциальные патогены будут обнаружены,

ученые и работники здравоохранения смогут регулярно проверять наличие возможных инфекций, беря анализы крови и мазки у домашнего скота, у диких животных, которых выращивают и продают, и у людей с высоким риском, таких как фермеры, шахтеры и жители деревень рядом со скоплениями рукокрылых. Такой подход называется «Единое здравоохранение» (*One Health*), он предполагает совместить заботу о здоровье людей, скота и диких животных. «Только в таком случае мы сможем поймать вспышку прежде, чем она превратится в эпидемию», — говорит Грей, добавляя, что эта стратегия потенциально могла бы сэкономить сотни миллиардов долларов, в которые обойдется такая эпидемия.

Тем временем в Ухане карантин был окончательно снят 8 апреля, однако настроение у Ши совсем не радостное. Она очень расстроена, поскольку в интернете и крупных СМИ продолжают повторять недостоверное предположение о том, что SARS-CoV-2 случайно сбежал из ее лаборатории, несмотря на то что его генетическая последовательность не соответствует тем вирусам, которые ранее там изучались. Другие ученые категорически отвергают это обвинение. «Она возглавляет лабораторию мирового уровня, работающую по самым высоким стандартам», — говорит Дасзак.

Несмотря на неприятности, Ши полна решимости работать дальше. «Дело должно быть продолжено, — говорит она. — Мы обнаружили пока лишь верхушку айсберга». Она планирует возглавить национальный проект по систематическому отбору образцов вирусов в пещерах с летучими мышами, причем это будет осуществляться с гораздо более широким размахом и большей интенсивностью, чем раньше. Группа Дасзака примерно подсчитала, что у рукокрылых во всем мире существует более 5 тыс. штаммов коронавируса и их еще предстоит открыть.

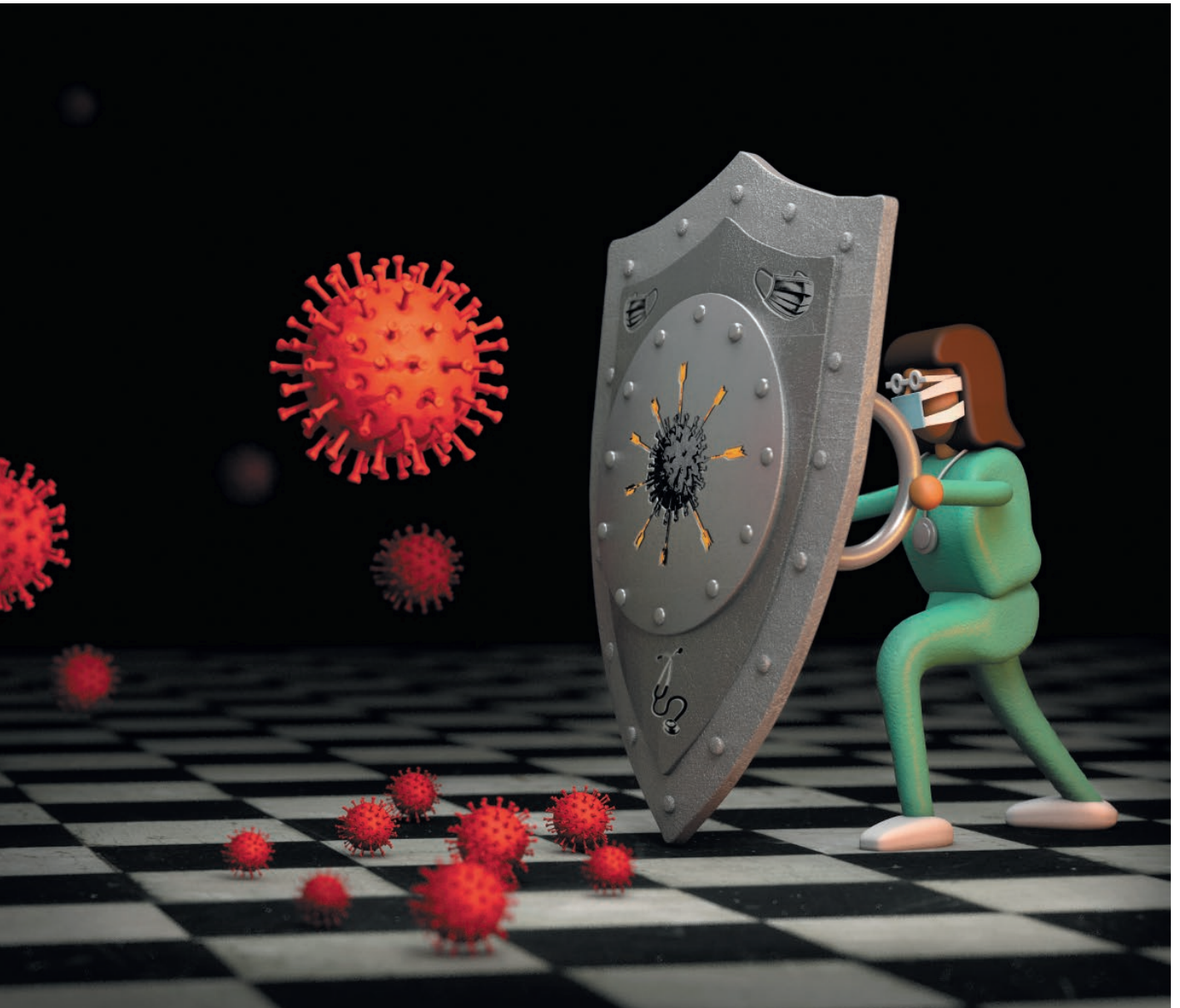
«Коронавирусы от летучих мышей будут и дальше вызывать вспышки, — с мрачной уверенностью говорит Ши. — Мы должны найти их прежде, чем они найдут нас».



БЫСТРОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕКАРСТВА

НЕ ИМЕЯ ВРЕМЕНИ
НА ТО, ЧТОБЫ
ИЗОБРЕТАТЬ
ЛЕЧЕНИЕ С НУЛЯ,
ИССЛЕДОВАТЕЛИ
ВЫБИРАЮТ, КАКИЕ
ИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ
ЛЕКАРСТВ МОГЛИ БЫ
ОБЛЕГЧИТЬ ТЕЧЕНИЕ
ЗАБОЛЕВАНИЯ

Майкл Вальдхольц



М

арк Денизион (Mark Denison) начал охоту за лекарством от *COVID-19* почти за десять лет до того, как болезнь, вызванная новым коронавирусом, обрушилась на мир в этом году. Денизион не ясновидящий, он вирусолог и эксперт по коронавирусам — семейству, представители которого часто оказываются смертельными, они вызвали вспышку *SARS* в 2002 г. и *MERS* в 2012 г. Это большая группа вирусов. «Мы были почти уверены, что скоро будет еще одна вспышка», — говорит Денизион, который руководит отделением детских инфекционных заболеваний в Медицинском центре Университета Вандербильта.

ОБ АВТОРЕ

Майкл Вальдхольц (Michael Waldholz) — журналист, руководит коллективом репортеров, получивших в 1997 г. Пулитцеровскую премию за освещение проблемы СПИДа. Живет в долине реки Гудзон, штат Нью-Йорк.

Вирус — необычное существо. По сути, это кусок генетического материала, который проникает в клетку и использует некоторые клеточные молекулярные механизмы для сборки множества своих копий. Эти клоны вырываются из клетки, разрушая ее, и заражают соседние. Из-за того что вирусы проникают в клетку, их трудно уничтожить полностью — они прячутся внутри своих хозяев. И у них взрывные темпы размножения. Поскольку полностью их ликвидировать затруднительно, вместо этого противовирусные препараты должны ограничивать процесс репликации до уровня, который не может повредить организму.

В 2013 г. Денизион и исследователь коронавируса из Университета Северной Каролины в Чапел-Хилле Ральф Барик (Ralph Baric) нашли уязвимое место, характерное для всех изученных ими коронавирусов, — это белок, необходимый для того, чтобы вирус мог копировать сам себя. Если эту способность ухудшить, коронавирус не сможет вызывать обширное заражение. Четыре года спустя исследователи из двух лабораторий обнаружили соединение, которое действовало именно на этот белок. Оно лежало, никем не используемое, в большой библиотеке противовирусных средств, созданной биотехнологическим гигантом *Gilead Biosciences*. Ученые получили образец и в ходе экспериментов в пробирках и на животных показали, что вещество под названием ремдесивир отключает процесс репликации у нескольких штаммов коронавируса.

Таким образом, в начале января, когда забили тревогу по поводу SARS-CoV-2, Денизион с Бариком предупредили коллег из *Gilead*, что у них имеется потенциальное лекарство. В основном благодаря его активности против других коронавирусов в исследованиях, проведенных Денизионом и Барриком на животных, в январе ремдесивир разрешили использовать для помощи пациентам «из гуманных соображений». К марту *Gilead* запустил два испытания препарата на людях, планируя в течение нескольких месяцев проверить безопасность лекарства и подобрать наиболее эффективные дозы с помощью примерно 1 тыс. больных пациентов. Два аналогичных испытания начали органы здравоохранения Китая. Тем временем Денизион, Барик и группа их коллег из Университета Эмори обнаружили еще одно вещество, названное *EIDD-2801*, с тем же механизмом действия на коронавирусы. В начале апреля они опубликовали результаты, показывающие, что новое вещество облегчало дыхание у мышей и снижало количество вирусных частиц. В экспериментах на клетках легких человека в пробирке оно резко блокировало SARS-CoV-2.

В мире есть несколько лабораторий, таких как лаборатории Денизиона и Барика, где благодаря изучению SARS и MERS накоплен многолетний опыт исследования механизмов действия коронавирусов. К тому времени как удалось секвенировать новый коронавирус и разобраться в его структуре, ученые уже определили те белки, которые большинство коронавирусов используют,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- При создании лекарств от COVID-19 — заболевания, вызванного новым коронавирусом, — можно работать в трех направлениях.
- Можно, например, не позволить SARS-CoV-2 попасть в клетку, а если вирус все-таки отказался там, не дать ему размножиться.
- И, наконец, исследователи пытаются затормозить чрезмерный ответ иммунной системы, из-за которого возникают самые тяжелые симптомы.

Три способа лечить COVID-19

Некоторые препараты, разрабатываемые сейчас для борьбы с этим заболеванием и с вызывающим его вирусом SARS-CoV-2

Блокаторы репликации вируса

ПРЕПАРАТ	ДЕЙСТВИЕ	КОМПАНИЯ/ЛАБОРАТОРИЯ	СТАТУС
Ремдесивир	Нарушает синтез вирусной РНК	<ul style="list-style-type: none"> • Университет Северной Каролины • Университет Вандербильта • Gilead Sciences 	Клинические испытания
EIDD-2801	Нарушает синтез вирусной РНК	<ul style="list-style-type: none"> • Университет Эмори • Университет Северной Каролины • Университет Вандербильта • Ridgeback Biotherapeutics 	Клинические испытания
Данопревир и ритонавир	Подавляют вирусный фермент протеазу	<ul style="list-style-type: none"> • Ascleptis Pharma 	Клинические испытания
Экспериментальные препараты на основе РНК-интерференции	Блокируют синтез вирусной РНК	<ul style="list-style-type: none"> • Alnylam Pharmaceuticals • Vir Biotechnology 	Начало исследований

Предотвращают проникновение в клетку

ПРЕПАРАТ	ДЕЙСТВИЕ	КОМПАНИЯ/ЛАБОРАТОРИЯ	СТАТУС
APN01	Имитирует клеточные рецепторы	<ul style="list-style-type: none"> • Apeiron Biologics 	Клинические испытания
Смесь разных человеческих антител	Антитела нейтрализуют вирус	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneron 	Клинические испытания запланированы на лето
Моноклональные антитела	Антитела нейтрализуют вирус	<ul style="list-style-type: none"> • Vir Biotechnology • Biogen • WuXi Biologics 	Планируются клинические испытания
ТАК-888	Модифицированные антитела к вирусу	<ul style="list-style-type: none"> • Takeda 	Доклинические исследования

Ослабляют чрезмерную иммунную реакцию и острый респираторный дистресс-синдром

ПРЕПАРАТ	ДЕЙСТВИЕ	КОМПАНИЯ/ЛАБОРАТОРИЯ	СТАТУС
Кевзара (сарилумаб)	Антитела блокируют сигнал, который иммунные клетки передают с помощью IL-6	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneron • Sanofi 	Клинические испытания
Актемра (тоцилизумаб)	Антитела блокируют сигнал, который иммунные клетки передают с помощью IL-6	<ul style="list-style-type: none"> • Genentech • BARDA* 	Клинические испытания
Remestemcel-L	Стволовые клетки, меняющие работу иммунной системы	<ul style="list-style-type: none"> • Mesoblast • Национальные институты здоровья 	Клинические испытания
Кселянз (тофацитиниб)	Подавление воспалительных клеток	<ul style="list-style-type: none"> • Pfizer 	Клинические испытания

* Управление перспективных биомедицинских исследований и разработок (Biomedical Advanced Research and Development Authority) США.

чтобы распространяться от одной инфицированной клетки человека к другим, и поняли, что организм может выдавать чрезмерно агрессивную иммунную реакцию, когда вирус заражает клетки дыхательных путей.

Благодаря проделанной работе, когда лаборатории переключились на нынешнюю угрозу, появились три стратегии противодействия вирусу. Первая стратегия

заключается в поиске средств наподобие ремдесивира и EIDD-2801, которые нарушают репликацию вируса после того, как он попал в клетку. Вторая стратегия — заблокировать вирус, не дав ему заходить в клетки и инфицировать их, вроде того как вышибала блокирует вход в бар. Третий подход заключается в том, чтобы приглушить опасную чрезмерную реакцию иммунной

системы, «цитокиновый шторм», когда жертва может задохнуться из-за жидкости и умирающих клеток в дыхательных путях.

Для того чтобы найти эти лекарства, исследователи обратились к списку Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США, содержащему около 20 тыс. соединений, одобренных для использования на людях, и просмотрели заявки на патенты лекарственных препаратов, надеясь обнаружить там вещества с подходящим механизмом действия. Цель состояла в том, чтобы найти лекарства, которые хотя бы частично уже прошли этап разработки, а не тратить много лет на создание лекарства с нуля. Институт Милкена, аналитическая организация, занимающаяся защитой здоровья, в середине апреля насчитал 133 экспериментальных лекарства от COVID-19. Около 49 из них сейчас ускоренно включены в клинические испытания. Их эффективность у людей пока неизвестна, и ученые предупреждают, что такие препараты, так же как и другие противовирусные средства, не дадут полного излечения. Но они могли бы достаточно ослабить симптомы, чтобы позволить иммунной системе пациента самостоятельно побороть вирус.

Блокатор копирования

У всех коронавирусов один и тот же механизм размножения: они используют определенный белок — вирусную РНК-полимеразу, Барик говорит, что это очевидная мишень для лекарств. При копировании вируса полимеразы допускает много ошибок, поэтому нужен другой фермент, экзонуклеаза, чтобы эти ошибки найти и исправить. Ремдесивир, по-видимому, отключает корректирующий фермент. Тогда копирующая вирусы система становится неаккуратной и производит меньше новых вирусов.

EIDD-2801 — соединение, давшее многообещающие результаты в тестах на животных и в пробирке, — нацелено на тот же вирусный фермент. Но в отличие от ремдесивира, который надо водить внутривенно, *EIDD-2801* можно принимать в виде таблеток. Поэтому Барик и другие специалисты, изучающие *EIDD-2801*, в том числе Джордж Пейнтер (George Painter), профессор фармакологии и президент Института разработки лекарственных средств Университета Эмори, где впервые был получен этот препарат, предполагают, что *EIDD-2801* может использоваться шире, чем ремдесивир.

В 2018 г. Пейнтер с коллегами обнаружили эффективность *EIDD-2801* во время поисков универсального средства от гриппа. Когда появился SARS-CoV-2, группа Пейнтера немедленно переключила внимание на него. Как и ремдесивир, *EIDD-2801* подавляет способность коронавируса к самокопированию, но он работает даже против мутантных вирусов, которые устойчивы к ремдесивиру. Кроме того, *EIDD-2801* эффективен против множества других РНК вирусов, поэтому он может служить универсальным противовирусным средством — аналогично тому, как некоторые антибиотики могут быть эффективны против широкого спектра бактерий. Уэйн Холман (Wayne Holman), соучредитель расположенной в Майами компании *Ridgeback Biotherapeutics*, которая получила лицензию на препарат и планирует клинические испытания, говорит, что надо получить такую таблетку для лечения COVID-19, чтобы пациент мог принять ее дома в начале заболевания и таким образом предотвратить развитие болезни.

Предотвращение заражения

Для того чтобы не позволить SARS-CoV-2 вообще заражать клетки, ученые пытаются получить антитела, которые блокировали бы вирусный шип — белок на его поверхности, облегчающий проникновение в клетку. Некоторые такие нейтрализующие антитела, состоящие из белка иммуноглобулина, можно получить из крови пациентов, уже победивших вирус. Ряд медицинских центров, в том числе Больница Джонса Хопкинса и Клиника Майо, собирают плазму крови у выздоровевших и проверяют ее на антитела. Затем врачи в больницах переливают плазму пациентам с опасными для жизни острыми респираторными расстройствами. Этот метод лечения называется реконвалесцентной терапией. Первые исследования с участием нескольких пациентов показали, что такой подход может сработать, — у некоторых состояние улучшилось и количество вируса в организме снизилось, но эта работа пока еще совсем на начальном уровне.

Японская фирма *Takeda Pharmaceuticals* тоже собирает плазму у пациентов, выздоровевших после COVID-19, с целью проанализировать антитела. В этой плазме компания определяет, какие антитела демонстрируют наибольшую активность в отношении SARS-CoV-2. Используя антитела в качестве образца, исследователи из *Takeda* планируют синтезировать серию еще более

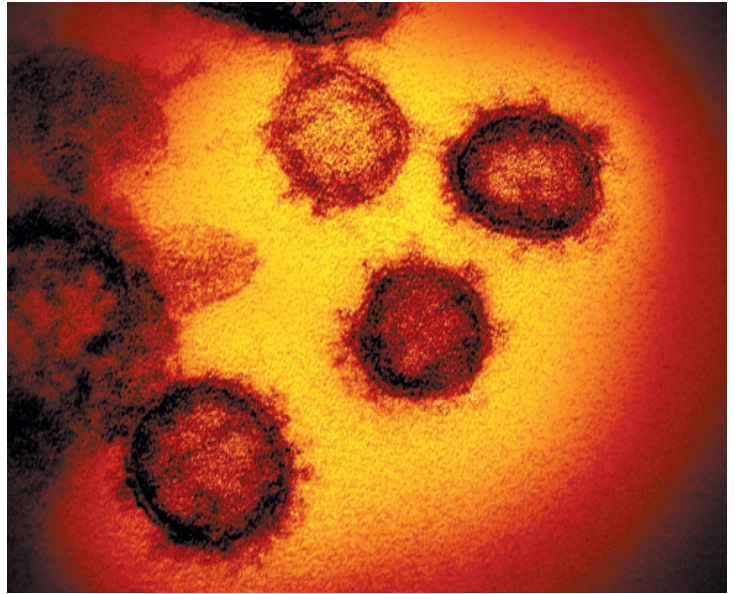
активных вариантов для создания сильнодействующей смеси, подавляющей инфекцию, об этом рассказывает Крис Морабито (Chris Morabito), руководитель отдела разработки методов лечения плазмой. Морабито говорит, что клинические испытания этого вида терапии — TAK-888 — могут начаться в конце года. Число 888 у китайцев означает «тройную удачу». Некоторые другие производители лекарств, в том числе *Regeneron* и *Vir Biotechnology*, создают свои собственные терапевтические антитела и говорят, что тоже проведут испытания на пациентах в этом году.

Другая стратегия блокировки направлена на тот участок клетки, к которому пристыковывается вирус. Йозеф Пеннингер (Josef Penninger), молекулярный биолог из Университета Британской Колумбии в Ванкувере и основатель фармацевтической компании *Apeiron Biologics*, пытается отманить вирус от рецептора ACE2, расположенного на поверхности клеток легких. Коронавирусный шип связывается с этим рецептором. Несколько лет назад в лаборатории Пеннингера синтезировали обманную версию ACE2. В экспериментах в пробирке ученые показали, что искусственно созданная молекула APN01 притягивает коронавирусы, не пуская их к настоящим клеткам дыхательных путей человека. Вирус соединялся с приманкой и застревал. «Мы блокируем вирусу вход и в то же время защищаем ткани», — рассказывает Пеннингер. *Apeiron* планирует клинические испытания APN01 в конце этого года, вещество должно будет вводиться пациентам в больнице в форме инфузионного раствора.

Чрезмерная реакция

У наиболее тяжело болеющих COVID-19 пациентов в легких скапливается масса слизеподобной жидкости, которая мешает клеткам поглощать кислород. Это те пациенты, которые нуждаются в искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Накопление жидкости происходит в результате чрезмерного иммунного ответа с участием сигнального химического вещества интерлейкина-6 (IL-6). Биотехнологические компании, в том числе *Regeneron* и *Genentech*, создали синтетические антитела, которые могут связываться с IL-6 и блокировать посылаемый ими сигнал.

Northwell Health, крупная система из 23 больниц, расположенных на Лонг-Айленде, штат Нью-Йорк, — это один из более чем дюжины центров, участвующих



Выходя из клетки, вирусные частицы SARS-CoV-2 (красные круги) будут вызывать все более обширное заражение, пока производители лекарств не найдут способа их остановить

в клинических испытаниях блокаторов IL-6. Кевин Трейси (Kevin Tracey), возглавляющий Институт медицинских исследований Файнштейна, который проводит испытания в больницах *Northwell Health*, рассказывает: «Больницы переполнены тяжелобольными пациентами, страдающими от тяжелой пневмонии и острого респираторного дистресс-синдрома. Механизм действия блокаторов IL-6 очень убедительный. Я надеюсь, что они сработают».

Ни один из подходов не дает полного исцеления. Денизион говорит, что разрабатываемые препараты могли бы «снизить тяжесть» при прогрессирующем COVID-19, особенно если их можно будет назначать при появлении первых симптомов — легкого кашля, боли в мышцах или небольшого повышения температуры. При оптимистичном раскладе в будущем комбинация из нескольких различных препаратов сможет противостоять вирусу сразу на нескольких фронтах, подобно тому как смесь противовирусных препаратов помогает отразить ВИЧ/СПИД. Сдерживая развитие симптомов, лекарства помогут некоторым пациентам обойтись без госпитализации, а госпитализированным — без ИВЛ. Они могут выступить в качестве временной меры для сохранения жизней, пока другие ученые спешно разрабатывают настоящий способ победить вирус: вакцину. ■



ТРАВМА НА ПЕРЕДОВОЙ

ОБЩЕСТВО СЧИТАЕТ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ НОВЫМИ ГЕРОЯМИ. ЧТО БУДЕТ, КОГДА ОСТРЫЙ КРИЗИС ЗАКОНЧИТСЯ?

Джиллиан Мок

После самых тяжелых дней в отделении неотложной помощи в Нью-Йорке врач Мэттью Бай (Matthew Bai) мог полностью расслабиться, когда возвращался к жене и 17-месячной дочери. «Для меня возвращение домой к семье было светом в конце туннеля», — рассказывает Бай. Когда в конце марта Медицинский центр Маунт-Синай на Манхэттене начал захлебываться в потоке пациентов с COVID-19, Бай с женой решили, что она должна забрать малышку и отправиться к родителям в Нью-Джерси. Риск принести вирус домочадцам был велик. Бай столкнулся с ежедневным наплывом задыхающихся пациентов, он никогда не видел, чтобы приемное отделение было настолько забито. Он все время думал, удастся ли ему сохранить в безопасности свой персонал. У всех врачей бывают плохие смены, но сейчас такие дни

повторяются один за другим. Вечерняя сказка для дочери через интернет не успокаивает его так, как живое общение. «Честно говоря, я понятия не имею, что я чувствую, — говорит Бай. — Я отправляюсь на работу, а когда день заканчивается, иду спать. У меня нет времени это обдумать».

Медицина — профессия, связанная со стрессом даже при нормальных обстоятельствах. Физические нагрузки, психологическое напряжение и неэффективность рабочих процессов могут привести к выгоранию. По словам Колина Уэста (Colin West), терапевта, изучавшего состояние врачей в Клинике Майо более 15 лет, в США от выгорания страдает до 50% врачей. В обзоре, опубликованном в журнале *Cureus* в 2018 г., оно описывалось как «сочетание усталости, цинизма и ощущения неэффективности». Врачи с выгоранием с большей

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Медицинские работники не просто лечат множество тяжелобольных пациентов во время пандемии.
- Они рискуют собственным здоровьем, у них более высокие показатели смертности, они сталкиваются с неработающими протоколами и методами помощи.
- Такой сильный стресс может иметь последствия для психического здоровья, однако терапевтической поддержки они не получают.

ОБ АВТОРЕ

Джиллиан Мок (Jillian Mock) — внештатная научная журналистка из Нью-Йорка, пишет про окружающую среду, изменения климата и здравоохранение. Ее материалы публикуются в *New York Times*, *Huffington Post*, *Discover* и в других изданиях.

вероятностью бросают работу. Результат лечения их пациентов может быть хуже. Но выгоранием нельзя назвать то, что испытывают врачи, медсестры, санитары и другие работники, когда коронавирус навалился на систему здравоохранения. «Выгорание — это хроническая реакция на работу в медицине, — говорит Уэст. — А сейчас беспрецедентно острый кризис».

По мере того как *COVID-19* переворачивает жизнь большей части общества, последствия недостаточной подготовки к пандемии ложатся на плечи медицинских работников, находящихся на переднем крае. В США замедленная реакция правительства в сочетании с плохой организацией тестирования позволила вирусу проникнуть повсеместно. Из-за многолетней экономии многие больницы не имеют возможности быстро расширить медицинскую помощь. Из-за возросшего во всем мире спроса на средства индивидуальной защиты (СИЗ) и аппараты для искусственной вентиляции легких эти необходимые вещи поставляются в недостаточном количестве. Запасов оказалось слишком мало, а усилия по наращиванию поставок были несогласованными или, что еще хуже, больницы и округа вынуждены были конкурировать друг с другом. Сейчас врачи в сильно пострадавших районах с трудом поспевают за потоком тяжелобольных пациентов. Персонал в злоеде тихих больниц в других местах наблюдает, задумываясь, не станут ли они следующими, к кому нахлынет вирус. Медсестры организуют последние телефонные звонки между умирающим и его близкими, которым запрещено посещение. Когда морги переполняются, приезжают грузовики-рефрижераторы, чтобы забрать тела.

«Наши медицинские работники видят лавину тяжелобольных людей, они погружаются в нее, потому что это их работа», — говорит Уэст. Но погружение в чрезвычайно неопределенные условия на недели

и месяцы, без перерыва, может серьезно повлиять на их психическое здоровье. Они более, чем кто-либо другой, рискуют заболеть из-за постоянного контакта с *SARS-CoV-2*. По данным Центров по контролю и профилактике заболеваний США, по состоянию на апрель в США вирусом заразилось более 9 тыс. медицинских работников, 27 умерло. В мире умерли сотни врачей. Многие, как и Бай, беспокоятся, что заразят своих пациентов и родственников, молодые медики советуют друг другу составить завещание. Некоторые больницы, опасаясь распространения дезинформации и ссылаясь на врачебную тайну, затыкают рот своим сотрудникам; во всем мире организации делают выговоры или увольняют врачей, которые говорили о нехватке ресурсов или делились своими наблюдениями. По мнению многих экспертов, последствия совокупного влияния этих травмирующих факторов будут проявляться еще долго после того, как вирус будет побежден.

Травма часто ассоциируется с чем-то явно насильственным, например с автомобильной аварией или стрельбой. Однако голландский философ Чиаго Айдин (Ciano Audin) считает ситуацию травматичной, если она «насилует» привычные ожидания относительно чьей-то жизни и мира, приводя человека в состояние «крайнего замешательства и неопределенности». Уэнди Дин (Wendy Dean), психиатр и соучредитель некоммерческой организации «Моральная травма у работников здравоохранения» (*Moral Injury of Healthcare*), говорит, что в случае с текущей пандемией длительная неопределенность усугубляется моральными страданиями, с которыми сталкиваются медицинские работники, когда у них нет достаточных ресурсов для лечения тяжелобольных пациентов.

Моральная травма — термин, заимствованный у военных, она возникает, когда человек делает что-то, что идет вразрез с его внутренними моральными убеждениями,

рассказывает Дин. В медицине это может произойти, когда деловая сторона здравоохранения мешает врачу заботиться о пациентах, — например, если аппаратов ИВЛ меньше, чем нуждающихся в них людей. Ричард Холт (Richard Holt), отоларинголог и специалист по биоэтике из Научного центра здоровья Техасского университета в Сан-Антонио, говорит, что врачи не привыкли сортировать больных, чтобы выбрать, кому спасти жизнь, а кому нет. «Нас учили лечить одного пациента за раз, но во время эпидемии в худшем случае приходится думать о том, что будет большим благом для большего числа людей», — говорит Холт. Исследования на солдатах показывают, что моральная травма препятствует нормальному эмоциональному, психологическому и социальному функционированию и часто сопровождается у людей посттравматическим стрессовым расстройством (ПТСР). «Я думаю, что настоящая расплата наступит, когда все это закончится», — говорит Дин.

Эмоциональные потери от COVID-19 трудно рассчитать. Глава Комитета по оценке психических последствий стихийных бедствий Американской психиатрической ассоциации Джошуа Морганштейн (Joshua Morganstein) говорит, что во время экстремальных ситуаций медицинские работники обычно оказывают помощь после того, как непосредственная угроза миновала, и потом могут вернуться домой и расслабиться в конце тяжелого дня. А если вы боитесь принести бедствие на себе домой, то у вас не остается безопасного места. Медицинские работники вместе со всеми борются с социальными и экономическими потрясениями, они подвергаются воздействию того же непрерывного потока ужасных новостей. Некоторые, чтобы справиться с происходящим, отключаются от новостей о коронавирусе. «Надо понять, как выглядела бы наша реакция до появления iPhone, — говорит Сунил Дханд (Suneel Dhand), терапевт, работающий в больницах Массачусетса. —

Меня тревожит, что люди поглощают так много чернушных новостей из социальных сетей».

Джессика Голд (Jessica Gold), психиатр из Медицинской школы Университета Вашингтона в Сент-Луисе, и другие специалисты считают, что у медицинских работников могут развиваться тяжелые формы тревоги, депрессии, проблемы с употреблением психоактивных веществ, острый стресс и в итоге ПТСР из-за пережитого на переднем краю в борьбе с пандемией. Поскольку это небывалое событие, Голд опасается, что психологический ущерб также будет небывалым. Данные, полученные по другим вспышкам, подтверждают эти опасения. Например, в ходе небольшого исследования медицинских работников во время вспышки SARS в 2003 г. выяснилось, что 89% сотрудников с высоким риском заражения вирусом сообщили о неблагоприятных психологических



последствиях. В другом исследовании было показано, что страх перед SARS коррелировал с симптомами ПТСР.

В опросе 1257 врачей и медсестер в разгар пандемии COVID-19 в Китае около 50% респондентов сообщили о симптомах депрессии, 44% о симптомах тревоги и 34% о бессоннице. Голд рассказывает, что медицинские работники изначально уже в группе риска по всем этим нарушениям — врачи входят в группу профессий с самым высоким уровнем самоубийств, и они обычно редко обращаются за помощью. У большинства нет времени или возможности пойти к психотерапевту в течение стандартного рабочего дня с девяти до пяти, и предубеждение, все еще существующее в отношении психологических проблем, заставляет их страдать молча. «У нас никогда не было системы поддержки психического здоровья, которая могла бы достаточно удовлетворить такие потребности у общества, не говоря уж о том, как возрастут эти потребности теперь», — говорит Голд.

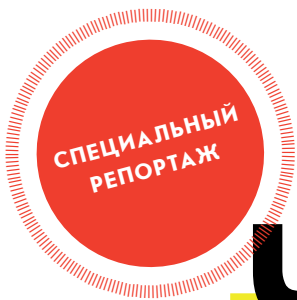
Такие учреждения, как Центр здоровья Университета Северной Каролины, расширили возможности терапии с помощью телемедицины и более гибкого графика и открыли горячую линию поддержки. В Великобритании рабочая группа по реагированию на травмы, связанные с COVID (COVID Trauma Response Working Group), на основе исследований о психологических

травмах руководит проведением профилактических мер. При правильном вмешательстве можно даже улучшить устойчивость. «Некоторые люди обнаружат, что у них повысилась уверенность в том, что они способны справиться с будущим стрессом», — говорит Морганштейн, описывая процесс, который называют посттравматическим ростом.

Голд подчеркивает, что эти усилия — всего лишь начало, расширение психологической поддержки должно быть непрерывным, повсеместным и направленным на решение системных проблем, таких как общенациональная нехватка специалистов в области психического здоровья и нормативные препятствия, ограничивающие возможности телемедицины. Дистанционная психотерапия, приложения для медитации и другие виртуальные медицинские услуги за последние несколько месяцев уже проникли к широким слоям населения, а Голд и другие психотерапевты считают это важнейшим орудием для помощи медицинским работникам.

В городах по всему миру люди, находящиеся в изоляции, каждый вечер собираются у своих окон, чтобы поаплодировать и выразить поддержку работникам жизненно важных сфер общества. Бай рассказывает, что в Нью-Йорке местные рестораны постоянно отправляют еду медикам в больницу и что друзья и посторонние люди присылают сообщения с благодарностями. Бай говорит, что все это оказывает сильную моральную поддержку. На медиков молятся, как на героев, но это лишь немного облегчает им душевную боль. Дин говорит, что медикам, подобно солдатам, возвращающимся с поля боя, понадобится длительная работа с психотерапевтом, чтобы все проработать и исцелиться. Когда острый медицинский кризис закончится, начнется кризис психологический. И к этому надо подготовиться. ■





ЧТО ЧУВСТВУЮТ МЕДИКИ ВРАЧИ НА ПЕРЕДОВОЙ СТАЛИ ЛИЦОМ ПАНДЕМИИ

Интервью провели Джуллиан Мок и Джен Шварц

Медики, работающие на переднем крае, олицетворяют нашу борьбу с пандемией. Они воплощают лучшее в человечестве, выходя лечить тяжелобольных пациентов и бороться с сопутствующим ущербом, возникшим из-за хрупкости американской системы здравоохранения и хаотичной реакции правительства. Журнал *Scientific American* опросил врачей, медсестер и специалистов по респираторной терапии, работающих в больницах по всей стране, как они справляются со страхом, переживают горе и заботятся о своем благополучии. Интервью были проведены в конце марта и начале апреля, когда *COVID-19* стремительно изменял жизнь в США. Эти очерки отражают тот период крайней неопределенности. Они были отредактированы и сокращены.

АНА ДЕЛЬГАДО (ANA DELGADO)

Акушерка и преподаватель

(Сан-Франциско, штат Калифорния)

В самом начале было много разговоров о том, как этот кризис нас всех объединит. И меня потрясло, что на самом деле это не так. Кризис обнажил то, что большинство защитников репродуктивных прав и так знали: неравенство и расизм всегда рядом с нами. Я работаю в окружной больнице. Введение самоизоляции очень тяжело сказалось на моих беременных пациентках, многие из которых жили без документов от зарплаты до зарплаты, а теперь остались безработными. Вчера пациентка пришла и разрыдалась от отчаяния. Я ощущаю чрезвычайную подавленность из-за нищеты.

Есть много несправедливости, о которой мы, медики, знаем, но понимаем, что не можем с этим ничего сделать. Люди называют это выгоранием, но один мой коллега говорит, что это связано с чувством вины, как будто вы делаете что-то неправильно. Большинство людей идут в медицину из-за глубокого желания поддерживать здоровье и благополучие своего общества. А когда вы начинаете работать, когда вы попадаете в эту систему, которая на самом деле не предназначена для улучшения здоровья и благополучия, вы постоянно сталкиваетесь с этим несоответствием. Пандемия еще усугубляет эти проблемы, и это больно видеть. Это не выгорание, это глубокая моральная травма, которую получают люди.

Да, я должна ходить на работу в клинику и контактировать с людьми, которые могут быть COVID-положительными, и это пугает. Но как



акушерка я все еще могу прикасаться к людям, ежедневно быть с ними рядом. Это часть моего противостояния. Я немного сопротивляюсь происходящему сейчас поклонению медицинским работникам как героям. Я хочу, чтобы меня уважали за мою тяжелую работу, но мне кажется, что мятник может качнуться в сторону недоверия и отсутствия поддержки. Такие крайности получают, потому что у нас в стране нет настоящей системы здравоохранения, где появлялись бы медики из своего сообщества, которым доверяют. Если бы такое существовало, сейчас все было бы иначе.



МЭТЬЮ БАЙ (MATTHEW BAI)

Врач отделения неотложной помощи

(Нью-Йорк)

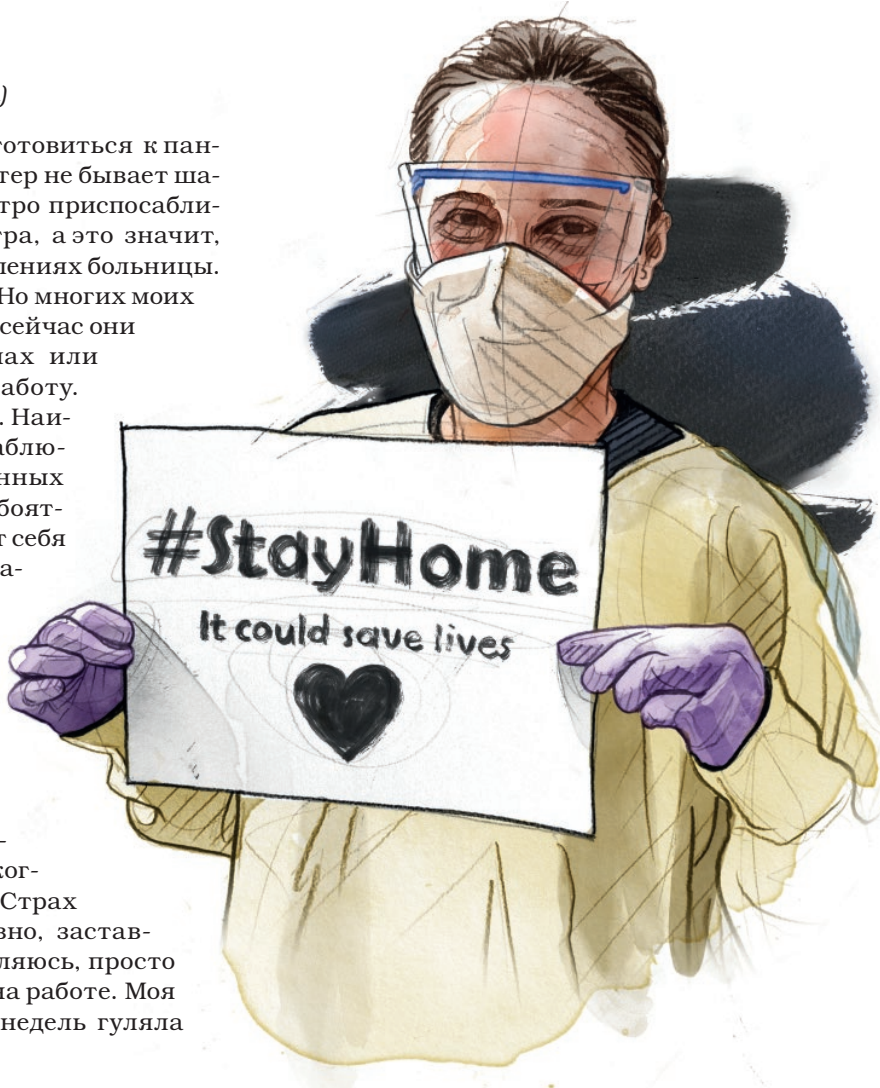
Честно говоря, я понятия не имею, что я чувствую. У меня нет времени все это переварить. Я отправляюсь на работу, а потом иду спать. Работа в службе неотложной помощи в Нью-Йорке, когда пациентов много и надо действовать быстро, вероятно, немного подготовила меня к тому, что происходит сейчас. Но к событию такого масштаба полностью подготовиться невозможно. Все в постоянном движении. Положительная сторона — понимание, насколько гибко все можно организовать в больнице. Я все время встречаю новые лица в приемном отделении — медсестер и врачей из других отделений, даже хирургов, акушеров, и людей, прибывших из другого конца страны. Я постоянно думаю: хватит ли нам ресурсов и удастся ли сохранить персонал здоровым на все время эпидемии?

САРА БРЭДТ (SARAH BRADT)

Замещающая медсестра

(Миннеаполис, штат Миннесота)

Никогда нельзя полностью подготовиться к пандемии. К счастью, работа медсестер не бывает шаблонной, поэтому мы умеем быстро приспосабливаться. Я замещающая медсестра, а это значит, что я работаю почти во всех отделениях больницы. Меня редко пугает что-то новое. Но многих моих коллег перевели в другое место и сейчас они оказались в незнакомых районах или выполняют незнакомую им работу. Это способствует хаосу и стрессу. Наибольшую напряженность я наблюдаю на этажах, недавно отведенных под COVID. Многие сотрудники боятся даже войти в отделение и ведут себя так, как будто любой здесь работающий — нечистый. Пациенты рассказывают, что чувствуют себя обузой. Работающие на этих этажах медсестры учат каждого, кто входит в палату пациента, как правильно надевать и снимать защитную одежду, и я часто сталкивалась с закатыванием глаз и грубыми жестами, когда всего лишь пыталась помочь. Страх перед неизвестностью, безусловно, заставляет людей нервничать. Я справляюсь, просто разрешая себе оставить работу на работе. Моя собака за последние несколько недель гуляла больше, чем за весь год.



ДЖОН БЕРК (JOHN BERK)

Врач легочной реанимации и преподаватель

(Бостон, штат Массачусетс)

Для медиков это действительно психологически сложно. Каждый понимает важность своей работы, но не хочет стать следующей жертвой COVID-19. Вы зажаты между страхом неизвестности и чувством долга. Я и моя жена, тоже врач, пробыли в этой игре дольше, чем хотелось бы, но мы никогда не оказывались в такой ситуации как сейчас, когда действительно страшно взаимодействовать с пациентами. В середине марта я уже три дня дежурил в отделении интенсивной терапии, усиленном в ожидании неминуемой перегрузки, когда было принято решение, что те из нас, кому 60 лет и более, будут отстранены от дежурства в больнице, потому что у нас больше риск умереть от COVID-19. Сейчас мои молодые коллеги взяли на себя огромный объем работы, а у всех у них семьи. Мы ощущаем сильную вину в том, что не вносим свой вклад. Мы, пожилые, сейчас выясняем, как могли бы помочь, чтобы облегчить им работу. Это хороший жест, но это непросто.



**ПАТТИ МАРШАЛЛ ГИЛПИН
(PATTI MARSHALL GILPIN)**

Консультант респираторной терапии

(Луисвилл, штат Кентукки)

Я консультирую пациентов с хроническими заболеваниями легких. Сейчас моя роль кажется немного глупой, мы не можем объяснить людям то, чего мы не понимаем. В худшем случае я вернусь к оказанию неотложной помощи вместе с терапевтами, которые сейчас на передней линии. Читая в социальных сетях о том, что сейчас происходит в Нью-Йорке и в других местах, сложно не испугаться. Идет постоянная скрытая подготовка к возможному наплыву. Придется ли подключать к одному аппарату вентиляции легких сразу несколько человек? Такого нельзя делать! Мы поддерживаем друг друга разговорами о том, как нам, возможно, придется делать неправильные вещи.

Мы видим, как все в здравоохранении работают изо всех сил, импровизируют со снаряжением, добывают информацию. Я наблюдала, как санитары переносят пациентов из одного места в другое, взаимодействуют с ними, они такие оптимистичные, в то время как ощутимый страх охватил всю больницу. Я видела удивительную смелость, когда нужно было делать сердечно-легочную реанимацию одному из этих пациентов и его интубировали без колебаний. Но когда все это кончится? Мои коллеги приходят ко мне в комнату, чтобы выговориться и выплакаться, некоторые говорят о проблемах с развитием тревожности. Когда моя



смена заканчивается, что мне делать с этим грузом, который я таскала с собой весь день, с тем, что случилось сегодня, и с тем, что должно случиться завтра? У этого даже имени нет. А затем вы возвращаетесь домой, но не можете получить обычной социальной поддержки, потому что боитесь заразить своих близких. Самое ужасное — страх, что я могу разнести эту заразу.

РОКСИ ДЖОНСОН (ROXY JOHNSON)

Медсестра отделения неотложной помощи

(Даллас, штат Техас)



В конце марта у меня немного поднялась температура и мне пришлось на несколько дней изолироваться у себя дома, пока не пришел отрицательный результат теста на COVID. Мне было очень тяжело держаться в стороне от моей семьи и особенно от работы, которую я люблю. Это ощущалось как наказание, мне казалось, что я схожу с ума. Признаюсь, я пила больше, чем когда-либо. В начале апреля я решила переселиться в гостиницу, чтобы случайно не принести вирус домой моему мужу и двум детям, поскольку они в свою очередь могли бы передать его моему отцу с ослабленным иммунитетом, который помогает ухаживать за детьми. Для меня самым трудным испытанием оказалась изоляция. До сих пор у меня было зловещее ощущение спокойствия и умиротворения, но недавно я начала чувствовать внутри себя что-то чужое. Я думаю, это из-за разлуки, из-за одиночества, когда надо держаться на расстоянии. Иногда я сажусь в машину, врубаю музыку и просто уезжаю. На прошлой неделе во время такой поездки у меня закончился бензин.



ПОИСКИ ВАКЦИНЫ

**ТОЛЬКО ИСПОЛЬЗУЯ
ГЕННУЮ ИНЖЕНЕРИЮ,
ВОЗМОЖНО СОЗДАТЬ
ЗАЩИТНУЮ ВАКЦИНУ,
ПОТРАТИВ НА ЭТО
НЕ ГОДЫ, А МЕСЯЦЫ**

Чарлз Шмидт

С

амые серьезные опасения Дэна Баруха (Dan Barouch) сбылись 10 января, когда китайские исследователи опубликовали геном загадочного, быстро распространяющегося вируса. Этот геном был похож на геном коронавируса, вызвавшего вспышку SARS в 2003 г., но имел и явные отличия. «Я сразу понял, что иммунитета к нему ни у кого не будет», — рассказывает Барух, директор по вирусологии и исследованию вакцин в Медицинском центре «Бет-Изрейел Диконесс» в Бостоне.



ОБ АВТОРЕ

Чарлз Шмидт (Charles Schmidt) — независимый журналист, живет в Портленде, штат Мэн. Основные темы — здравоохранение и окружающая среда. В *Scientific American* он писал о лечении с помощью вирусов, которые могут заражать вредных бактерий, и об опасном загрязнении питьевой воды.

Уже через несколько дней его лаборатория и десятки других по всему миру начали разрабатывать вакцину, которая, как они надеялись, защитит миллиарды людей от вируса SARS-CoV-2, оказавшегося самым серьезным вызовом мировому здравоохранению и благополучию со времен Второй мировой войны. К началу апреля почти 80 компаний и институтов в 19 странах работали над созданием вакцин, причем большинство использовали методы генной инженерии, а не традиционные подходы, которые уже более 70 лет применяются для создания вакцины против гриппа. Лаборатории прогнозировали, что коммерческая вакцина для использования в экстренных ситуациях или из соображений гуманности появится в начале 2021 г., — это невероятно быстро, учитывая, что обычно требуется лет десять, чтобы разработать и внедрить вакцины против совершенно новых патогенов. Даже вакцине против лихорадки Эбола, создание которой было ускорено, понадобилось пять лет, чтобы дойти до стадии широкомасштабных испытаний. Барух говорит, что если он и его коллеги смогут предложить безопасную эффективную вакцину в течение года, то «это будет самое быстрое создание вакцины в истории».

Однако ключевое слово здесь — «если». Хотя с помощью генной инженерии в лабораториях уже было создано несколько вакцин от других вирусов, ни одна из них не получила коммерческого использования для предотвращения заболеваний человека.

При введении в организм обычной вакцины в клетки рядом с местом инъекции попадают отдельные фрагменты вируса. Иммунная система распознает как угрозу молекулы из этих фрагментов, так называемые

антигены, и реагирует, вырабатывая антитела — молекулы, способные находить вирус в организме и нейтрализовать его. После того как произошла эта генеральная репетиция, иммунная система запоминает, как подавлять возбудителя заболевания, и сможет в дальнейшем остановить инфекцию.

Традиционно вирусы выращивают в куриных яйцах, а в последнее время — в клетках млекопитающих или насекомых, а затем оттуда извлекают нужные фрагменты. Может потребоваться от четырех до шести месяцев, чтобы получить нужные антигены уже известных вирусов, которые меняются каждый год, например вируса гриппа. Для нового патогена может понадобиться много попыток и несколько лет. Для борьбы с вирусом, который уже распространился до масштабов пандемии, это слишком долго.

Вместо этого лаборатории переключились на создание вакцин с помощью генетической инженерии. Ученые используют информацию о геноме вируса, чтобы создать программу для получения определенных антигенов. Данная программа сделана из молекул ДНК или РНК и содержит генетические инструкции. Затем исследователи вводят ДНК или РНК в клетки человека. Клетки используют инструкции для создания вирусных антигенов, на которые реагирует иммунная система. Клетки воспринимают инструкции как нормальную часть своих повседневных процессов. Этим же пользуются и инфекционные вирусы: они не могут размножаться сами по себе, поэтому используют клеточные структуры для создания своих копий. Затем они вырываются из клетки и заражают другие, и таким образом инфекция распространяется.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

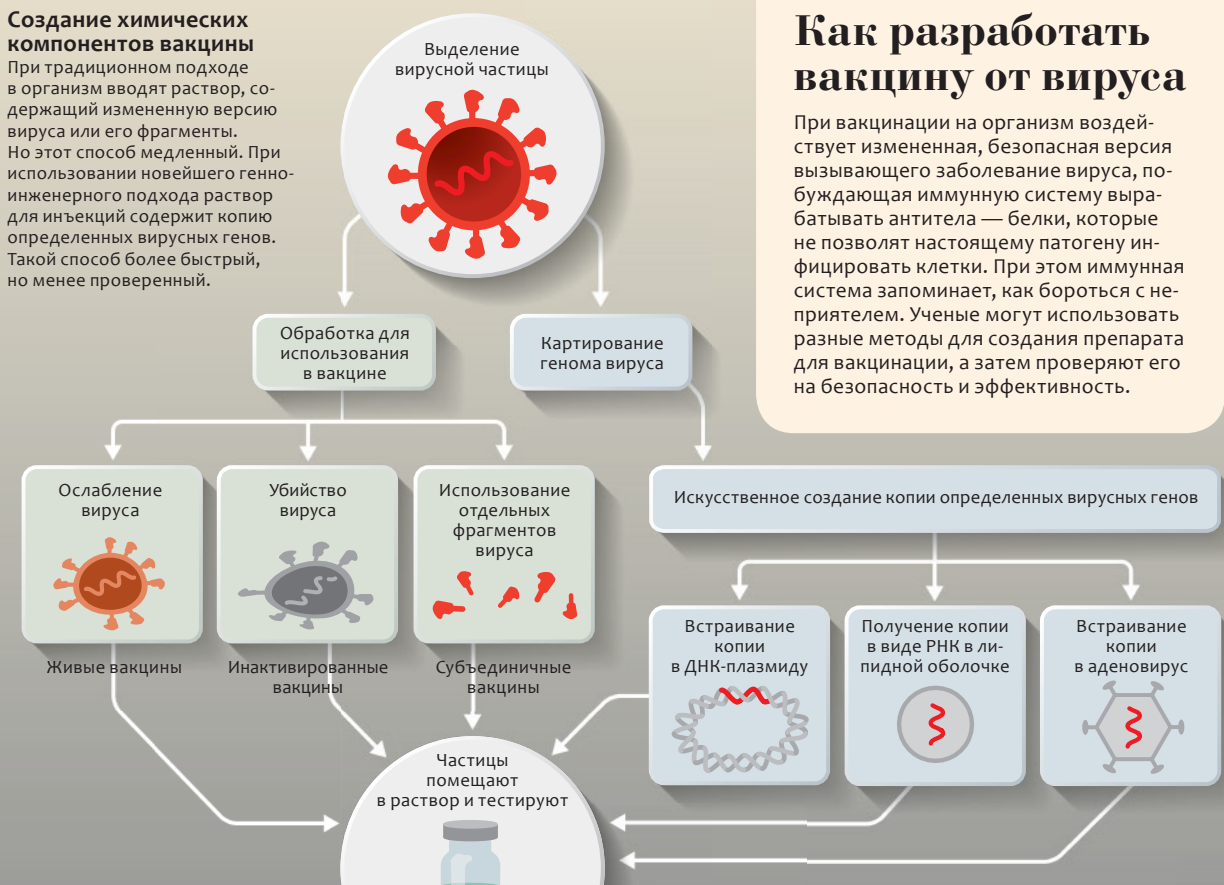
- Для того чтобы быстро создать потенциальные вакцины от COVID-19, исследователи используют генную инженерию, поскольку для традиционных способов могут понадобиться годы.
- Три разных метода с использованием молекул ДНК и РНК приближают испытания на людях, но будут ли вакцины работать и можно ли будет получить миллионы доз — неясно.

Создание химических компонентов вакцины

При традиционном подходе в организм вводят раствор, содержащий измененную версию вируса или его фрагменты. Но этот способ медленный. При использовании новейшего генно-инженерного подхода раствор для инъекций содержит копию определенных вирусных генов. Такой способ более быстрый, но менее проверенный.

Как разработать вакцину от вируса

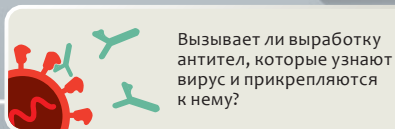
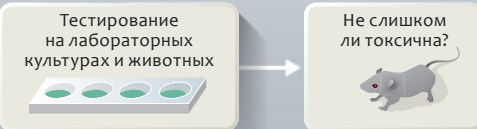
При вакцинации на организм воздействует измененная, безопасная версия вызывающего заболевание вируса, побуждающая иммунную систему вырабатывать антитела — белки, которые не позволяют настоящему патогену инфицировать клетки. При этом иммунная система запоминает, как бороться с неприятелем. Ученые могут использовать разные методы для создания препарата для вакцинации, а затем проверяют его на безопасность и эффективность.



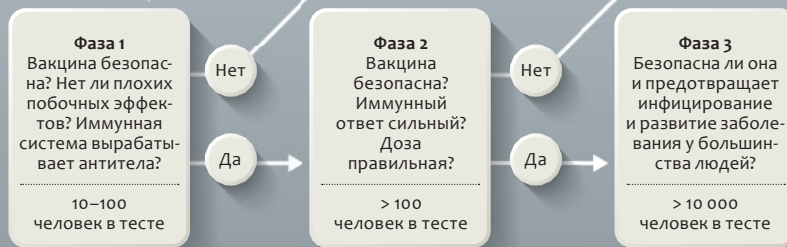
Тесты на животных и людях

Тестирование начинают на культурах клеток и на животных, затем переходят к людям, начиная с небольшой группы и заканчивая десятками тысяч человек. Если вакцина вызывает серьезные побочные эффекты или не происходит выработки антител, или у многих людей не формируется иммунитет, вакцину отбраковывают.

ДОКЛИНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ



КЛИНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ на людях



ПРОИЗВОДСТВО
Успешная вакцина получает одобрение регулирующих органов, производится в большом количестве, затем проверяется ее качество.

В сущности, все лаборатории хотят найти способ научить человеческие клетки вырабатывать антиген, который называется «белок шипа». Он торчит из SARS-CoV-2, как шип из шины. Вирус с его помощью прикрепляется к человеческой клетке и проникает внутрь. Почти все лаборатории используют один из трех способов введения программы для синтеза этого белка. Первый способ — это ДНК-плазида, обычно небольшая кольцевая молекула. Плазида — удобный инструмент, потому что если вирус мутирует,

**Как только
действенность вакцины
подтверждается
на лабораторных
культурах,
ее проверяют
на животных, чтобы
оценить безопасность
и способность вызывать
иммунный ответ. Затем
следует тестирование
на людях — сначала
на небольших группах,
чтобы проверить
безопасность и наличие
побочных эффектов,
а затем с участием все
большего количества
людей, чтобы оценить
ее эффективность**

то исследователи смогут быстро заменить программу на новую. ДНК-плазмидные вакцины были созданы для ветеринарного применения для рыб, собак, свиней и лошадей, но их использование для людей было отложено, в основном из-за того, что они с трудом проходили внутрь сквозь наружную защитную клеточную мембрану. Одним из недавних усовершенствований стало введение вакцины с помощью прибора, который подает короткие электрические воздействия

на клетки рядом с местом инъекции, из-за чего в клеточной мембране открываются поры и плазида может попасть внутрь.

Компания *Inovio Pharmaceuticals*, центральный офис которой расположен рядом с Плимутом, штат Пенсильвания, использует именно способ с ДНК-плазидами. Несколько лет назад они запустили клинические испытания вакцины, нацеленной на белок шипа другого коронавируса, вызывающего ближневосточный респираторный синдром (*MERS*). По словам директора компании Джозефа Кима (Joseph Kim), уровень антител в крови у вакцинированных людей такой же или даже выше, чем у переболевших *MERS*. Компания перепрофилировала свою базу — плазмиду и средства для тестирования — под создание вакцины от SARS-CoV-2.

При использовании ДНК-плазмидной вакцины генетическая информация копируется на РНК, по которой затем синтезируются белковые антигены. Однако ученые могут вместо ДНК-плазмиды вводить инструкции в виде обычной РНК — это второй подход, так называемые РНК-вакцины. Для введения в организм РНК помещают в липидную оболочку. Липиды — молекулы, которые легко могут проникать в клетки. Было показано, что РНК-вакцины способны лучше, чем ДНК-плазмидные, мобилизовать иммунную систему на создание антител. Кроме того, они, по-видимому, вызывают более сильный иммунитет и лучше запоминаются иммунной системой, поэтому достаточно меньшей дозы. Некоторые РНК-вакцины для борьбы с другими вирусами, такими как бешенство, ВИЧ и вирус Зика, находятся на ранней стадии клинических испытаний. Компания *Moderna* в Кеймбридже, штат Массачусетс, использует этот подход для SARS-CoV-2.

По сравнению с ДНК-плазмидными вакцинами РНК-вакцины менее стабильны, в организме их быстро разрушают обычные ферменты. Кроме того, они разрушаются от жары. Как правило, РНК-вакцины надо хранить в замороженном или охлажденном состоянии, это создает трудности с транспортировкой, особенно в бедных странах. ДНК-плазмидные вакцины могут храниться при более высоких температурах.

Барух и его коллеги из компании *Johnson & Johnson* используют третий подход: они вставляют ДНК-инструкции в вирус обычной простуды, так называемый аденовирусный вектор. При введении он заражает клетки человека и высвобождает хранящиеся в нем инструкции. Аденовирусы хорошо

проникают в клетки, но в недавних работах показано, что иммунная система человека легко распознает некоторые аденовирусы и атакует их прежде, чем они смогут пробраться внутрь. Барух использует аденовирус, который, как показывают тесты, обычно не распознается. Некоторые специалисты опасаются, что аденовирус сам по себе может размножиться внутри организма и вызвать заболевание. Чтобы решить эту проблему, группа Баруха использует модифицированный вирус, который не реплицируется, то есть не может создавать свои копии внутри клеток человека, поскольку для репликации ему нужно вещество, которого нет в организме человека. В конце апреля Оксфордский университет начал небольшие испытания на людях другого нереплицирующегося аденовируса.

Как только действенность вакцины подтверждается на лабораторных культурах, ее проверяют на животных, чтобы оценить безопасность и способность вызывать иммунный ответ. Затем следует тестирование на людях — сначала на небольших группах, чтобы проверить безопасность и наличие побочных эффектов, а затем с участием все большего количества людей, чтобы оценить ее эффективность. Проверку ДНК-плазмиды компании *Inovio* на небольшой группе людей начали 6 апреля — всего через три месяца после публикации генома SARS-CoV-2. Компания *Moderna* начала испытания РНК-вакцины на небольшой группе людей еще раньше, 16 марта, а в апреле правительство США пообещало \$483 млн для ускорения массового производства в случае, если испытания пройдут успешно. Лаборатория Баруха разработала прототип аденовирусной вакцины всего за четыре недели. Сейчас сотрудничающая с лабораторией Баруха компания *Johnson & Johnson* тестирует вакцину на мышах, хорьках и макаках-резусах. 30 марта США и компания *Johnson & Johnson* выделили более \$1 млрд на финансирование крупных клинических испытаний на людях, которые должны начаться в сентябре, если тесты на небольшой группе окажутся успешными.

Несмотря на то что времени от начала вспышки до испытаний на небольшой группе прошло значительно меньше, чем потребовалось бы для методов с использованием яиц, нет никаких гарантий, что для расширенных испытаний генно-инженерных вакцин не понадобятся годы. К счастью, SARS-CoV-2, по-видимому, не мутирует так быстро, как грипп, а значит, достаточно

один раз разработать эффективную вакцину — и она сможет обеспечить защиту на длительное время.

Помимо эффективности вакцины, во время испытаний специалисты оценивают, не происходит ли антителизависимого усиления инфекции, не ухудшит ли вакцина течение заболевания COVID-19, вызванного вирусом SARS-CoV-2. У хорьков, получивших в 2004 г. экспериментальную вакцину от SARS, развивалось опасное воспаление. Ким говорит, что у людей, привитых экспериментальной вакциной от SARS, не было усиления инфекции. Но эти препараты так и не прошли крупномасштабных испытаний на людях, поскольку вспышка, во время которой заболело около 8 тыс. человек примерно в 30 странах, закончилась в течение года.

Компании ускоряют разработку вакцины против SARS-CoV-2 в том числе и за счет тестирования одновременно на нескольких видах животных и на небольшом количестве людей. Обычно в одном испытании используют один вид животного, а на людях проверяют позже, чтобы убедиться в том, что побочные эффекты невелики, иммунный ответ сильный, а болезнь действительно побеждена. В данном случае из-за недостатка времени приходится идти на больший риск.

Для того чтобы защитить планету от COVID-19, потребуются огромные производственные мощности. ДНК-плазмиды и РНК-вакцины никогда не создавались в количестве миллионов доз, маленькие компании вроде *Inovio* и *Moderna* не имеют таких возможностей. По словам Баруха, для создания вакцины на основе аденовируса сначала понадобится много времени, но если ее эффективность будет подтверждена, то производство можно будет быстро расширить. Компания *Johnson & Johnson* использовала аденовирус для создания миллионов доз вакцины против Эболы, которая сейчас широко тестируется на людях. Несколько групп изучают другие ДНК-технологии, для которых может потребоваться больше времени.

По словам вирусолога и специалиста по коронавирусу из Университета штата Аризона Бренды Хог (Brenda Hogue), пока ни один из вариантов вакцины нельзя считать явным фаворитом. Но ее обнадеживают как скорость работы генетиков, так и количество компаний, которые поддерживают эту работу. «Я настроена позитивно», — говорит исследовательница. ■



СПЕЦИАЛЬНЫЙ
РЕПОРТАЖ

ЧТО БУДЕТ ДАЛЬШЕ

ГЛЯДЯ НА КРУПНЫЕ ВСПЫШКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ В ПРОШЛОМ, МОЖНО ПРЕДПОЛОЖИТЬ, КАК ЗАВЕРШИТСЯ COVID-19

Лидия Дэнуорт

Мы знаем, как началась пандемия *COVID-19*: в Китае, рядом с Уханем, у летучих мышей были разные штаммы коронавируса, и предположительно прошлой осенью один из них, достаточно приспособленный, чтобы пересечь видовой барьер, покинул своего хозяина и оказался в человеке. А затем он начал распространяться между людьми.

Однако пока никто не знает, как закончится эта пандемия. Коронавирус уникальным образом сочетает легкость передачи,

ширину спектра симптомов от их полного отсутствия до смерти и интенсивность своего влияния на мир. Из-за высокой восприимчивости населения количество случаев растет почти экспоненциально. «Это особая и совершенно новая ситуация», — говорит специалист по эпидемиологии и эволюционной биологии Сара Коби (Sarah Cobey) из Чикагского университета.

Прошлые пандемии могут подсказать, чего ждать в будущем. Хотя точного

ОБ АВТОРЕ

Лидия Дэнуорт (Lydia Denworth) живет в Бруклине и занимается популяризацией науки. Она пишущий редактор *Scientific American* и автор книги «Дружба: эволюция, биология и необычайная сила фундаментальной связи жизни» (*Friendship: The Evolution, Biology, and Extraordinary Power of Life's Fundamental Bond*, 2020).

исторического примера нет, за прошедшие 100 лет человечество пережило несколько разных крупных эпидемий, которые в итоге прекратили свою разрушительную деятельность. Способы их завершения могут послужить образцом для мира, который ищет возможности восстановить здоровье и некоторое ощущение нормальности. Коби и другие специалисты говорят, что на примере трех из них можно судить, что дальнейшие события будут зависеть от эволюции патогена и от реакции людей, причем как биологической, так и социальной.

Проблема распространения

Вирусы постоянно мутируют. Вирусы, вызывающие пандемии, должны обладать достаточной новизной, чтобы иммунная система человека не успела быстро распознать в них опасные захватчиков. Они заставляют организм создавать совершенно новую защиту, в том числе новые антитела, и изменять другие компоненты иммунной системы, которые могут реагировать и атаковать неприятеля. За короткий промежуток времени заболевает большое количество людей, и такие социальные факторы, как скученность и отсутствие доступа к медицинской помощи, могут еще увеличить их число. В итоге в большинстве случаев в зараженной популяции накапливается достаточное количество людей, которым иммунная система обеспечила долгосрочный иммунитет за счет выработки антител для борьбы с патогеном, и передача от человека к человеку останавливается. Но на это может потребоваться несколько лет, в течение которых мир будет охвачен хаосом.

УЧИМСЯ ЖИТЬ С БОЛЕЗНЬЮ. Самый известный пример такой ситуации в современной истории — вспышка гриппа *H1N1* в 1918–1919 гг. Врачи и медицинские чиновники имели тогда гораздо меньше возможностей, чем сейчас, и эффективность

таких мер контроля, как закрытие школ, зависела от того, насколько быстро и решительно это делалось. В течение двух лет и трех волн эпидемии заболело 500 млн и умерло 50–100 млн человек. Все закончилось, только когда естественным образом сформировался групповой иммунитет за счет переболевших.

Грипп, вызванный штаммом *H1N1*, стал обычным инфекционным заболеванием, которое в более мягкой форме постоянно оставалось с нами в качестве сезонного гриппа в течение последующих 40 лет. Чтобы истребить штамм 1918 г., понадобилась другая пандемия — в 1957 г., которая была вызвана вирусом *H2N2*. Фактически один вирус гриппа уничтожил другой, причем ученые на самом деле не понимают почему. Когда люди пытались это сделать, у них не получилось. «Природа это может, а мы нет», — говорит вирусолог Флориан Краммер (Florian Kramer) из Медицинской школы Айкана при Медицинском центре «Маунт-Синай» в Нью-Йорке.

СДЕРЖИВАНИЕ. Эпидемия тяжелого острого респираторного синдрома (SARS) в 2003 г. была вызвана не вирусом гриппа, а коронавирусом SARS-CoV, близкородственным ответственному за нынешнюю эпидемию SARS-CoV-2. Среди семи известных коронавирусов человека четыре широко распространены и вызывают примерно третью часть всех простудных заболеваний. Но тот, который вызвал вспышку SARS, был гораздо более опасным. Благодаря решительной эпидемиологической тактике, в частности изоляции больных, карантину для контактных лиц и осуществлению социального контроля, опасные вспышки произошли всего в нескольких местах, например в Гонконге и Торонто. Такое сдерживание стало возможно потому, что после заражения заболевание проявлялось очень быстро и явно: абсолютно у всех людей с вирусом были серьезные симптомы, такие как повышенная температура

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Текущую вспышку, скорее всего, удастся остановить тем же способом, что и предыдущие: с помощью социального контроля, лекарств и вакцины.

и затрудненное дыхание. И они могли передать вирус только после того, как совсем заболели, не ранее. «Большинство пациентов с SARS не были достаточно заразными в течение первой недели после появления симптомов, — говорит эпидемиолог Бенджамин Коулинг (Benjamin Cowling) из Гонконгского университета. — Если в течение этой недели их удавалось выявить и изолировать там, где хорошо контролировалось распространение инфекции, дальнейшей передачи вируса не происходило». Сдерживание работало настолько эффективно, что во всем мире было всего 8098 случаев SARS и 774 человека умерли. С 2004 г. в мире не было ни одного эпизода этого заболевания.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАКЦИНЫ. По словам Коулинга, когда в 2009 г. пандемию вызвал новый вирус гриппа H1N1, который также называют свиным гриппом, это стало тревожным сигналом, потому что это был совершенно новый H1N1 и он был очень похож на убийцу из 1918 г. Свиной грипп оказался не таким страшным, как боялись. Краммер говорит в частности: «Нам повезло, что патогенность вируса была не очень высокой». Но еще одним важным обстоятельством было создание вакцины в течение шести месяцев после появления вируса.

В отличие от вакцин против кори или оспы, обеспечивающих длительный иммунитет, вакцина от гриппа дает защиту лишь на несколько лет. Вирусы гриппа ловкие, они быстро мутируют и ускользают от иммунитета. В результате вакцины надо обновлять каждый год и регулярно прививаться. Но во время пандемии даже краткосрочная вакцина — благо. Зимой 2009 г. вакцина помогла сбить вторую волну заболеваний. В итоге вирус значительно быстрее прошел путь вируса 1918 г., став широко распространенным сезонным гриппом, от которого многие люди сейчас защищены либо прививками, либо антителами после предыдущего заражения.

Окончание текущей эпидемии

Прогнозы того, что будет происходить дальше с COVID-19, полностью умозрительны, но в завершающем этапе, скорее всего, будет участвовать все то, что помогало остановить предыдущие пандемии: сохранение мер социального контроля, чтобы выиграть время, новые противовирусные препараты для облегчения симптомов и вакцина. Точный рецепт, например, как долго должны действовать такие меры контроля, как социальное дистанцирование, во многом зависит от того, насколько строго люди соблюдают правила и насколько эффективно реагируют правительства. Например, меры сдерживания, которые сработали для COVID-19 в таких местах, как Гонконг и Южная

Корея, были слишком поздно введены в Европе и США. «То, как разворачивается эта пандемия, как минимум на 50% зависит от социальных и политических факторов», — говорит Коби.

Вторая половина, вероятно, зависит от науки. Сегодня, как никогда раньше, исследователи объединились и работают на многих фронтах, чтобы найти лечение. Если какие-нибудь из нескольких разрабатываемых сейчас противовирусных препаратов окажутся эффективными, появится больше возможностей для лечения и меньше людей будет болеть серьезно и умирать. Может оказаться весьма полезным и выявление антител к SARS-CoV-2, которое покажет наличие иммунитета у выздоровевших пациентов. Краммер с коллегами разработали один из таких тестов, кроме того, существуют и другие. Подобные серологические анализы раньше использовались только для локальных эпидемий, они не помогут прекратить пандемию, но позволят выявить кровь с большим количеством антител и использовать ее для лечения тяжелобольных пациентов. Кроме того, эти тесты позволят быстрее вернуться к работе, если удастся определить тех, кто уже столкнулся с вирусом и выработал иммунитет.

Для того чтобы прекратить передачу инфекции, нужна вакцина. На это потребуется время, может быть год. Однако есть основания надеяться, что вакцина будет эффективна. По сравнению с вирусом гриппа у коронавирусов не так много способов взаимодействия с клетками хозяина. «Если это взаимодействие перекрыть, вирус больше не сможет размножаться, — говорит Краммер. — И для нас это хорошо». Неясно, будет ли вакцина обеспечивать долговременный иммунитет, как при кори, или кратковременный, как при прививках от гриппа. Но, по словам эпидемиолога Обри Гордона (Aubree Gordon) из Мичиганского университета, на данном этапе будет полезна любая вакцина.

Пока вакцина не будет введена тем из почти 8 млрд жителей планеты, которые пока не переболели, COVID-19, вероятно, останется с нами. Он будет циркулировать среди населения, люди будут заболеть сезонно и иногда очень тяжело. Но если вирус задержится в человеческой популяции достаточно надолго, дети переболеют им в раннем возрасте. Такие случаи, как правило, хотя и не всегда, проходят достаточно легко, и пока похоже на то, что, переболев в детстве, люди менее вероятно будут болеть серьезно во взрослом возрасте. Большинство из нас будут защищены за счет сочетания вакцинации и естественного иммунитета. Коронавирус, как и большинство вирусов, будет жить и дальше, но уже не как чума планетарных масштабов. ■

Перевод: М.С. Багоцкая



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



ВНУТРИ КОРОНАВИРУСА

ЧТО ИЗВЕСТНО ОБ «ИНТИМНОЙ ЖИЗНИ» ПАТОГЕНА, ПОРАЗИВШЕГО ЖИТЕЛЕЙ ВСЕГО ЗЕМНОГО ШАРА

Марк Фишетти

Многие тайны новейшего коронавируса и вызываемого им заболевания — COVID-19 — еще не разгаданы, однако ученым удалось за очень короткое время узнать о них невероятно много.

На нашей планете насчитываются тысячи видов коронавирусов. Четыре из них вызывают обычные простудные заболевания. Два других уже стали причиной вспышек серьезных инфекций: в 2002 г. это был тяжелый острый респираторный синдром (SARS), унесший жизни около 800 людей по всему земному шару, в 2012 г. — ближневосточный респираторный синдром (MERS), жертвами которого стали около 900 человек. Вспышка SARS длилась примерно год, MERS медленно затухает только сейчас.

Новейшая разновидность коронавируса, SARS-CoV-2, породила не локальную вспышку, а пандемию, отчасти потому, что вирус, заразивший какого-то одного человека, может долгое время никак себя не проявлять. Человек, инфицированный SARS-коронавирусом, обычно способен передать его другому человеку только спустя 24–36 часов после появления симптомов — лихорадки и сухого кашля, и больного можно изолировать прежде, чем он заразит других. Но пациенты с COVID-19, как правило, передают патоген еще до того, как он себя проявит. Чувствуя себя совершенно здоровым, инфицированный мужчина или женщина ведет обычный

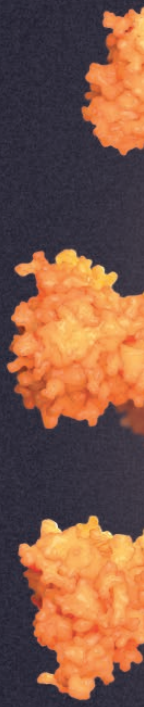
образ жизни — ходит на работу, общается с коллегами и друзьями, посещает магазины, кафе, рестораны, кинотеатры, летает в другие страны. Вирус долго остается незамеченным в организме инфицированного потому, что синтезирует белки, блокирующие сигнальный механизм иммунной системы, а тем временем он проникает в клетки легких и начинает в них размножаться. Когда иммунная система наконец получает сигнал тревоги, она начинает наवरстывать упущенное и уничтожает не только инфицированные клетки, но и совершенно свободные от патогена.

Инфографика, следующая за этим вступительным текстом, иллюстрирует детали поведения SARS-CoV-2: его проникновение в клетки человека, размножение, выход образовавшихся вирусных частиц наружу — в межклеточное пространство и в окружающую среду вместе с выдыхаемым воздухом, заражение других клеток. Вы увидите, как иммунная система пытается нейтрализовать вирусные частицы и как CoV-2 блокирует эти попытки. Мы расскажем о некоторых удивительных особенностях вируса, например о его способности исправлять ошибки в геноме новообразованных частиц, если эти ошибки чувствительны для патогена. Не останутся в стороне и вопросы медицинского характера — поиски лекарственных средств и получение вакцин.

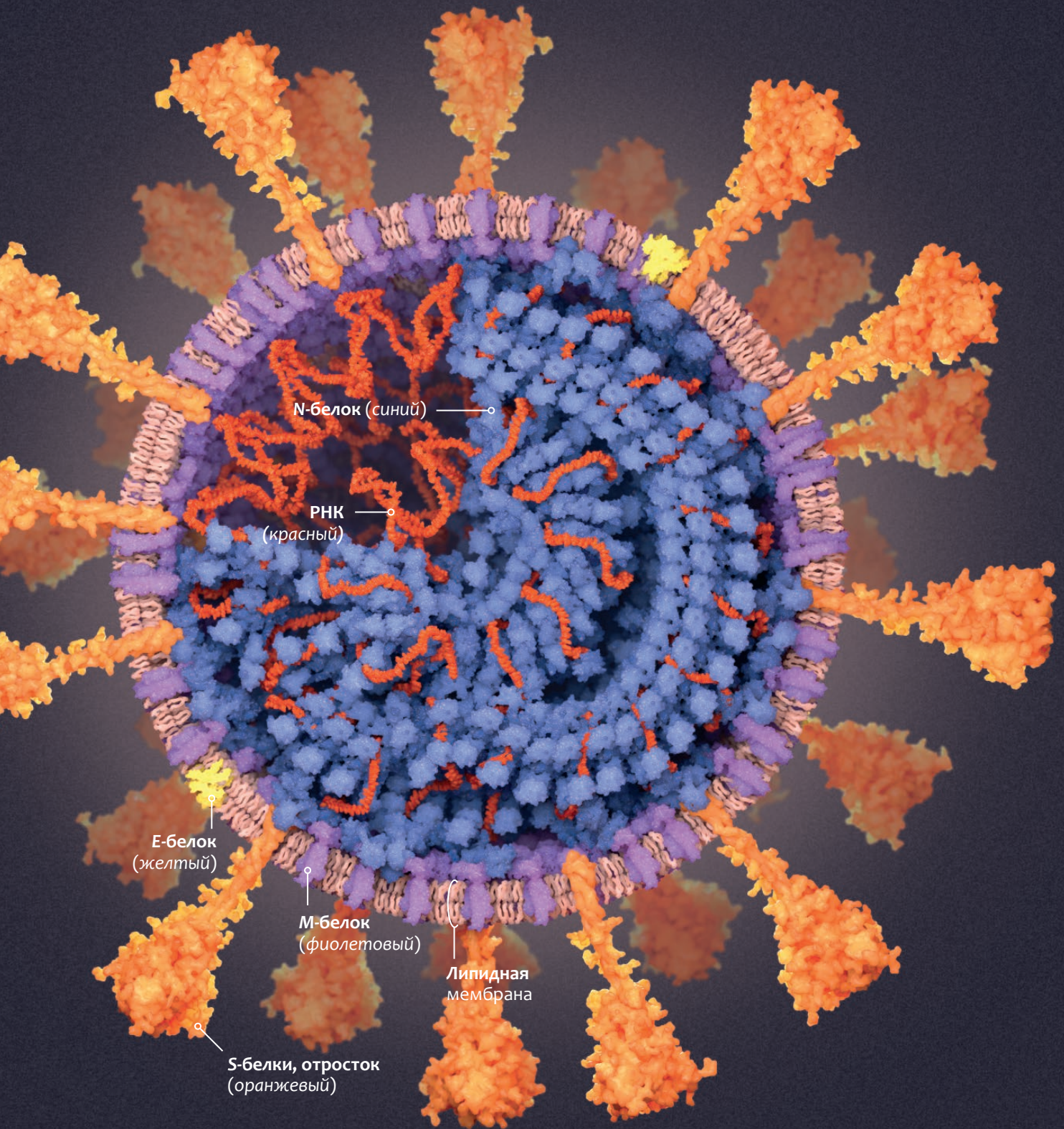
Все новейшие достижения вирусологов в деле изучения особенностей SARS-CoV-2 найдут отражение на нашем веб-сайте (www.scientificamerican.com). Чем больше мы будем знать об этом вирусе, тем скорее найдем противоядие. ■

Генная машина

Вирус SARS-CoV-2 попадает в тело человека через нос или рот. Этот крошечный организм диаметром примерно 100 нм различим только с помощью электронного микроскопа. Его генетический материал, единственная молекула одноцепочечной РНК, окружен защитной белково-липидной оболочкой. Из нее выступают отростки, состоящие из S-белков; с их помощью вирус прикрепляется к клетке-хозяину и попадает внутрь. Отростки напоминают зубцы короны — отсюда и название вируса. N, M и E — структурные белки; одни из них стабилизируют молекулу РНК, другие входят в состав защитной оболочки.



SOURCE: LORENZO CASALINO, ZIED GAIEB AND ROMME AMARO, UCL, SAN DIEGO (Spike model with glycosylations)



N-белок (синий)

РНК
(красный)

E-белок
(желтый)

M-белок
(фиолетовый)

Липидная
мембрана

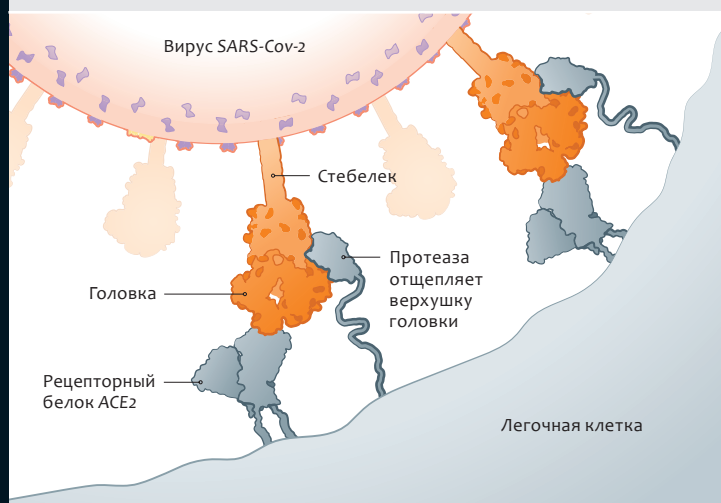
S-белки, отросток
(оранжевый)

Проникновение вируса в клетку и иммунный ответ

Вирус SARS-Cov-2 попадает в организм человека через рот или нос и путешествует по дыхательным путям, пока не осядет на слизистой легких. Здесь он связывается с рецептором ACE2 на поверхности легочной клетки, проникает внутрь нее и реплицируется, используя для этого соответствующие механизмы клетки-хозяина. Под напором новых вирусных частиц инфицированная клетка лопается, частицы выходят наружу и заражают другие клетки. Последние посылают иммунной системе сигнал тревоги, чтобы она приняла меры к нейтрализации или уничтожению патогена, но вирусы могут блокировать этот сигнал, выигрывая время и размножаясь до появления симптомов.

1 Связывание с легочной клеткой

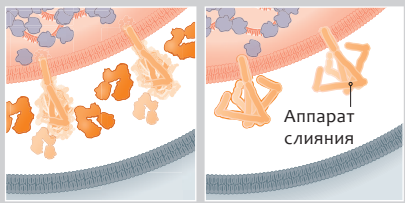
После связывания вирусной частицы с ACE2-рецептором фермент протеаза отщепляет верхушку отростка. Это запускает процесс слияния оболочки коронавируса с клеточной мембраной. Обычно ACE2 участвует в регуляции артериального давления.



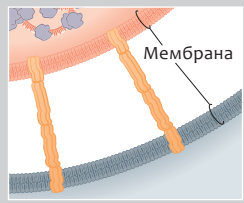
2 Проникновение внутрь клетки

Оболочка вируса и мембрана легочной клетки сливаются, и вирусная РНК — генетический материал патогена — проходит в клетку-хозяина.

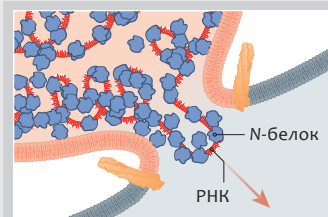
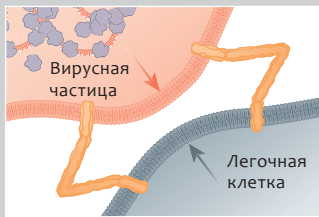
Отщепление верхушки головки запускает процесс слияния



Аппарат слияния встраивается в мембрану...



...и сближает вирусную частицу с легочной клеткой

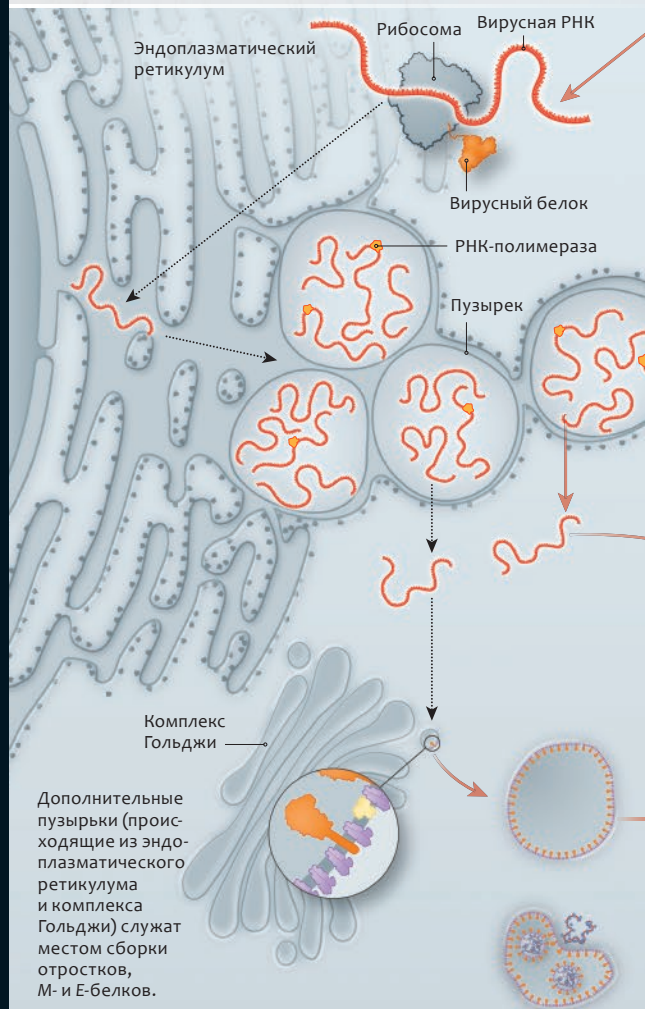


Через образовавшийся канал РНК вместе с N-белком проходят в клетку

Спустя 10 минут

3 Репликация

Рибосомы клетки-хозяина, руководствуясь инструкциями, которые заложены в генах вирусной РНК, синтезируют белки (этот процесс называется трансляцией). Некоторые из этих белков образуют в клеточной органелле под названием «эндоплазматический ретикулум» пузырьки, играющие защитную роль. Внутри них с помощью вирусной РНК-полимеразы происходит репликация РНК вируса. Одни РНК-копии служат матрицами для синтеза вирусных белков, например тех, которые образуют выросты, другие упаковываются в новые вирусные частицы.



Дополнительные пузырьки (происходящие из эндоплазматического ретикулума и комплекса Гольджи) служат местом сборки отростков, М- и Е-белков.

4 Прорыв

Пузырьки с новыми вирусными частицами отшнуровываются от клеточной мембраны, и их содержимое выходит наружу. Из одной легочной клетки могут высвободиться тысячи вирусных частиц. Сама клетка либо погибает, либо ее уничтожает иммунная система. Часть высвободившихся вирусов заражают другие клетки, часть выходят в окружающую среду с выдыхаемым воздухом.



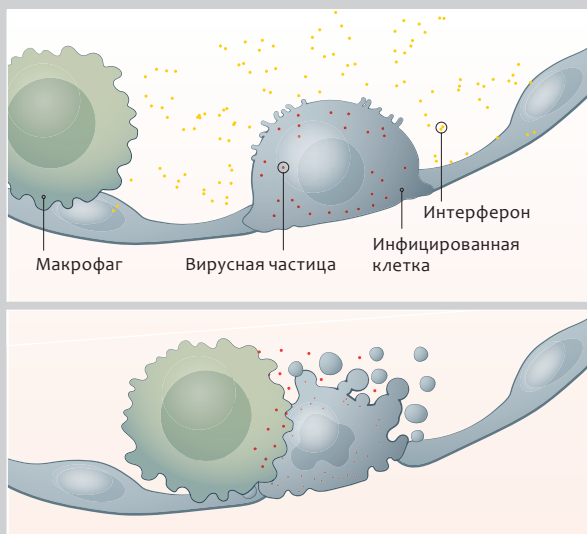
Спустя 10 часов



5 Ответ иммунной системы

Система врожденного иммунитета пытается остановить инфекционный процесс в самом начале. Более мощную защиту обеспечивает система приобретенного (адаптивного) иммунитета.

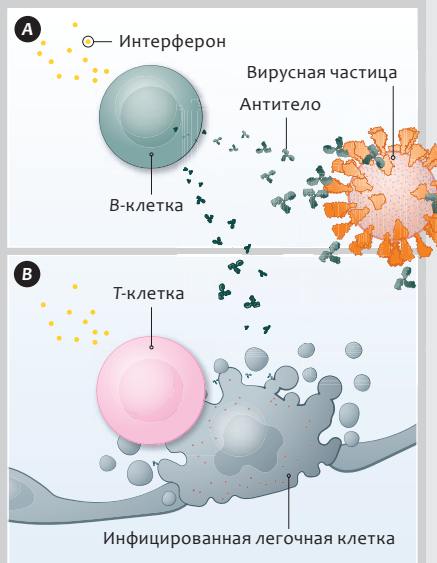
СИСТЕМА ВРОЖДЕННОГО ИММУНИТЕТА. Зараженная клетка высвобождает белки интерфероны, побуждающие близлежащие клетки к синтезу специфических молекул, препятствующих проникновению вирусных частиц в клетки или блокирующих их репликацию. Кроме того, интерфероны мобилизуют особого рода лейкоциты, называемые макрофагами. Они циркулируют в крови человека и поглощают инфицированные клетки.



Спустя 0–3 суток

СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ИММУНИТЕТА.

Интерфероны предупреждают об опасности В-клетки, начинающие вырабатывать специфические антитела. Они распознают особые белки отростков и связываются с ними (А), блокируя присоединение вирусных частиц к легочным клеткам. Интерфероны мобилизуют Т-клетки, уничтожающие вирусы и зараженные ими клетки еще до того, как размножившийся в них патоген выйдет наружу (В). Некоторые из этих В- и Т-клеток приобретают память на события и начинают действовать сразу же после повторного заражения.

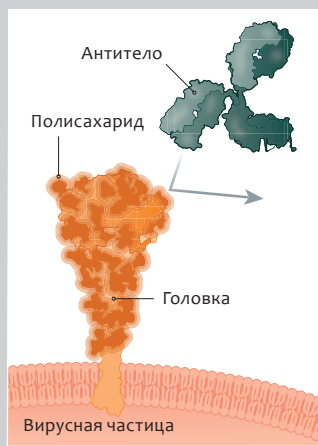


Спустя 6–11 суток

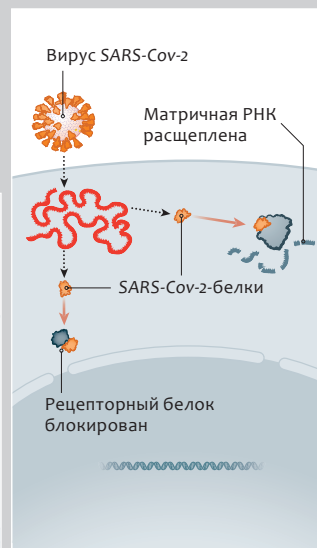
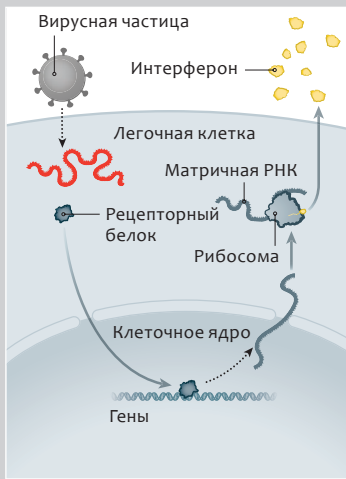
6 Вирусные контрмеры

SARS-Cov-2 блокирует иммунный ответ различными способами.

Отростки могут использовать для маскировки молекулы полисахаридов. Они деформируют эти выступающие из вирусной оболочки структуры, так что антитела не могут с ними связаться.



В норме рецепторные белки идентифицируют вирусные частицы как чужеродные агенты и посылают сигнал клеткам организма о включении генов, отвечающих за синтез специфических матричных РНК. На рибосомах эти РНК транслируются в белки интерфероны, стимулирующие клетки иммунной системы.



Полагают, что некоторые SARS-Cov-2-белки блокируют рецепторы и те не могут послать клеткам организма-хозяина соответствующий сигнал.

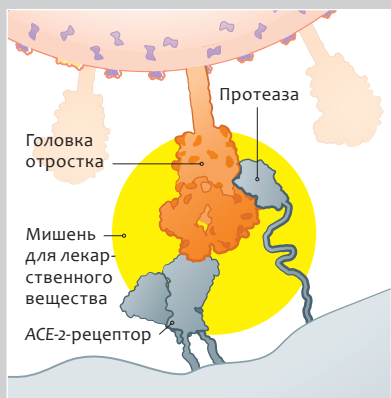
Лекарства и вакцины

Частные фирмы и государственные лаборатории тестируют свыше 100 лекарственных веществ на способность одержать верх над COVID-19, заболеванием, которое вызывает вирус SARS-Cov-2. Вообще говоря, ученые не рассчитывают на то, что им удастся найти вещество, которое уничтожило бы вирус напрямую. Предмет их поисков должен воздействовать на него таким образом, чтобы иммунная система организма сама справилась с инфекцией. Искомый препарат мог бы либо препятствовать присоединению вирусных частиц к клеткам органов дыхания, либо блокировать процесс репликации, если вирус все-таки проник в клетку организма-хозяина, либо подавлять избыточный иммунный ответ, провоцирующий губительные для больного симптомы. Задача противовирусных вакцин — подготовка иммунной системы к немедленной реакции на проникновение патогена.

КАК РАБОТАЮТ ЛЕКАРСТВА

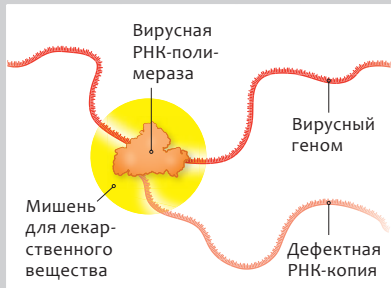
Блокирование проникновения вируса в клетку

Лекарственное вещество или обладающее терапевтическим эффектом антитело может связаться с белками отростка, исключив их взаимодействие с ACE-2-рецепторами легочных клеток. Препарат может также присоединиться к ферменту протеазе, лишив ее возможности отщеплению белков головки; в результате вирусная оболочка не сможет слиться с клеточной мембраной.



Закрепление ошибок в геноме вируса

Еще одна возможность — взаимодействие с вирусной РНК-полимеразой, которая вместе с ферментом EoN закрепляет ошибки, возникающие в геноме вируса при репликации. Это увеличивает число нежизнеспособных вирусных частиц, и инфекционный процесс блокируется.



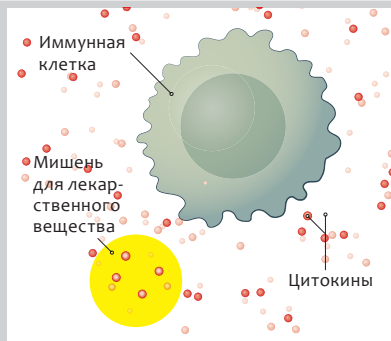
Предотвращение репликации вируса

Лекарство может влиять на белки легочных клеток, необходимые для синтеза вирусных белков или образования пузырьков, внутри которых происходит репликация вируса.



Подавление нежелательного иммунного ответа

Гиперпродукция сигнальных молекул — цитокинов — может гиперактивировать иммунную систему. В результате она разрушает слишком много легочных клеток, что приводит к образованию большого количества слизи, делающей работу легких невозможной. Лекарственные вещества могли бы связываться с цитокинами и инактивировать их.

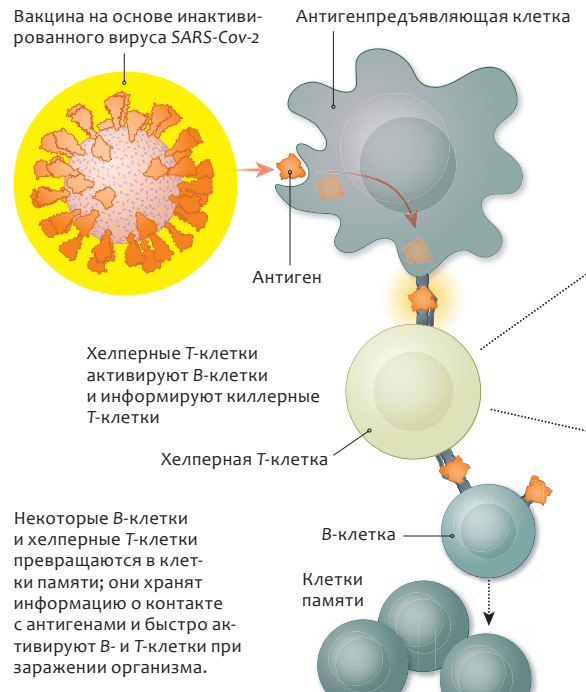


КАК РАБОТАЮТ ВАКЦИНЫ

Вакцинация обеспечивает взаимодействие инактивированных вирусных частиц и клеток иммунной системы, в результате чего последняя приобретает опыт выработки антител, которые начинают синтезироваться в организме сразу после того, как произойдет инфицирование таким же, но активным патогеном.

Образование антител

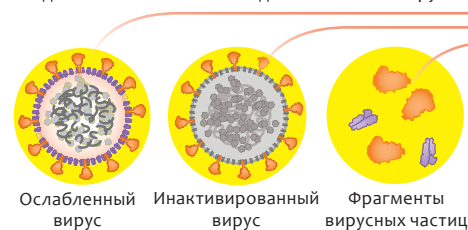
Видоизмененные определенным образом вирусные частицы (основа вакцины) содержат на своей поверхности специфические молекулы — антигены, точно такие же, как у исходного вируса. Антигенпредъявляющие клетки захватывают их и передают хелперным Т-клеткам и В-клеткам. Т-клетки побуждают В-клетки к синтезу антител, которые связываются с антигенами вируса, вызвавшего инфекцию. Кроме того, хелперные Т-клетки информируют другие Т-клетки, называемые киллерными, о необходимости разрушения инфицированных легочных клеток.



Способы получения вакцин

Известны по крайней мере шесть способов получения вакцин.

Введение в тело человека видоизмененного вируса.

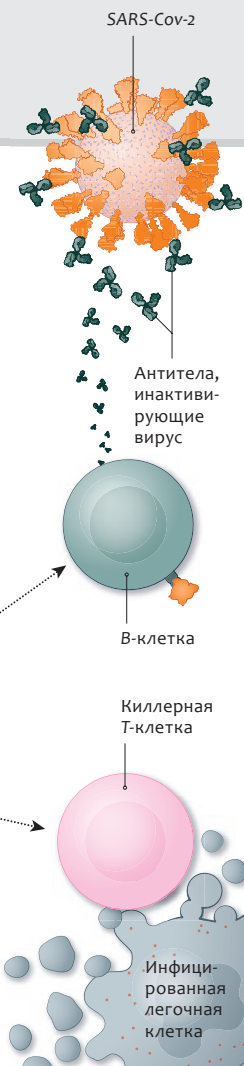


Встраивание вирусных генов, например таких, которые кодируют белки отростков, в молекулу ДНК либо РНК или включение их в инактивированную вирусную частицу и инъектирование пациенту.



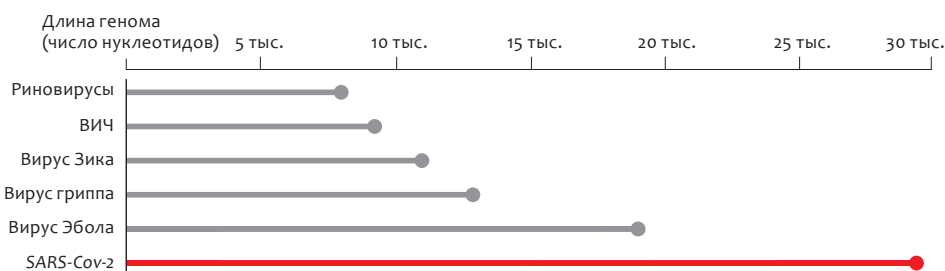
Удивительный геном коронавируса

Геном SARS-Cov-2 представлен одноцепочечной РНК длиной примерно 29,9 тыс. нуклеотидов — величина, максимальная для известных РНК-содержащих вирусов. Так, геном вируса гриппа состоит из 13,5 тыс. нуклеотидов, а геном риновирусов, вызывающих обычную простуду, — из 8 тыс. (Нуклеотиды — это мономерные звенья цепочек РНК и ДНК.) При репликации такого крупного генома может происходить множество мутаций, которые могли бы ослабить вирус, но его система редактирования устраняет ошибки. Подобный механизм контроля качества обычен для клеток человека и ДНК-содержащих вирусов, но для РНК-вирусов совершенно нетипичен. В геноме SARS-Cov-2 присутствуют гены, чья функция до конца не установлена. Возможно, какие-то из них отвечают за способность вируса отражать атаки иммунной системы инфицированного человека.

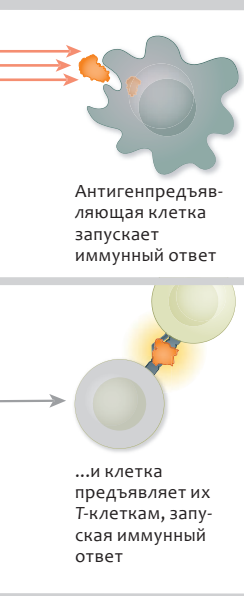
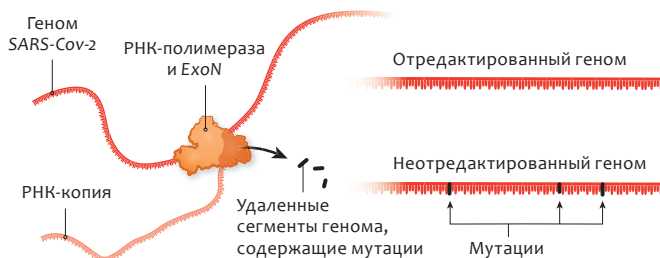


РЕДАКТИРОВАНИЕ

В геноме SARS-Cov-2 заключено огромное количество информации, что позволяет вирусу синтезировать больше разнообразных белков и, возможно, использовать более изощренную стратегию репликации, чем у других РНК-вирусов. Так, он синтезирует фермент экзонуклеазу (ExoN), участвующий в исправлении ошибок, возникающих при репликации. Этот фермент присутствует только у вирусов с геномом длиннее 20 тыс. нуклеотидов.

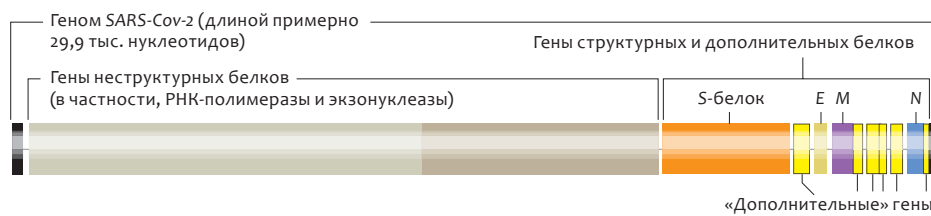


Как только SARS-Cov-2 попадает в легочную клетку, фермент РНК-полимераза начинает копировать его геном, а другой фермент, ExoN, исправляет в новосинтезированных РНК возникшие при репликации ошибки.



«ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ» ГЕНЫ

Короткие сегменты геномной РНК с неустановленными функциями входят в кластер генов структурных белков. Возможно, некоторые из них кодируют белки, участвующие в отражении атак иммунной системы организма.



Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Coronaviruses 101: Focus on Molecular Virology. Video lecture by Britt Glaunsinger on YouTube. Posted March 25, 2020.
- Science Forum: SARS-CoV-2 (COVID-19) By the Numbers. Yinon M. Bar-On et al. in eLife, March 31, 2020 <https://bit.ly/2WOeN64>

СПЕЦИАЛЬНЫЙ
РЕПОРТАЖ

КРУПНЕЙШИЙ ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

ПАНДЕМИЯ
ПОКАЗАЛА,
КАК ЛЮДИ
РЕАГИРУЮТ
НА НЕВЗГОДЫ

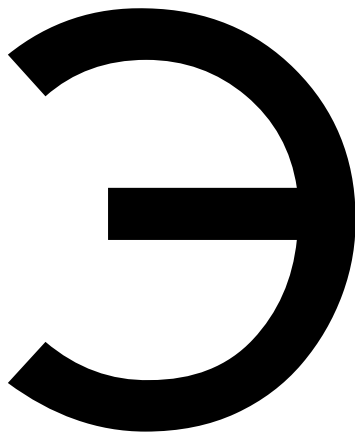
Лидия Дэнурт



Бернелл Грир,
возглавляющая
корпорацию
общинного развития
в нью-йоркском
Бруклине, помогает
чернокожим людям,
пострадавшим
от пандемии

ОБ АВТОРЕ

Лидия Дэнурт (Lydia Denworth) — пишущий редактор *Scientific American*, живет в Бруклине и занимается популяризацией науки.



Эпидемия *COVID-19* оказала чрезвычайно сильное влияние на психическое здоровье людей во всем мире. К середине мая она распространилась более чем по 180 странам, было зарегистрировано свыше 4 млн случаев. Последствия пандемии для психического здоровья могут быть еще серьезнее. В какой-то момент примерно треть населения планеты получила приказ не выходить из дома. Это означало, что 2,6 млрд людей, а это больше, чем жило на земле во время Второй мировой войны, испытали эмоциональные и финансовые последствия нового коронавируса. «Это [локдаун] — возможно, крупнейший психологический эксперимент из всех, когда-либо проводившихся», — пишет медицинский психолог Эльке Ван Хооф (Elke Van Hoof) из Брюссельского свободного университета. Сейчас результаты этого невольного эксперимента еще только начинают анализировать.

Некоторые подсказки можно найти в науке об устойчивости, изучающей, как люди переносят невзгоды. Психиатр из Гарвардского университета Джордж Вэйллант (George Vaillant) писал, что устойчивые люди напоминают веточку со свежей, зеленой, живой сердцевинкой: «При сгибании они, подобно упругой ветке, искривляются, но не ломаются, потом они распрямляются обратно и продолжают расти». Эта метафора описывает многих из нас: до двух третей людей восстанавливаются после тяжелых переживаний без серьезных психологических последствий, даже если они столкнулись с такими событиями, как насильственное преступление или пребывание в плену. Но оставшаяся треть страдает от настоящего психического расстройства, кто-то в течение нескольких месяцев, другие — годами.

Даже если большинство окажутся устойчивыми, общее количество людей, которых коснулся *COVID-19*, и число пострадавших столь велико, что специалисты предупреждают о шквале психических заболеваний. Люди сталкиваются со многими серьезными проблемами: угроза болезни, одиночество из-за изоляции, потеря близких, последствия потери работы и длительная неопределенность в отношении того, когда закончится пандемия. Несомненно, для некоторых это выльется в депрессию, тревогу и посттравматическое стрессовое расстройство. Горячие линии психиатрической помощи сообщают о резком росте числа звонков, а предварительные опросы выявили высокий уровень беспокойства. По словам психолога Аниты Делонгис (Anita DeLongis) из Университета Британской Колумбии,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Как показывают исследования, при встрече с потенциально травмирующими событиями примерно две трети населения проявляют психологическую устойчивость.
- Однако психологические последствия текущей пандемии могут не соответствовать этим данным.
- Изменения в жизни произошли стремительно и в небывалом масштабе, а исследователи смогли изучать устойчивость с помощью новых подходов.



Когда Том Инк (справа в верхнем ряду) заболел COVID-19, его жена Уэнди Блаттнер (стоит) заботилась о нем, одновременно занимаясь изменениями в своем бизнесе и в жизни своих дочерей

изучающей психологические реакции на заболевания, в этой пандемии присутствуют все возможные стрессовые факторы, которые способны привести к осложнениям. Самоубийства медицинских работников, находившихся на переднем крае, — мощное напоминание о существующих рисках.

Тема индивидуальной устойчивости еще сильнее усложняется из-за того, что пандемия не одинаково влияет на всех. Хотя коронавирус поразил все слои общества и коснулся большинства людей, существуют огромные различия в степени его разрушительного и опустошающего влияния. Рассмотрим Бруклин, один из районов сильно пострадавшего Нью-Йорка. Те, кто в начале года жил или работал по соседству друг с другом, имеют очень разные истории болезней, потерь и преодоления трудностей

Даже если большинство окажутся устойчивыми, общее количество людей, которых коснулась коронавирусная инфекция COVID-19, и число пострадавших столь велико, что специалисты предупреждают о шквале психических заболеваний

социального дистанцирования. Насколько быстро и хорошо люди, предприятия и организации смогут восстановиться, зависит от работы, страховки и здоровья, которое у них было, когда все это началось, от того, столкнулись ли они с трудностями или большим горем и смогли ли они получить финансовую и социальную поддержку.

Пандемия обнажила неравенство в американской системе здравоохранения и социальной защиты. Чернокожие и латиноамериканцы умирали гораздо чаще белых американцев. «Если говорить о хронических заболеваниях, то дело не в ожирении, а в хроническом заболевании нашего общества», — говорит медицинский антрополог Кэрол Уортман (Carol Worthman) из Университета Эмори, специалист в области всеобщего психического здоровья.

Хорошо, что беспрецедентная пандемия способствует беспрецедентному развитию науки, причем не только в сфере

вирусологии, но и в сфере психического здоровья и устойчивости. Специалисты по поведению оценивают психологические потери в реальном времени и стремятся выяснить, что помогает людям справиться. В отличие, например, от террористических атак 11 сентября или от урагана «Катрина», которые продолжались ограниченное время, хотя их последствия были длительными, неограниченность временного интервала для COVID-19 позволяет проводить новые виды долговременных исследований и изучать новые направления. Предполагается, что внезапный массовый переход к виртуальным формам работы и общения подтолкнет к более тонкому изучению вопроса, от чего зависит, будет ли социальное взаимодействие удовлетворяющим или опустошающим. Психиатр Деннис Чарни (Dennis Charney) из Медицинской школы Айкана при Медицинском центре «Маунт-Синай» говорит, что если исследователи справятся с задачами, которые возникают благодаря COVID-19, то появится новая наука о сопротивляемости: «Мы могли бы узнать, как помочь людям стать более устойчивыми, прежде чем это им понадобится».

Гнись, но не ломайся

Рафаэль Хасид (Rafael Hasid) приехал в Нью-Йорк из своего родного Израиля в 2000 г., чтобы поступить во Французский кулинарный институт. В 2005 г. он открыл в Бруклине ресторан *Miriam*, который полюбился местным жителям. В первые недели марта Хасид понял, что будет дальше. «Я следил за новостями в Израиле, — рассказывает он. — Мы по всем параметрам отставали на две недели. Я сказал, что здесь будет так же». Когда на популярный бранч в выходные пришло в три раза меньше народу, чем обычно, Хасид, недолго думая, раздал всю скоропортящуюся еду соседям. К тому времени когда городские власти потребовали закрыть все рестораны, *Miriam* уже не работал.

По словам клинического психолога Джорджа Бонанно (George Bonanno) из Педагогического колледжа Колумбийского университета, при столкновении с потенциально травмирующими событиями примерно у 65% людей психологические симптомы будут минимальными. Бонанно — специалист в области устойчивости, он изучает последствия ураганов, террористических актов, опасных для жизни травм и таких эпидемий, как вспышка SARS в 2003 г. В его работе и в исследованиях других ученых неизменно наблюдаются три основные

психологические реакции на тяжелые обстоятельства. Две трети людей имеют устойчивую траекторию и сохраняют относительно стабильное психическое и физическое здоровье. Около 25% сталкиваются с временными психологическими проблемами, такими как депрессия или посттравматическое стрессовое расстройство, а затем восстанавливаются — это траектория восстановления. А оставшиеся 10% переживают длительное психологическое расстройство. Такое соотношение наблюдается в разных популяциях и независимо от социально-экономического статуса. «Это касается всех», — говорит Бонанно. С другой стороны, риск психических расстройств удваивается для людей, находящихся на самых низких экономических ступенях.

Однако последствия столь масштабного и коварного кризиса для психического здоровья могут не соответствовать этой парадигме. Исследования показывают, что строгий карантин способен приводить к негативным психологическим последствиям, таким как ПТСР, хотя немногие из нас оказались в настоящем карантине, который означает изоляцию в связи с вероятным инфицированием. Вместо этого большинство людей в мире живут в условиях ограничений, которые, как полагает Бонанно, сводятся к чему-то вроде контролируемого непрерывного стресса. «Мы впервые столкнулись с глобальным локдауном, который длится так долго», — говорит эпидемиолог Дэйзи Фэнкорт (Daisy Fancourt) из Университетского колледжа Лондона. — Мы просто не знаем, как людиотреагируют».

Потенциальные масштабы воздействия весьма значительны. «Это отличается от других форм стресса, потому что касается сразу нескольких областей вашей жизни», — говорит специалист по психологии здоровья Нэнси Син (Nancy Sin) из Университета Британской Колумбии. — Люди сталкиваются с проблемами в отношениях или в семье, с финансовыми трудностями, проблемами с работой и здоровьем».

В ранних исследованиях уже обнаружены ярко выраженные эффекты. В первом общегосударственном крупномасштабном исследовании в Китае, где кризис ударил раньше, почти 35% сообщили о психических расстройствах. В США растущие страх и тревога по поводу COVID-19 обнаружены у людей, уже страдающих от тревожных расстройств. В другом исследовании зафиксированы тревожные состояния у пожилых людей. Это неожиданно, поскольку

в предыдущих работах было показано, что в большинстве случаев у людей данной возрастной категории эмоциональное состояние бывает лучше. «Во время пандемии у пожилых людей нет той связанной с возрастом эмоциональной устойчивости, которая бывает обычно», — говорит Син, изучающая старение и сотрудничающая с Делонгис в проводящемся сейчас исследовании 64 тыс. человек со всего мира. — Они сообщают о таком же стрессе, как и люди среднего и молодого возраста».

Син пока еще анализирует причины стресса, но полагает, что у пожилых людей он связан с более высокой вероятностью заболеть и потерять близких. Однако пожилые справляются со стрессом лучше, чем молодые, и сообщают о менее выраженных тревожности и депрессии. По словам Син, они могут иметь преимущество за счет того, что пережили на своем веку больше, чем молодые. У людей старше 65 лет было больше времени для развития навыков борьбы со стрессом, многие из них вышли на пенсию и поэтому могут не беспокоиться о работе.

В середине марта Фэнкорт начала исследование, в котором приняли участие более 85 тыс. жителей Великобритании. Неделя за неделей у них оценивают уровень депрессии, тревоги, стресса и одиночества. «Нам нужно отслеживать происходящее в реальном времени», — говорит Фэнкорт. Ученые обнаружили, что через шесть недель уровень депрессии был значительно выше, чем до пандемии.

Обычно о более высоких уровнях тревоги и депрессии сообщали те, кто живет один, те, у кого ранее были диагностированы психические расстройства, и молодые люди. С другой стороны, как только был объявлен локдаун, произошло небольшое снижение уровня тревоги. «Как правило, неопределенность ухудшает ситуацию», — говорит Фэнкорт. Некоторые застыли в непонимании, что будет дальше, тогда как другие находят способы продолжать нормально жить.

Когда ресторан Хасида был закрыт уже на протяжении трех недель, он все еще не получил от правительства никаких денег, предназначенных для защиты малого бизнеса. Хотя его ситуация была полна неопределенности, Хасид решил, что должен продолжить свое дело. Когда несколько клиентов спросили его по электронной почте, не организует ли он доставку еды на пасхальный ужин, Хасид разработал праздничное меню по фиксированной цене. Перед пандемией Хасид планировал открыть

Владелец ресторана

Рафаэль Хасид
быстро перестроил
свой бизнес
в торговлю на вынос,
но продолжал
платить сотрудникам
из собственного
кармана



магазин деликатесов по соседству. Вместо того чтобы оборудовать новое помещение, он открыл магазин внутри ресторана. Больше всего его беспокоило, будут ли сотрудники чувствовать себя в безопасности. Чтобы успокоить их, в дополнение к соблюдению социальной дистанции он ввел ношение масок и перчаток и обработку помещения хлоркой по утрам и вечерам. Хасид изучает другие стратегии дезинфекции, в том числе с помощью воздушных духов и спирта, которые, как он слышал, использовались в Сингапуре.

Хасид признает, что не каждый бизнес может так же успешно адаптироваться, особенно сложно тем многочисленным ресторанам, где очень небольшая прибыль. Для новой формы работы достаточно минимального количества персонала, но Хасид продолжает платить из своего собственного кармана всем сотрудникам, которые не готовы становиться безработными. Доставка еды приносит менее трети обычной прибыли, но это лучше, чем ничего. Кроме того, в ресторане готовят еду для местной больницы. «Это не приносит денег, но это то небольшое, что мы можем сделать», — поясняет Хасид. Он доволен перестройкой работы *Miriam* и надеется, что в итоге ресторан выживет. «Мы в гораздо лучшей ситуации, чем большинство подобных мест в Нью-Йорке», — говорит он.

Что нужно, чтобы справиться

Когда в середине марта у живущего в Бруклине психотерапевта и консультанта по вопросам управления Тома Инка (Tom Inck) поднялась температура и начался сухой кашель, он испугался, что это *COVID-19*. Из-за нехватки тестов в то время врач Инка сначала проверил его на все другие известные респираторные вирусы (Инк заплатил за диагностическую панель). Затем врач встретился с пациентом на улице Манхэттена. Стоя на Мэдисон-авеню в полном защитном снаряжении, врач взял пробу, и шесть дней спустя пришел положительный результат.

Успешное преодоление кризиса означает продолжение функционирования и участие в повседневной деятельности. Нужно решать проблемы (это может быть покупка продуктов или проверка на вирусы), контролировать эмоции и поддерживать отношения. Есть факторы, которые предсказывают устойчивость, — например, оптимизм, способность видеть перспективы, сильная социальная поддержка и гибкое мышление. Люди, которые верят, что справятся, действительно справляются лучше.

В течение девяти дней изоляции в отдельной комнате Инк заполнял время медитацией и чтением. В каком-то смысле его жене Уэнди Блаттнер (Wendy Blattner), которая за ним ухаживала, пришлось труднее: в своем маркетинговом агентстве она перешла на удаленную работу и переживала за двух дочерей-старшекласниц, которые были расстроены потерей семестра и беспокоились об отце. Блаттнер оставляла мужу еду за дверью и вставала ночью каждые три часа, чтобы записать его температуру и уровень кислорода. Она была напугана, но полна решимости. «Я чувствовала, что отлично о нем забочусь, даже несмотря на то что он был изолирован, и что у меня есть собственные ресурсы и поддержка, которая мне нужна, — рассказывает она. — Я говорила себе и своим детям, что это может быть тяжело, но все будет хорошо».

Навыки стрессоустойчивости большинства людей могут быть улучшены. Некоторые новые исследования занимаются выявлением успешных стратегий, смягчающих последствия стресса. По словам Фэнкорт, пока людям рекомендуется следовать классическим стратегиям поддержания психического здоровья: достаточно спать, соблюдать режим дня, делать упражнения, хорошо питаться и поддерживать прочные социальные связи. Помогает также заниматься проектами, пусть даже небольшими, которые дают ощущение смысла.

В предыдущей работе Делонгис показала, что люди с высоким уровнем эмпатии с большей вероятностью будут заботиться о здоровье, например соблюдать социальную дистанцию, и последствия для психического здоровья у них будут слабее, чем у людей с низкой эмпатией. Но в ее предыдущих исследованиях таких заболеваний, как *SARS* и лихорадка Западного Нила, применялся метод поперечных срезов, и там был захвачен только один момент времени. При исследовании *COVID-19* она будет наблюдать за поведением людей и их позиций в течение нескольких месяцев, чтобы увидеть изменения в эмпатии и способности справляться со стрессом. «Дело не только в эмпатии как черте характера, — говорит Делонгис. — Эмпатические реакции могут быть выучены и поощряться при правильном обмене сообщениями». Она предполагает, что их рост или сокращение в течение недель и месяцев будут связаны с изменениями в заботе о здоровье и в механизмах борьбы со стрессом.

В рамках исследования Делонгис Син просит людей в течение недели ежедневно записывать свои действия и эмоции. «Пока получается такая картина: жизнь действительно трудна, но люди находят способы справиться с этими трудностями», — говорит Син. Многие сообщают о большом количестве позитивных социальных взаимодействий, значительная часть которых происходит на расстоянии. Пожилые люди рассказывают, что наиболее позитивные переживания в их повседневной жизни бывают, когда они поддерживают других.

Поразительно, что взаимодействия на расстоянии приносят удовлетворение. Предыдущие исследования влияния цифровых технологий и социальных сетей были сосредоточены на связи между временем, проведенным у экранов, и психологическим благополучием, но почти не рассматривали ценность различных способов социальных взаимодействий онлайн. Теперь, когда весь мир перешел на общение через интернет, исследовать эти нюансы необходимо. Должны ли социальные сети точно имитировать взаимодействие лицом к лицу или менее интенсивные формы коммуникации также обеспечат людям чувство связи? Мы пока не знаем точного ответа, но теперь, вероятно, такие исследования будут финансироваться. «Я думаю, за месяц мы переписывались столько, сколько в обычной ситуации переписывались бы в течение десятилетия», — говорит психолог Эми Орбен (Amy Orben) из Кембриджского университета, изучающая психическое здоровье подростков и использование технологий.

Роль социальных сетей учитывают и в других исследованиях. Психолог Роксан Коэн Сильвер (Roxane Cohen Silver) из Калифорнийского университета в Ирвайне оценивает влияние социальных сетей на благополучие людей. Она рассказывает: «Те, кто получает много новостей о кризисе во всем сообществе, испытывают большее беспокойство». Специалист по вычислительной социологии Йоханнес Эйхштедт (Johannes Eichstaedt) из Стэнфордского университета использовал сочетание крупномасштабного анализа сети *Twitter* с машинным обучением, чтобы оценить уровень депрессии, одиночества и радости во время пандемии.

Как и опасалась Блаттнер, их семье пришлось нелегко. В ночь с седьмого на восьмой день, когда температура у Инка колебалась около 39,5, а насыщение крови кислородом снизилось до 93, его врач, консультируя через *Zoom*, сказал, что если состояние

останется таким же или будет хуже, то Инку надо отправиться в больницу. «Я не хочу, чтобы мой пациент умер дома», — сказал врач, и это высказывание напугало детей. «Тяжелее всего был страх», — вспоминает Инк. Но тайленол сбивал температуру, а с помощью коротких неглубоких вдохов Инку удавалось сохранять безопасный уровень насыщения крови кислородом. На десятый день болезни он почувствовал себя лучше.

После пережитого Инк ощущал благодарности и энергичности. Он вернулся к работе, консультируя других пациентов, и записался в доноры плазмы, чтобы помочь тяжелобольным. Но в отличие от других выздоровевших он поначалу почти не рисковал выходить. «Мир казался мне слишком небезопасным местом», — рассказывает он.

Хронические заболевания общества

Даже те, у кого высокая личная устойчивость, нуждаются в посторонней помощи, если сталкиваются с проблемами на нескольких фронтах. Бернелл Грир (Bernell Grier), исполнительный директор корпорации общинного развития *IMPACCT Brooklyn*, которая обслуживает исторически черные районы Бруклина, видит, как сильно пандемия ударила по афроамериканскому сообществу. Она рассказывает: «Ежедневно я слышу о людях с положительным тестом на *COVID-19*, которые либо выздоравливают, либо умирают от этой болезни». Три такие смерти произошли в квартирах, которыми управляет Грир, и ей понадобилось организовать интенсивную уборку. Она чувствует напряжение. «Пожилые люди боятся выходить, боятся, что кто-то подойдет к их двери», — рассказывает Грир. — Кроме того, они не разбираются в технике. Часто, когда им говорят что-то сделать на компьютере, им надо, чтобы кто-то держал их за руку и помогал».

Фэнкорт говорит, что пандемия «усугубит социальное расслоение, которое мы привыкли видеть в обществе. Чрезвычайно важно, чтобы были вмешательства на национальном уровне, которые могли бы поддерживать людей». В Великобритании такую поддержку обеспечивают Национальная служба здравоохранения и программа отпусков, оплачиваемая до 80% зарплаты миллионам британцев, которые не смогли работать из-за пандемии. В США существуют пакеты мер по защите зарплаты и борьбе с безработицей, но оказалось, что быстро получить к ним доступ затруднительно.

Организация Грир предоставляет широкий спектр услуг в области жилья, защиты

интересов малого бизнеса и взаимодействия с финансовыми и правительственными организациями. Как только началась пандемия, сотрудники Грир распространили информацию о возможностях экономической и медицинской помощи. Они провели вебинары, чтобы помочь организациям подать заявку на получение кредита. Грир говорит, что по состоянию на конец апреля никто из тех, кому они помогали, ничего не получил: «До наших организаций ничего не доходит». Только 70% квартиросъемщиков Грир смогли внести в апреле арендную плату. «Мы в свою очередь должны платить за обслуживание, уборщикам, за тепло и электричество, налоги и все остальное, — говорит Грир. — Это цепная реакция. Если жильцы не могут заплатить, мы не можем заплатить».

Уортман, антрополог из Университета Эмори, говорит, что способность справиться с последствиями пандемии — не только личная проблема, но и проблема всего общества. Но это и новые возможности. «Вспоминаются тяжелые периоды в истории Америки, после Первой мировой войны и во время Великой депрессии, которые привели к реальным структурным изменениям, полезным для людей».

Грир выступает за позитивные изменения в своей общине. В беседах с представителями здравоохранения и избранными должностными лицами она указывает на проявления неравенства: например, сначала центры для тестирования не организовывались в бедных районах. «Это высвечивает проблемы, существующие уже слишком долго, — говорит она. — Когда вы смотрите на решения, можете не сомневаться, что равенство доходов и расовое равенство — это фильтр, который все расставляет на свои места». Бруклин выходит из социальной изоляции, и Грир понимает, какую важную роль играет ее группа и ей подобные. «Мы останемся здесь, чтобы быть связующим звеном, кредитным консультантом и навигатором».

Для повышения устойчивости поддержка сообщества сейчас более важна, чем когда-либо. Мэрилин Говард (Marilyn Howard) эмигрировала из Гайаны, когда была подростком, она работала школьной медсестрой в Бруклине в начале марта, пока государственные школы не закрылись. На следующий день после закрытия школ она заболела. Понадобилось десять дней, чтобы получить результат анализа, подтверждающий, что у нее COVID-19. К тому времени Говард

уже думала, что выздоравливает. Однако в субботу 4 апреля она проснулась с затрудненным дыханием, которое стремительно ухудшалось. Живший с ней брат Найджел Говард вызвал машину скорой помощи. Но 4 апреля эпидемия в Бруклине была близка к пику и свободных скорых не было. Найджел сам повез ее в ближайшую больницу, но по дороге у Мэрилин остановилось дыхание. Меньше чем за минуту до того, как они приехали, у нее остановилось сердце, и реанимировать ее не удалось. Ей было 53 года.

«Несколько простых вещей могли спасти жизнь моей сестре», — говорит Хэслин Говард, младший из пяти братьев Мэрилин. Если бы школы закрылись раньше или ее коллега могла бы взять больничный, Мэрилин, возможно, не заболела бы. Если бы кто-нибудь посоветовал ей пульсоксиметр, она бы знала, что нужно ехать в больницу раньше. Если бы машина скорой помощи была свободна... Братья Говард организовали трансляцию из похоронного зала на Лонг-Айленде, чтобы попрощаться. Хэслин решил находиться в помещении одновременно не более чем трем людям, но трансляция позволила более чем 250 людям почтить память Мэрилин.

Найджел получил положительный результат анализа на COVID-19 и был изолирован дома. «Я и мои братья пытаемся создать организацию, которая помогала бы бедным общинам, где живут чернокожие и мулаты, решать некоторые эти проблемы на местном конкретном уровне», — говорит Хэслин. Это то, что они могут сделать в память о своей сестре. «Это один из способов выстоять, — добавляет он. — Как нам превратить трагедию в достижение?» ■

Перевод: М.С. Багоцкая


ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Стикс Г. Нейромеханизмы душевной стойкости // ВМН, № 5, 2011.
- Trajectories of Resilience and Dysfunction following Potential Trauma: A Review and Statistical Evaluation. Isaac R. Galatzer-Levy, Sandy H. Huang and George A. Bonanno in *Clinical Psychology Review*, Vol. 63, pages 41–55; July 2018.
- Resilience: The Science of Mastering Life's Greatest Challenges. Second edition. Steven M. Southwick and Dennis S. Charney. Cambridge University Press, 2018.
- Multidisciplinary Research Priorities for the COVID-19 Pandemic: A Call for Action for Mental Health Science. Emily A. Holmes et al. in *Lancet Psychiatry*. Опубликовано онлайн 15.04.2020.

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

ЦИФРОВОЙ МИР: СРЕДА ДОВЕРИЯ





Сегодня многие говорят, что мир после пандемии *COVID-19* никогда не будет прежним. Действительно, коронавирус оказал беспрецедентное влияние на нашу жизнь, ускорив цифровизацию экономики, бизнеса, образования, медицины, торговли и даже человеческого общения. Однако некоторые эксперты считают, что стремительный переход в цифровой формат имеет свои подводные камни. Генеральный директор научно-производственной компании «Криптонит» **Вартан Микаэлович Хачатуров** рассказал нашему журналу об этих подводных камнях и о том, почему актуальность информационной безопасности сейчас высока как никогда.

— Вартан Микаэлович, почему вопрос кибербезопасности сегодня так важен? И какие опасности нас подстерегают в интернете?

— Многие задачи, которые компании и государство планировали выполнить в течение пяти-десяти лет, пришлось решить за две недели. Это переход сотрудников на удаленную работу, предоставление всевозможных государственных услуг удаленно, онлайн-обучение. И те решения, которые были в итоге реализованы, вряд ли были глубоко продуманы с точки зрения обеспечения их устойчивости и безопасности. Вполне возможно, даже если сейчас мы не наблюдаем очень масштабных реализованных атак, мы увидим их после того, как пандемия закончится. Мы пока не знаем, сколько новых хакерских группировок закрепилось в инфраструктурах компаний, которые были вынуждены часть своих сервисов предоставлять сотрудникам через интернет, сколько



Генеральный директор научно-производственной компании «Криптонит» В.М. Хачатуров

данных утекло на черный рынок и когда они появятся на соответствующих биржах. Сколько еще звонков в Zoom будут выложены на YouTube. Сколько информации, которая прошла через эти звонки, будет использовано для промышленного шпионажа. Сколько людей, вынужденных вести часть своих процессов через интернет, нажали на фишинговые ссылки в письмах. Думаю, это будет впечатляюще.

В таком экстренном режиме построить безопасность невозможно. Но это должно заставить нас задуматься, как нам лучше действовать в будущем.

Есть несколько векторов атаки на организацию с целью проникновения. Наиболее популярный, превосходящий все остальные в сотни раз, — это фишинг. Когда люди взволнованы и общий эмоциональный фон очень нервный, высок шанс, что человек кликнет на ссылку в письме, в котором написано: «Новая информация о зараженных коронавирусом в вашей организации» или: «Это срочно: протестировано новое лекарство». В ситуации общей паники вероятность того, что люди сделают глупость, гораздо больше. Инструменты взлома те же самые, просто тематики меняются.

— В условиях пиковых нагрузок остро стоят вопросы устойчивого функционирования интернета. Как бороться с угрозами в условиях бесперебойной дистанционной работы?

— Очень любить инженеров своих операторов. Не затягивать с ежемесячной оплатой интернета. Сейчас люди, на которых лежит максимальная нагрузка в этой сфере, — инженерно-технический персонал операторов связи, конкретные инженеры, которые расширяют каналы, ставят новое оборудование, борются с возросшей нагрузкой.

В условиях всеобщего карантина технические службы продолжают выезжать, менять оборудование, проводят срочные работы. Я, конечно, не сравниваю их с врачами, которым в разгар пандемии было сложнее всех, но работа инженеров — одна из самых существенных, она обеспечивает всю инфраструктуру. Всем будет приятно, если вы напишете письмо в поддержку своего оператора, в котором скажете: «Ребята, спасибо!», и вовремя заплатите за услуги связи.

— Как организовать личную безопасность в интернете и снизить риски для компании, в которой работаешь на удаленке?

— Это традиционные советы. Если вы используете средства удаленной коммуникации, старайтесь проверить все галочки в настройках этих средств, разобравшись, что они означают. Не паникуйте и не пытайтесь реагировать на любое письмо, которое к вам приходит с заголовком о COVID-19. Не нажимайте на подозрительные ссылки. В случае если в вашей организации не используются защищенные механизмы удаленного доступа, требуйте, чтобы они использовались.

Сейчас отличное время для сотрудников ИТ-подразделений, чтобы проводить обучения в компаниях. Например, отправить всем письма с текстом «Нажмите сюда, чтобы проверить себя на COVID-19 через интернет» — и посмотреть, какое количество сотрудников откликнется. А потом еще раз тщательно объяснить тем людям, которые ответили, как они должны вести себя в интернете.

Если вы используете какую-то стороннюю платформу или сервис, нужно убедиться, что они достаточно безопасны, обеспечивают шифрование, причем шифрование из конца в конец. Если вы понимаете, что шифрование не обеспечивается, посмотрите, какой трафик на этой платформе, как он маршрутизируется. В случае с Zoom можно сделать ряд интересных открытий: например, что трафик периодически ходит через китайские сети.

Сотрудники организации должны быть очень аккуратными в том, что они сейчас делают. Не надо обмениваться документами через внешний сервис, если аналогичного сервиса в вашей компании нет или он не предоставлен. Попросите ИТ-службу срочно его организовать. Не пересылайте рабочие материалы через публичные почтовики, если у вас нет доступа к своему.

Пандемия закончится. Те механизмы, которые организованы, необходимо пересмотреть. Может быть, они подойдут как временные решения, но как постоянные они непригодны. Самый большой риск — если временные механизмы станут постоянными, это станет системной проблемой, которую нужно будет решать.

Как показали предыдущие два месяца, высокие риски скрыты не столько в ускоренной цифровизации бизнеса, сколько в ускоренной цифровизации государства. Бизнес справился, а у государства с организацией безопасных сценариев в создаваемом ландшафте на первом этапе возникли проблемы. Задумано все верно,

К сожалению, сейчас немного тех, кто занимается научной работой, которая продвигает вперед именно фундаментальные дисциплины. Я считаю, что настоящие прорывы происходят именно там, где больше науки, где речь идет о новых алгоритмах, о применении неожиданных математических конструкций из других областей математики

но скорость внедрения была очень высокой — отсюда утечки, большую часть которых мы пока даже не видим. В дальнейшем необходимо трезво оценить все принятые решения, еще раз все проанализировать, уже не находясь в ситуации форс-мажора, когда можно пренебречь какими-то рисками ради скорости.

— А какую роль может сыграть фундаментальная наука в борьбе с рисками, о которых вы говорите?

— Существенная часть всего, о чем мы говорим, базируется на серьезных фундаментальных научных основаниях. И, к сожалению, сейчас немного тех, кто занимается научной работой, которая продвигает вперед именно фундаментальные дисциплины. Я считаю, что настоящие прорывы происходят именно там, где больше науки, где речь идет о новых алгоритмах, о применении неожиданных математических конструкций из других областей математики. Вот, например, искусственный интеллект (ИИ). Большая часть людей, которые говорят про ИИ и машинное обучение, используют решения, которые придумали не они. И Россию с ее научным потенциалом мало видно в околонульном мире, где эта область развивается. То же самое происходит в других сферах. Это касается информационной безопасности, криптографии, телекоммуникаций. Мы — в некотором роде потребители уже готовых решений. Если говорить о тех, кто эти направления в России развивает именно в фундаментальном

смысле, то мы окажемся в очень узком кругу, в котором много университетов, академических институтов, но при этом мало бизнеса.

В то же время, если посмотреть на крупные западные компании, такие как *Google*, *Facebook*, здесь много внимания уделяется именно исследовательской работе. Основной поток публикаций в тех областях, которые интересуют *Google*, — новые алгоритмы, новые реализации и новые открытые продукты, которые они делают и которыми начинает потом пользоваться все сообщество, — идет именно оттуда. А мы в части исследований не очень заметны, и это плохо. Создается впечатление, что научные направления не нужны, а ученые приходят к мысли, что лучше заниматься ими в той стране, где их исследования ценятся. Но настоящий прорыв без таких специалистов невозможен, так как он должен быть на стыке фундаментальных наук и прикладных дисциплин.

Именно эту нишу мы и решили занять, создав компанию, где можем собрать людей с научным складом ума, дать им возможность вести активную научную работу, определяя для них направление. Затем из результатов их работы мы делаем множество прикладных выводов. В основе создания компании было несколько главных идей. Одна из них — привлечение умных и грамотных специалистов, соответствующих духу времени цифрового прорыва и устремления в цифровую экономику, склонных к здоровому скепсису по отношению к «хайпу» в цифровизации.

Вторая идея — вернуть в России моду на науку, уважение к достижениям, которые есть в нашей стране: инженерным, научным, фундаментальным. Все эти достижения в значительной степени сформированы еще в Советском Союзе и с тех пор не прерывались, просто о них мало известно. Когда мы начали глубоко изучать эту тему, говорить об информационной безопасности, телекоммуникациях, у нас возникло понимание, что есть огромное количество наработок, которые могут быть использованы. Это удачно совпало с настроением госкорпораций, нацеленных на коммерциализацию тех знаний, которые у них есть. Сочетание все этих идей легло в основу «Криптонита» — прикладного научно-исследовательского института. Он призван занять место, которое в СССР занимали отраслевые институты.

Тогда в них решались задачи, которые ставила промышленность. За последние 20 лет люди, которые имели к ним отношение, переместились либо в бизнес, занимаясь только прикладными задачами, либо в фундаментальную науку, и мы себя нашли именно в этой недостающей роли посредника.

Идея компании возникла в начале 2018 г. Сегодня у нас работает более 150 человек, из которых 80% — математики, разработчики, специалисты в области информационной безопасности. Мы довольно долго размышляли, как ее назвать. Криптонит — это вымышленный минерал из вселенной *DC Comics*, единственное вещество в мире, способное ослабить Супермена — канонического супергероя американских комиксов. Это слово настолько прижилось в английском языке, что существует даже выражение *you are my kryptonite* — «ты моя слабость», синонимичное тому, что мы называем ахиллесовой пятой. Как говорят наши западные коллеги, *pun intended*.

— Какие конкретно исследования ведутся в вашем институте?

— На базе нашей компании создан научно-исследовательский центр, включающий несколько лабораторий. Мы выбрали для себя важные направления, в которых разбираемся сами: криптографию, информационную безопасность, телекоммуникации и машинное обучение. Но мы не ограничиваем себя, и в будущем присоединятся другие области — например робототехника.

Лаборатория криптографии занимается вопросами международного взаимодействия, разработкой, адаптацией криптографических стандартов к различным отраслям, в частности к устройствам с низким потреблением энергии, радиочастотным идентификаторам, той сфере, которая называется «стандартизация киберфизических систем». В специализации лаборатории — постквантовые алгоритмы (то есть такие, которые позволяют использовать криптографию после распространения квантовых компьютеров), разработка протоколов защиты персональных данных. Таким образом, лаборатория занимается тем, что, с одной стороны, имеет прикладной характер, а с другой — требует научного подхода, чтобы делать это хорошо и безопасно.

В последние годы в мировой науке происходит очень серьезное движение в сторону развития новых постквантовых



Криптонит — вымышленное кристаллическое радиоактивное вещество, единственная немагическая слабость Супермена и других криптонцев

алгоритмов. Несмотря на то что достоверно неизвестно, насколько реальна возможность создания достаточно производительного и доступного квантового компьютера, ученые думают над тем, как мы будем жить в мире, когда он будет создан. Это перспектива, может быть, 20 лет, но уже сейчас над ней надо думать, чтобы алгоритмы, которые будут созданы для защиты, в том числе от атак с помощью квантового компьютера, были бы безопасными и прошли независимые исследования мировым сообществом.

Лаборатория информационной и сетевой безопасности — кроссфункциональная, она занимается машинным обучением и его применением в конкретных задачах.

В мире, меняющемся практически каждый день, могут возникать новые угрозы и виды атак, и поддерживать традиционную жесткую систему, основанную на статических правилах, очень сложно. Поэтому в последние годы оказалось, что использование алгоритмов машинного обучения в информационной безопасности — это очень хороший способ анализировать те виды угроз, которые нам заранее неизвестны. В этом смысле есть огромное поле для исследования алгоритмов выявления аномалий. Это те задачи, которые умеют решать математическая статистика и основанное на ней машинное обучение.

— **В чем актуальность проблемы информационной и сетевой безопасности в России? И есть ли, на ваш взгляд, у нас перспективы создания своей национальной системы доступа к интернету и мобильной связи, независимой от других стран? Насколько это важно?**

— Я не считаю, что мы в этом смысле принципиально отличаемся от всего мира. И эта актуальность везде высока. Погоня за цифровизацией и переносом в цифровую среду все большего количества жизненных процессов приводит к тому, что существенную роль начинают играть традиционные риски. Если раньше какие-то системы были цифровыми, они были полностью изолированы. И даже тогда возникали сложности



Музей криптографии откроется в 2021 г.

с информбезопасностью. Сегодня весь мир объединен глобальной компьютерной сетью, все больше процессов критически важных производств оказываются в интернете, происходит постоянный обмен персональными данными. Это создает огромный простор для тех, кто заинтересован в том, чтобы устраивать риски информационной безопасности, атаковать, нарушать, просто развлекаться. Это общемировой тренд. Судя по тому, как растут масштабы и сложность атак, их будет еще больше. И мир, который мы представляем через 10–15 лет, может быть с этой точки зрения мрачным. Актуальность данной темы будет только расти.

Что касается создания национальной системы доступа к интернету, точного ответа у меня на этот вопрос нет. Ценность интернета в том, что он глобален и взаимосвязан. Любая попытка его фрагментировать приводит к потерям со всех сторон. В интернете есть не только информационные войны, атаки, но и сервисы, доступ к знаниям, программам, статьям.

На самом деле в России никто не собирался и не собирается отключаться и создавать национальный отдельный интернет. Дело в том, что, с одной стороны, мы слышим публичные заявления о демократическом подходе к управлению основными механизмами интернета и сохранению его децентрализованного характера; с другой стороны, в этих заявлениях есть определенное лукавство: у интернета есть критически важные части, степень централизации которых довольно высока. И вопрос управления этими ключевыми

Мы хотим, чтобы интернет был по-настоящему децентрализован и чтобы он оставался достоянием всего человечества.

А значит, и механизмы управления в нем должны быть демократическими, глобальными и прозрачными

механизмами важен, поскольку есть некоторые участники процесса, которые склонны периодически использовать свой контроль и влияние на эти механизмы как инструмент геополитики. Мы хотим, чтобы интернет был по-настоящему децентрализован и чтобы он оставался достоянием всего человечества. А значит, и механизмы управления в нем должны быть демократическими, глобальными и прозрачными.

К сожалению, сегодня это не вполне так. Всегда остается вопрос: кто нажимает на кнопку? А ведь эта кнопка есть. Именно поэтому нам нужно обеспечить равные права в управлении, работать в направлении децентрализации основных

механизмов интернета с целью обеспечения их устойчивости к различным воздействиям, в том числе политическим.

То же самое относится к мобильной связи. Нет никакой необходимости, да и просто невозможно создавать локальные решения в этой сфере. Это и бессмысленно, потому что теряется огромное международное сообщество, которое тоже работает в этом направлении. Вместе с тем необходимо усилить наше участие и влияние в этом сообществе.

Если вы посмотрите на мобильную связь, то на протяжении 30 лет нас не было видно и слышно в этой области. Мы никак не участвовали в развитии, в написании стандартов, в науке. Хотя, конечно, у нас есть наука, которая все это время занималась базовыми вещами: антенными решетками, алгоритмами кодирования и т.д. Я выступаю за то, чтобы мы были полноправными участниками этого сообщества. Для этого нужно, чтобы нас ценили как людей, способных привнести что-то новое. И тогда не будет никакой необходимости заниматься отсоединением.

Когда речь заходит о том, что нам нужен национальный сегмент, сначала требуется подумать: а зачем? И что нам это даст, а чего мы лишимся? В мобильной связи гораздо важнее владение соответствующими технологиями, чтобы иметь возможность производить свои технологии. А в интернете очень важно наше присутствие



Посетителей Музея криптографии ждут уникальные экспонаты и интерактивные стенды

на международной арене, там, где происходит ключевое инфраструктурное управление, разработка стандартов. Это движение в будущее. Вот что принципиально.

— **Какой главный вывод должен быть сделан в области информационной безопасности после пандемии?**

— После пандемии мы выясним реальное количество успешных атак на созданную наспех инфраструктуру. В спокойные времена всегда надо быть готовым к тому, что они в один момент могут стать беспокойными. И традиционное неправильное отношение к информационной безопасности как к тому, что ни на что не влияет, должно измениться. И если в организации, в государстве не было цифрового удаленного процесса с нужным уровнем безопасности, мы обязательно должны задуматься над тем, как его создать.

Самый главный момент — сколько процессов нам нужно цифровизовать и как это сделать достаточно безопасно. Мы много лет планировали создать собственную платформу телеконференций. Было множество решений, бумаг, выступлений начальников, чиновников, даже, возможно, на это были потрачены какие-то деньги. Стоило наступить событию, когда она срочно понадобилась в огромных объемах, как выяснилось, что у нас нет такой платформы. И львиная доля людей воспользовалась для организации своей работы западными платформами, в том числе *Zoom*, *Skype*, которые сразу же «легли» от такой нагрузки. И это сигнал к тому, что если мы не хотим оказаться еще раз в подобной ситуации, то должны готовиться к ней заранее.

— **Знаю, что вы хотите открыть музей криптографии и вычислительной техники. Расскажите об этом, пожалуйста.**

— Мне всегда было обидно, что выдающиеся достижения советской или российской научной школы до какого-то момента были закрытой темой и даже сегодня эта область остается в тени.

За рубежом у наших коллег трепетное отношение к сохранению своей истории. Вся их история отражена в художественной



Отдельный зал Музея криптографии будет посвящен истории здания


литературе, в кино, везде. В США можно приехать в Национальный музей криптографии Агентства национальной безопасности, в Великобритании — в Блетчли-парк, где вы увидите машины, людей, которые это создавали. И у вас возникнет чувство, что действительно здесь есть большая история, которой гордятся.

А куда вы поедете в России? Нам хотелось бы показать, что криптография — уникальная математическая дисциплина, которая всегда была очень тесно переплетена с государством, с международными делами, историями про разведчиков, то есть всем тем, что увлекательно само по себе. Создание такого музея должно вызвать интерес к этой дисциплине и вообще к занятиям математикой. Мы приложим все усилия, чтобы музей открылся в следующем году. К сожалению, все ограничения, связанные с пандемией, нас тоже задели. Строительство сейчас вести сложно. Но проект идет, есть команда, которая работает, есть инвестиции. Музей будет расположен в Москве на территории бывшего НИИ автоматики в Марфине. Людям, которые знакомы с отечественной историей, это здание должно быть хорошо известно. Это здание марфинской «шарашки» на Ботанической улице, у которого длинная история. И этот факт нас очень стимулирует. Мы хотим сделать музей с уважением к памяти места, потому что история, которую хранят эти стены, окна, впечатляющая и одновременно интригующая. Это пространство буквально создано для музея. ■

Беседовала Мария Кравчук



ВИРУСЫ — ДВИГАТЕЛИ ЭВОЛЮЦИИ



Академик **Виктор Васильевич Малеев** — ученый-инфекционист с мировым именем, советник директора ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора, автор множества актуальных разработок, которые и сегодня спасают жизни многих людей, лауреат Государственной премии России. Объездил полмира в составе медицинских бригад, борющихся с тяжелыми эпидемиями. Работал непосредственно в очагах смертельно опасных инфекций, бесконечно подвергая риску и свою жизнь. Наш разговор — о том, с какими инфекциями приходилось бороться ученому, почему вирусы всегда будут составной частью жизни человека, в чем специфика *COVID-19* и о многом другом.



Академик В.В. Малеев

— Виктор Васильевич, знаю, что у вас было очень тяжелое детство: росли в детском доме, переболели всеми возможными болезнями, бушевавшими в то время, страдали дистрофией — в восемь лет весили всего 20 кг...

— У меня было все — корь, ветрянка, паротит, малярия, холера, менингит. Наверное, я знаю не все болезни, постигшие меня в детском возрасте. Мы жили в Средней Азии, а там инфекционные заболевания свирепствовали в полную силу. Отец мой погиб на фронте, мама ни читать, ни писать толком не умела. Она всегда боялась, что не сможет меня прокормить, поэтому отдала в детский дом. В советское время детям все-таки уделяли внимание. Школа мне купила штаны, пальто, и я пошел учиться дальше. Хотел поехать в Ташкент, но не было денег, поэтому остался в Андижане. Но никогда об этом не жалел. Сейчас по сравнению с теми временами я, конечно, поправился: вешу 49 кг. Это немного, но все-таки уже вес.

— Действительно, немного! Что вы делаете для поддержания себя в хорошей физической форме?

— Я закаляюсь, каждый день занимаюсь гимнастикой, йогой, делаю упражнения с гантелями. Стараюсь правильно питаться, много хожу. Это обязательно нужно делать, потому что без этого поддерживать работоспособность невозможно. В 75 лет мне пришлось лететь в Африку на эпидемию лихорадки Эбола. Это тяжело.

— Есть ли у вас какие-то универсальные советы, какие надо делать упражнения, чтобы быть бодрым и здоровым в преклонном возрасте?

— Универсальных советов не существует, все индивидуально. Просто надо всегда себя хорошо чувствовать. Человек должен лучше знать, чем доктор, что ему подходит, а что нет.

— Такое обилие инфекционных заболеваний и ваше тяжелое детство как-то повлияли на выбор профессии?

— В какой-то степени да, хотя не только это. Чтобы быть хирургом, куда меня тоже сватали, надо иметь мощную силу, быть физически крепким, а у меня этого никогда не было. Конечно, потом, после окончания Андижанского государственного медицинского института, я работал обычным врачом, приходилось делать операции, принимать роды. Но все-таки моей основной специальностью стали инфекционные болезни. В Средней Азии, где я жил, это было очень актуально, да и сейчас это так. А еще, помню, меня уговаривали пойти в гинекологи, потому что у меня рука маленькая и узкая.

— Почему же вы не пошли в гинекологи?

— Меня мама запугала женщинами, я их поначалу боялся. Она сказала: как только с ними свяжешься, у тебя вся судьба будет поломанная.

— Так оно и оказалось?

— Нет, я бы не сказал. Нашел одну, Веру Ивановну, и живу с ней уже 54 года. Она педиатр. Многие мои коллеги по несколько раз жен меняют, а мне это не надо. Даже есть такой анекдот: когда умирает жена академика, он выбирает следующую, и надо 100 лет от его возраста отнять, чтобы получить возраст его жены.

— Виктор Васильевич, вам пришлось столкнуться с большим количеством эпидемиологических ситуаций по всему миру. Какие из них были самыми трудными?

— Каждая ситуация была трудна своей непредсказуемостью. И все отличались друг от друга. В значительной степени моя жизнь связана с холерой. С этого все началось. В Средней Азии, особенно в летнее время, очень много маленьких детей гибнет от поносов, кишечных инфекций, потери жидкости. Когда дети умирают у тебя на глазах, матери кричат, плачут, — все это производит гнетущее впечатление. Я все время думал, как им помочь. Тогда ведь не было тонких иголок, чтобы им в вену попасть. Этим бедным детям накачивали растворы в бедра, делали «галифе» большим шприцем. Ребенок кричит, мать кричит, результат плохой. Это было идеалистическое время — мы все читали «Записки врача» В.В. Вересаева, труды В.Ф. Войно-Ясенецкого, верили, что должны посвятить себя служению пациентам... И я придумал, что нужен какой-то раствор, какая-то новая тактика лечения, которая не позволяла бы им умирать от обезвоживания.

— Именно тогда вы придумали знаменитый регидрон, которым мы и сегодня отпаиваем своих детей?

— Регидрон появился позже, а тогда, в конце 1960-х гг., были разработаны первые растворы для борьбы с обезвоживанием. Там ведь очень важен состав. Тогда как раз была большая вспышка холеры в Каракалпакии. На ней работал академик Н.Н. Жуков-Вережников. Было 25% летальных исходов, потому что не было жидкости. Пытались

обойтись бактериофагом, антибиотиками, но ничего не получалось. У нас был физраствор, а это только натрий хлор, и больше в составе ничего нет. Была пятипроцентная глюкоза. И больше никаких растворов начиная со времен С.П. Боткина, то есть с XIX в. А больной холерой теряет очень много разных солей. И нужен был раствор, который содержит все компоненты.

— А если добавлять их в физраствор?

— Пытались. В физрастворе нет калия — будем его добавлять. Пока калий добавляли, натрий «убежал». Появился ацидоз, или смещение кислотно-щелочного баланса в сторону кислотности. Надо соду добавлять. От соды трясло — она не прочищалась как следует. Были страшные пирогенные реакции. Даже такой известный человек, как Б.В. Петровский, наш выдающийся хирург, защитил кандидатскую на тему «Борьба с пирогенными реакциями при вливаниях». Эта проблема остро стояла и в хирургии. Мои полиионные растворы, которые я изобрел для холеры, по сей день применяются при перитонитах и других хирургических патологиях.

— Это была тема уже вашей докторской диссертации?

— Да. Но тут вышел казус. Я считал, что не имею права защищаться, пока мои растворы не докажут свою эффективность в деле. А когда доказали и я пришел защищаться, мне говорят: так тут же ничего нового, мы их уже всюю применяем! Но потом все же защитился.

Потом, уже в 1970 г., была мощная эпидемия холеры в Астрахани. Я курировал астраханский филиал нашего института. Приезжали туда и специалисты ВОЗ, потому что это была тема, актуальная и для других стран, особенно для Африки. Я готовил такую систему, чтобы можно было приехать в поле и без всяких анализов вливать раствор десятками литров. В результате мы спасли многие сотни жизней.



1. Выступление на международной конференции по особо опасным инфекциям (Хошимин, Вьетнам)

2. Обсуждение с врачами КНР средства безопасности для медперсонала во время эпидемии SARS (Пекин, 2003)

— Но ведь вы занимались далеко не только холерой...

— Моя тема была шире, чем холера. В силу того что я знал другие инфекции, в том числе особо опасные, я стал заниматься лихорадкой Эбола, чумой, геморрагическими лихорадками, риккетсиозами, легионеллезом... Уже будучи главным инфекционистом Минздрава, я работал на первой атипичной пневмонии SARS в 2003 г. Тогда я даже решил на свои деньги поехать в Китай, чтобы посмотреть, что это такое и как они это лечат. Работал в очаге, надевал противочумный костюм. Ну и много было других инфекций, все и не упомянуть. Не говоря уж о таких распространенных, как сальмонеллез, дизентерия, другие холероподобные заболевания. Занимался также менингококковой инфекцией. Появилось много учеников, пошли диссертации.

— Виктор Васильевич, говорят, вы еще и полиглот.

— Ну, это сильно сказано. Я знаю английский, потому что работал в Индии, читаю лекции на английском. В школе мы все тогда учили немецкий — со словарем тоже перевожу. Говорю по-арабски. В конце 1990-х гг. я два месяца работал под американскими бомбежками в Ираке, сидел с больными холерой в одном бомбоубежище. Еще я три с половиной месяца работал в Йемене, переводчиков не было и пришлось записывать арабские слова, искать с населением общий язык. А узбекский помню с детства, я же 24 года там жил. Говорю на нем и даже составил для наших врачей-инфекционистов словарик из 100 слов, потому что в больницу нередко поступают гастарбайтеры, не говорящие по-русски. Врачам надо их понимать.

— Вы много времени провели в очагах опасных инфекций. Не боялись заболеть?

— А чего бояться? Это моя работа. Хотя холерой, думаю, болел. В Сомали я работал в госпитале, где пришлось есть из одной тарелки с больными холерой. Там я был один, и надо было и кормить людей,



и еду разогревать, и лечить их. Но я болел, вероятно, в легкой форме.

— **Более 50 лет вы работаете в ЦНИИ эпидемиологии. Солидный срок!**

— В 1968 г. мне невероятно повезло попасть к В.И. Покровскому. Это мой учитель, который много был лет президентом Академии медицинских наук. Он всегда меня поддерживал. Сейчас институт — мой второй дом, а может и первый. Без него своей жизни не мыслю.

— **Виктор Васильевич, не могу не спросить: как вы оцениваете нынешнюю инфекцию COVID-19 на фоне всего того, что вам довелось увидеть и узнать в жизни?**

— Это очередной инфекционный ренессанс. Все думали, что инфекции — это для слаборазвитых стран, а мы их давно и бесповоротно победили. Мы разделились с оспой, на подходе полиомиелит и туберкулез, следом СПИД... Но время идет, а туберкулез, СПИД, даже корь никуда от нас не делится. И в этой ситуации у нас закрывались инфекционные больницы, сокращались специалисты. Ведь на дворе рыночные отношения, и если инфекционная койка какое-то время не используется, ее просто ликвидируют. Какой смысл ее содержать, ведь надо на этом месте зарабатывать деньги, а больных нет. И тут грянуло.

— **То есть мы были не готовы встретиться с этой инфекцией?**

— Совсем не готовы. У нас принято считать, что инфекционная служба не относится к разряду высокотехнологичных. Если, допустим, в хирургии повсеместно внедряются новые технологии, то здесь, казалось бы, работа не поставишь. А почему? Если у нас есть достижения в робототехнике, то почему робот не может зайти в палату и дать лекарство инфекционному больному или прибраться? Почему нужно, чтобы это делали медработники, подвергая себя риску?

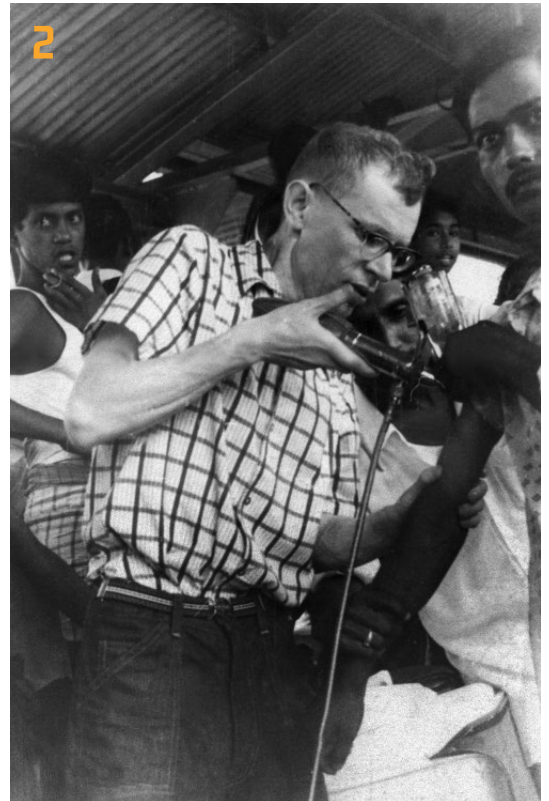


— **Тем более что такие роботы разработаны, они существуют.**

— Ну так давайте их применим! А если в целом, то я считаю, что не учли очень важный фактор: инфекция — это составная часть природы, как и человек. Мы знаем только несколько процентов всех возбудителей, которые существуют в природе. Очень много возбудителей у животных, о которых мы даже не догадываемся. Многие, как И.В. Мичурин когда-то, считают, что мы не должны ждать милостей от природы, надо их у нее взять. Но управлять природой мы пока не можем. Скорее она управляет нами.

— **Что в этой ситуации нужно делать?**

— Надо учиться быстро реагировать на такие ситуации, потому что они будут всегда. Надо более основательно обучать студентов и врачей. Нельзя пренебрегать нашей специальностью. А глобальная тактика — изучать все эти вопросы, учиться хоть в какой-то степени предвидеть возможные вспышки и эпидемии, чтобы не допустить их. Бороться с инфекцией как таковой бесполезно. Инфекция всегда будет нашей частью. Мы сами



1. **Исследование** увеличенного шейного лимфоузла с подозрением на чумной бубон у ребенка на юге Вьетнама

2. **Прививка** населения Бангладеш во время эпидемии холеры прибором для многократного использования

3. **Обследование** больного холерой в полевых условиях во время эпидемии в Кении



в значительной степени состоим из микробов. У нас в организме примерно 40 млрд микробных клеток, и только 30 млрд — наши собственные. Вся эволюция человека — это эволюция его микробов. Я называю это коэволюцией — мы развиваемся совместно с микроорганизмами. И главными двигателями эволюции выступают вирусы: это они заставляют меняться, двигаться и быть тем, что мы есть.

— **Значит, нам надо не столько бороться с вирусами, сколько научиться жить с ними рядом, чтобы они нас не уничтожали?**

— Именно так.

— **Насколько, по вашему мнению, опасен COVID-19?**

— Я ему благодарен. Он убедительно показал, что с инфекцией нельзя шутить. Это дело серьезное. Для нас, для человечества, это важная наука. Конечно, были нам и другие уроки, но, видимо, человечество их не до конца усвоило. Впрочем, и мы изменились. Если раньше люди умирали, зачастую непонятно от чего, то сейчас каждую смерть мы исследуем. Мы выяснили, какой вирус вызывает летальный исход или тяжелые осложнения. Это очень важно. Не могу сказать, что он страшнее таких, как, скажем, чума или лихорадка Эбола. Там 60–70% летальности, здесь все-таки процент заметно ниже. Думаю, что мы от этого вируса никуда не денемся, мы все им переболеем, пока появится действительно эффективная вакцина, которой удастся привить основную часть населения.

— **Все-таки переболеем?**

— Думаю, да. Хотя у любой инфекции есть циклы и постепенно она пойдет на спад сама по себе. Эпидемии как массового явления уже не будет. Но постепенно она укоренится. Как и грипп, коронавирусная инфекция станет нашим постоянным спутником. Настанет такой момент, когда наша иммунная система будет над ним преобладать, и тогда нам будет не страшна эпидемия, а вирусу ничего не останется, как измениться. Вероятно, появится другой вирус, он тоже изменится,

приспособится, потом опять будет подъем, потом спад и т.д. Человек всегда опаздывает с приспособлением. Мы гоняемся за вирусами, пытаемся догнать их, создать какие-то новые лекарства, но не успеваем. Все потому, что у них свои законы, которых мы пока во многом не знаем.

— **Виктор Васильевич, в одном из ваших интервью вы сказали, что хотите переболеть новой коронавирусной инфекцией. Неужели это правда?**

— Да, я это сказал. А почему нет? Я же лечу людей, хожу среди них. Так почему бы уже не переболеть, чтобы не волноваться на этот счет?

— **Но это же может стать для вас фатальным.**

— Фатальным может стать все что угодно. Нам это знать не дано.

— **А вы принимаете какие-то меры профилактики?**

— Эти меры общие для всех. Помимо мытья рук и дистанцирования очень большое значение имеет иммунитет слизистых. У нас есть так называемый мукозальный иммунитет, которому обычно уделяют мало внимания. Если говорить о слизистых, надо обязательно каждое утро прополаскивать носоглотку водой. Еще я делаю дыхательную гимнастику. Очень важно движение. Если человек сидит или лежит, у него происходит застой крови и лимфы, и тогда шанс заболеть в тяжелой форме выше. Надо постоянно поддерживать внутреннюю готовность к встрече с инфекцией.

— **Вы готовы?**

— Готов. Я всю жизнь в борьбе. С рождения. Поэтому и выжил, несмотря ни на что.

— **Вы не просто выжили, но стали выдающимся ученым, академиком. Как вам это удалось?**

— Мною всегда двигала любовь к инфекциям. Как говорится, кому холера, а кому мать родна. Мне это всегда было интересно.

— **Что вы еще любите, кроме инфекционных болезней?**

— Я люблю науку. Мне всегда хотелось понять, как можно найти подход к той или иной болезни, придумать что-то, чтобы спасти людей. Помню, в Кении я подбирал их прямо на улицах, находил тех, кто еще дышит, и вливал свои растворы. Важно было найти новые подходы, которые оказались бы более эффективными. Без науки мы никогда не будем развиваться, двигаться вперед. А вообще академиком я стал из-за жены.

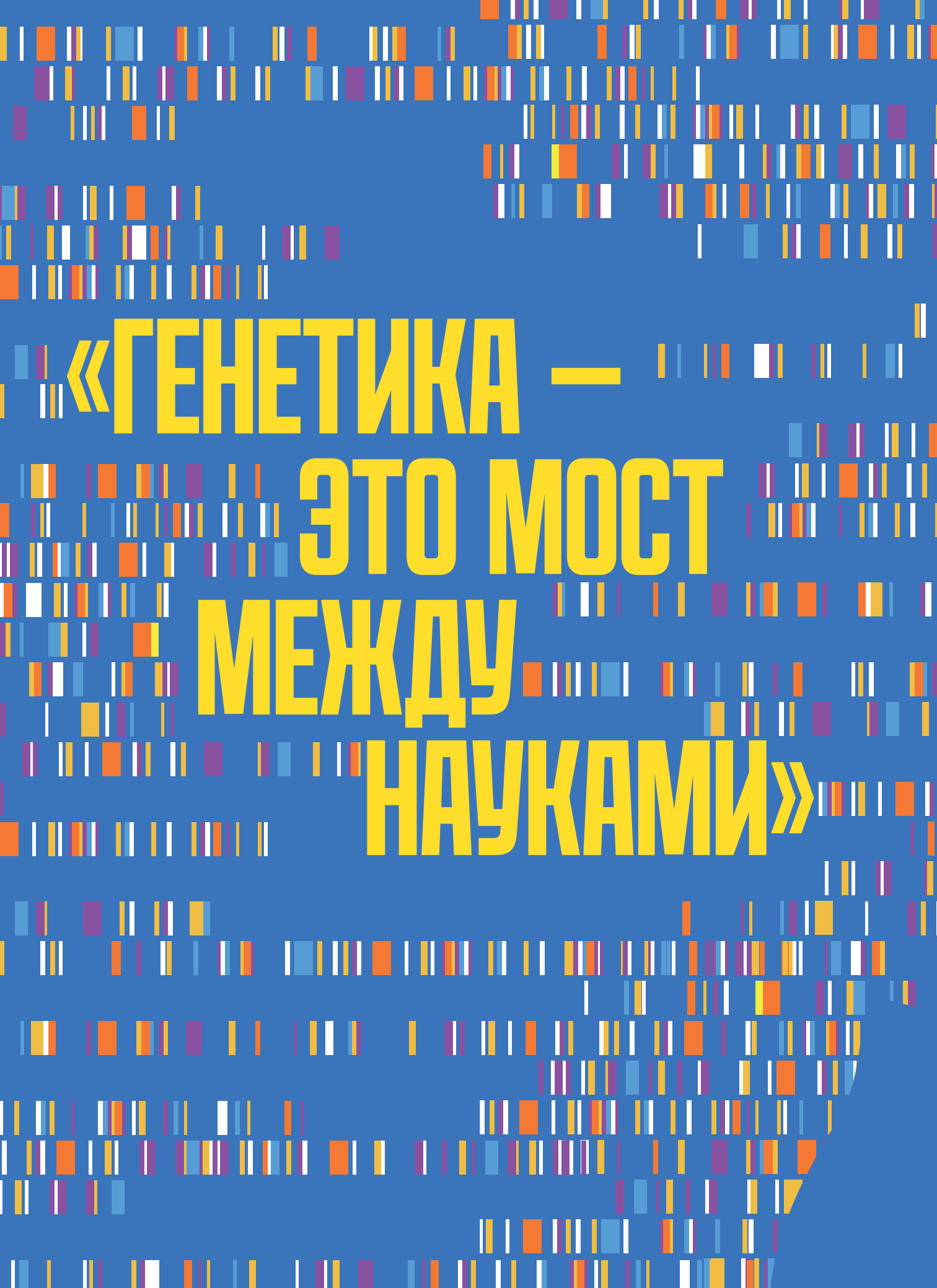
— **Как это?**

— Она в свое время стала настаивать, чтоб я пошел в науку. Я же хотел работать врачом, мне это нравилось. Она говорила: зачем нам два врача, иди в науку! Пришлось идти.


— **Значит, жену вы тоже любите?**

— Ну, тут уж куда деваться!

Беседовала Наталья Лескова



**«ГЕНЕТИКА —
ЭТО МОСТ
МЕЖДУ
НАУКАМИ»**



Почти 100 лет назад генетику объявили «продажной девкой империализма», а сегодня это самая быстро и динамично развивающаяся научная отрасль, которую называют связующим звеном между науками. Что осталось в генетике со времен Н.И. Вавилова, который в прямом смысле слова положил на это дело свою жизнь, и что принципиально изменилось; какие новые теории позволяет создавать генетика и какие перспективы это открывает; чем с генетической точки зрения отличается нынешний коронавирус от всех прочих и почему биотехнологии откроют не только новые горизонты возможностей, но и новые, доселе неведомые опасности — об этом наш разговор с директором Института общей генетики РАН им. Н.И. Вавилова членом-корреспондентом РАН Александром Михайловичем Кудрявцевым.



Член-корреспондент РАН А.М. Кудрявцев

— Александр Михайлович, ИОГен относится к числу старейших институтов в структуре академии наук. Как вы думаете, с тех пор, как его создал Н.И. Вавилов, что-то удалось сохранить в духе, атмосфере института?

— Судьба института была непростой. Это действительно старейшее учреждение в системе академии наук. Создавался он как Бюро по евгенике в Петербурге, потом стал лабораторией генетики, которая впоследствии превратилась в институт. Мы знаем, что у генетики в нашей стране была трагическая судьба. Н.И. Вавилов погиб в саратовской тюрьме, а генетика была объявлена лженаукой. В биологии воцарился Т.Д. Лысенко, который возглавлял наш институт в течение четверти века. В этот период вавиловское наследие и вся классическая генетика изгонялись из этих стен, но все-таки их удалось сохранить.

Надо сказать, при Николае Ивановиче здесь существовала мощнейшая теоретическая генетическая база. Достаточно того факта, что здесь работал будущий нобелевский лауреат Герман Меллер, автор хромосомной теории наследования, приехавший по приглашению Вавилова из Америки.

Н.И. Вавилов был колоссальной фигурой в отечественной и мировой науке. Он занимался как фундаментальной частью, так и прикладной, в том числе сельским хозяйством. Мы знаем, что знаменитый институт растениеводства в Петербурге — тоже его детище. Собственно, это все и сохранилось — и прикладная часть, и теоретическая. Мы по-прежнему занимаемся генетикой сельскохозяйственных растений и животных, но уже на новом уровне. Мы можем сейчас осуществлять синтез фундаментальных знаний с практикой. В частности, наш институт всегда был лидером

по популяционной генетике. Здесь работал наш выдающийся генетик популяций академик Ю.П. Алтухов. Соответственно, здесь у нас очень сильная школа популяционной генетики, которая начиналась с изучения диких организмов, рыб и растений. Потом была создана школа популяционной генетики человека, ее возглавил профессор Ю.Г. Рычков. Сейчас здесь трудятся его последователи. Во многом это все вавиловские идеи. Вообще, генетика сейчас — одна из самых бурно развивающихся наук, здесь чуть ли не каждый день появляются новые направления. Наш научный руководитель академик Н.К. Янковский продвигает идею, что генетика — это мост между науками, не только биологическими и гума-

нитарными, но и любыми. Например, когда мы изучаем генетику человека, мы, безусловно, сталкиваемся с вопросами и чисто антропологическими, и социально-культурными, и лингвистическими. Это направление, уверен, будет развиваться.

— Что отличает ваш институт от многих подобных?

— Мы работаем с конкретным организмом. В других генетических институтах занимаются общими механизмами, для них не столь важен индивидуум. А для нас со времен Н.И. Вавилова определяющее значение имеет конкретный организм. Мы понимаем, что генетика одного индивида отличается от генетики другого. Именно эти различия мы и изучаем. Для нас это принципиальный момент, важный в том числе в сельском хозяйстве. Ясно, что у всех коров одинаково работают гены, но при этом мы видим, что один бык — уникальный производитель, а второй — так себе. Почему?

— И можно ли сделать так, чтобы каждый бык стал уникальным производителем?

— Когда мы создаем какую-то породу, то можем многое изменить через потомство. Для этого нам надо найти не только быка-производителя, но и подходящую корову. Этим мы до сих пор занимаемся. Конечно, есть институты животноводства, которые тоже изучают генетику сельскохозяйственных животных, но при этом они не занимаются, допустим, генетикой микроорганизмов. А мы занимаемся. Поэтому наш институт — общей генетики, и в этом его уникальность.

— Вы сказали, что удалось сохранить со времен Н.И. Вавилова. А что изменилось? Что стало кардинально новым?

— Мы научились работать не только с фенотипом, но и напрямую с генотипом. Н.И. Вавилов и его

соратники, анализируя внешний вид организма, составляли свое представление о его генетике. Когда Грегор Йоганн Мендель устанавливал законы наследования, он работал с горохом, который для него делился на зеленый и желтый. Сейчас мы знаем, что вся генетика заключена в ДНК. Современные методы, которые стремительно развивались в последние 20 лет, позволяют работать непосредственно с генотипом. Сегодня, когда мы говорим о разнице между двумя организмами, мы можем на уровне ДНК посмотреть, чем один отличается от другого, а уже потом скоррелировать, как эти отличия выражаются в фенотипе. Мы видим ген как абсолютно материальную единицу. Это, наверное, самое главное изменение в генетике с тех времен, когда Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик открыли двойную спираль ДНК. Но это тоже было давно, уже полстолетия назад. В последнее десятилетие мы научились легко оперировать с этой материальной основой наследственности. Раньше, когда я был начинающим ученым, работа с ДНК была чем-то за пределами трудным, а сейчас это делается широким сканированием. Сейчас существует амбициозный проект полного сиквенса геномов всех эукариот. Это миллионы видов! В той же сельскохозяйственной генетике появились новые технологии селекции. Когда-то Н.И. Вавилов разработал теорию научной селекции, но все это делалось по внешнему виду. Сейчас у нас появилась маркерная геномная селекция. Это новый этап в научной селекции. Мы сейчас можем совершенно по-другому создавать новые организмы. У нас на вооружении новые методы генетической инженерии, включая генетическое редактирование. Мало того что мы многое лучше видим и понимаем, при этом мы еще и можем целенаправленно вносить какие-то изменения.

— Если бы напротив вас сейчас сидел Н.И. Вавилов, о каких разработках института бы вы ему рассказали в первую очередь?

— Я бы обязательно сказал о биоинформатике, с помощью которой у нас анализируют геном. У нас работает член-корреспондент РАН В.Ю. Макеев, руководитель лаборатории, в которой создают уникальное программное обеспечение, признаваемое мировым сообществом. Они играют компьютерные состязания для профессиональных биоинформатиков, потому что у них создается беспрецедентное ПО для анализа генома.

Замечательные достижения демонстрирует наша лаборатория эволюционной геномики, которой руководит член-корреспондент РАН Е.И. Рогов. Именно им открыты гены болезни Альцгеймера и многие другие. Благодаря этим работам геномика человека у нас одна из самых сильных в мире.

Популяционную генетику человека у нас ведет лаборатория профессора РАН О.П. Балановского. В рамках этих исследований, в частности, осуществляется программа Союзного государства, возглавляемая Н.К. Янковским. Там ставятся обширные задачи (в том числе криминалистические) исследования генома самых разных представителей постсоветского пространства. Это, по сути, широкий срез генетики населения Союзного государства, всех его народов и этносов, и это тоже величайшее достижение.

— Александр Михайлович, вы руководите лабораторией генетики растений, то есть занимаетесь прямым продолжением дела Н.И. Вавилова. Расскажите, что важного здесь удалось сделать?



1. Опытные поля Института генетики с посевами пшеницы (вид с нынешней улицы Вавилова), на заднем плане справа — башня Оранжевого корпуса Института генетики (фото из фондов музея Н.И. Вавилова); 2. Н.И. Вавилов



— Много что удалось. Во-первых, мы повторяем маршруты его экспедиций. Недавно я побывал в экспедиции в Эфиопии, где мы прошли по пути Н.И. Вавилова, посмотрели, что сохранилось после него. Мы собирали староместные сорта пшеницы, провели современными методами генетики сравнение коллекции Н.И. Вавилова, сохраненной в Санкт-Петербурге в ВИРе, с коллекцией, собранной нами, и увидели большую разницу по генетическим маркерам.

И сейчас перед нами стоит большой фундаментальный вопрос: что происходит? То ли это эволюция в природе, то ли какие-то другие механизмы. Мы видим, что очень трудно удержать мгновение жизни даже в коллекции Генбанка. Этот вывод ставит перед нами новые задачи, особенно важные на фоне необходимости сохранить биоразнообразие. У нас исчезают и дикие, и культурные виды.

О том, что исчезающие виды необходимо собирать в коллекции, догадался еще Н.И. Вавилов. Сегодня используется относительно немного современных хороших сортов, которые занимают огромные площади. Что дальше? Может произойти глобальное изменение климата, какая-нибудь пандемия, и все эти сорта перестанут быть такими хорошими. А где взять новых доноров для селекции, которые могут привнести в новые сорта устойчивость или адаптивность к этим условиям? Даже генбанки не могут сохранять материал долго, он гибнет, его нужно пересевать. А пересев — это возможные ошибки.

Вторая важнейшая задача, с которой сегодня мы работаем вместе с крупными сельскохозяйственными холдингами, — научиться производить собственные семена сахарной свеклы. Дело в том, что сейчас в стране их нет, все завозные, хотя при этом мы мировые лидеры по производству сахара. Значит, мы должны создать собственные гибриды для производства семян. Как это сделать? Это вопрос для современной генетики, потому что без методов маркерной и геномной селекции, которой мы владеем, нет ни малейшей надежды тягаться с западными конкурентами. Государство тоже участвует в этой работе. Сейчас действует программа «Селекция и семеноводство сахарной свеклы», которая поддерживается из госбюджета.



Совместная российско-эфиопская биологическая экспедиция в Эфиопию. По следам Вавилова. В поисках черной пшеницы. А.М. Кудрявцев и Мул.

— Я знаю, что у вас в институте создана новая лаборатория, которая занимается генетическими исследованиями в области онкологии. Мало того, сотрудниками лаборатории разработана новая теория генетики рака, а это большое событие в мире науки.

— Это правда. Речь идет о лаборатории неофункционализации генов профессора А.П. Козлова, который пришел работать к нам в институт. Скажу, о чем идет речь. Мир, в котором мы живем, как известно, возникает в процессе эволюции. Но где же эволюция берет материал для себя, каким образом все это происходит? Суть теории в том, что в результате случайных событий в геноме возникают некие протогены, которые еще не имеют никакой функции, но затем они должны эту функцию обрести. Где они могут ее обрести? Оказывается, только в раковой опухоли. И Андрей Петрович показал, что есть сотни генов, которые не экспрессируют в нормальных тканях человека, но в раковой опухоли начинают работать очень интенсивно.

— То есть раковая опухоль нужна эволюции?

— Согласно теории, это именно так. Тому есть множество примеров. Скажем, у млекопитающих молочная железа обладает всеми признаками опухоли. Скорее всего, изначально это была некая опухоль, которая в процессе эволюции приобрела функцию и закрепилась. К таким опухолям, обретшим важную функцию, относится также предстательная железа, селезенка и многие другие органы. Фактически большинство органов прошли через опухолевую стадию в процессе эволюционного развития.

Из этой теории следуют по меньшей мере два практических выхода. Если мы знаем, что в опухоли всегда экспрессируют гены, которые молчат в нормальных тканях, то речь может идти о создании универсального метода диагностики, способного показать появление раковых клеток на самых ранних этапах. Если мы видим, что начинается экспрессия таких генов, мы можем сказать о наличии онкопроцесса.

Второе — мы сегодня точно не знаем, представляет ли собой работа этих генов следствие того, что у них появилось поле, где они могут себя проявлять, или они сами стимулируют развитие опухоли. В частности, нам уже известны гены, которые позволяют опухоли расти дальше. И тогда появляется следующий вопрос: если мы сможем заблокировать работу этих генов, то и опухоль начнет регрессировать или, как минимум, не будет прогрессировать?

Конечно, тут еще множество вопросов, но А.П. Козлов уже сделал немало докладов в разных научных организациях в России и за рубежом, издал монографии, и ученые в большинстве своем соглашались с этой теорией, потому что она действительно кажется очень верной. Даже палеонтологи говорят, что у них есть наблюдения, которые свидетельствуют именно о таком пути эволюции — через новообразования, которые сначала были нефункциональными, а потом обрели нужную функцию.

— Александр Михайлович, у вас есть также лаборатория генетики микроорганизмов, что сейчас особенно актуально, учитывая ситуацию



Лаборатория генетики микроорганизмов

с новой коронавирусной инфекцией. Какие наблюдения имеются здесь?

— Вообще, генетика микроорганизмов — это очень интересное направление, у нас этим занимается лаборатория под руководством профессора В.Н. Даниленко. Сейчас все больше внимания и в фундаментальной науке, и в медицине уделяется микробиому человека. В каждом человеке, как известно, живут несколько килограммов бактерий, и они определяют очень многое, начиная с пищеварения и заканчивая способом мышления. Сейчас показано, что, например, многие случаи аутизма связаны со сдвигом в микробиоме, а сдвиг этот происходит достаточно легко. Скажем, вы приняли антибиотики и у вас «родные» микроорганизмы вымерли, заместились другими, и все сдвинулось. Соответственно, одно из направлений — это сохранение микробиома человека. Возможно, это одно из направлений медицины будущего, когда у фактически здорового человека в раннем возрасте можно будет в коллекцию заложить его микробиом, чтобы потом, в случае если произойдет катастрофическая болезнь, этот микробиом восстановить. Здесь возможно производство новых пробиотиков, разнообразных пищевых добавок, и у нас идет активное сотрудничество с Университетом пищевых технологий.

Еще одно важное направление связано с туберкулезом. Сейчас все говорят о коронавирусе, в то время как туберкулез тоже нигде не делся. Мало того, он стал особо агрессивным, устойчивым к антибиотикам. Вот почему еще так важно секвенировать все эукариоты. Это даст нам возможность посмотреть, какие микробы живут на территории России. Ведь среди них не только патогенные, но и очень много полезных. Вообще, микроорганизмы — это основа биотехнологии, и находить новые микроорганизмы — тоже наша работа.

— Где вы их находите?

— Практически везде. Сейчас, например, мы исследуем микробиом океана. Для этого мы берем пробу воды, оттуда выделяется тотальная ДНК, где находятся сотни новых видов бактерий, которые раньше другими методами находить не удавалось. Почвенный микробиом, микробиом животных, человека — это все нужно исследовать.

Если говорить о коронавирусе, то сейчас, как известно, создается вакцина, а к ней нужны адьюванты, которые делают из разного рода редких веществ — скажем, из хряща акулы. Показано, что если вакцинировать все население земного шара, то у нас не хватит не только стекла для ампул, но и акул. А у нас есть микроорганизмы, найденные нашими генетиками, которые могут быть адьювантами, в том числе для таких вакцин.

— Александр Михайлович, в чем, на ваш взгляд, уникальность нынешнего коронавируса? Есть ли что-то, чем он вас удивил?

— Я не вирусолог, но когда только коронавирус появился, у меня сразу же возникло ощущение, что он очень странно себя ведет. Когда поступали первые данные, какова его заразность, я просто просчитал, сколько у нас должно быть заболевших. Но на самом деле их намного меньше. Динамика довольно странная. Потом стали появляться сообщения, что многие болеют бессимптомно. Я думаю, что бессимптомно болеют люди, которые когда-то переболели какой-то другой коронавирусной инфекцией. В общем, этот коронавирус очень похож на другие виды этого семейства коронавирусов. Да, у него есть своеобразный спайк-белок, но другие-то белки у него похожи. А против других белков тоже может быть иммунитет. И таких людей с иммунитетом оказалось довольно много.

Потом стало выясняться, что бессимптомные не заразны. И вот это, на мой взгляд, объяснение, почему этот вирус не так быстро распространяется, как другие ОРВИ или грипп. Мое мнение — этот вирус как бы двойственен. С одной стороны, он не так опасен для популяции в целом, как оспа или чума. Но он оказывается опасным для каких-то конкретных людей, которые не будут к нему устойчивыми и начнут тяжело болеть.

— Причем предсказать, кто из этих людей в группе риска, не всегда возможно.

— Да, и в этом сложность. Очень важный момент нынешней ситуации — большинство должно страдать и терпеть неудобства из-за меньшинства. Это



Шляпа Н.И. Вавилова для полевых работ и его планшет

совершенно новый философский компонент, принесенный в нашу жизнь нынешней эпидемией. Это новая психология, пришедшая в наше общество.

Я уже много лет думал, почему у нас нет пандемии. Они должны происходить по определению, потому что у нас растет численность населения, плотность, количество миграций. Всегда из природного резервуара может выскочить новый вирус и начать поражать человека.

И вот пандемия наконец произошла, как бы напомнив всем нам, что это может случиться в любой момент. Это означает, что нам надо изучать не только микробиом, но и виром природы — какие существуют вирусы, какие из них встречаются у животных. Надо быть готовыми к встрече с ними. Поскольку сейчас мы можем создавать вакцины *in silico* к этим вирусам, то почему бы не разработать какие-то платформы предварительно? Поэтому я думаю, что такая программа по геному вирусов очень нужна.

— Было очень много спекуляций по поводу того, что вирус имеет искусственное происхождение. Что вы можете сказать на этот счет?

— Это могут сказать только спецслужбы. Я же думаю, что есть какие-то подозрительные моменты, которые могут натолкнуть на некоторые вопросы. В целом новый коронавирус очень похож на своих родственников, но там прослеживается одна необычная геномная последовательность, которая в принципе могла возникнуть случайно, но могла и искусственно. Загвоздка в том, что именно эта последовательность в геноме дает возможность вирусу атаковать клетки человека. Но возникла ли она спонтанно или ее сделали в лаборатории, точно сказать не могу.

— А вы в своих лабораториях могли бы создать такой вирус?

— На самом деле, все намного серьезнее, чем можно предположить. Такие последовательности не то что в нашей лаборатории — скоро в гараже можно будет создавать. Биохакинг — реальная угроза нынешнего дня. Все острее встает проблема биобезопасности, которой тоже надо уделять серьезное внимание. В самое ближайшее время начнет развиваться генетическое оружие. Оно уже создается в мире; например, уверен, что этим занимается Управление перспективных исследований Министерства обороны США (DARPA).

Но это лишь начало. Скоро биотерроризм станет проблемой номер один, на фоне которой нынешние проблемы с наркотиками отойдут на второй план. Генетическая инженерия — это наше общее будущее, но это как ножик, которым можно колбасу порезать, а можно человека убить. Вы можете создать методом генетической инженерии продукт абсолютно безвредный, а можете получить продукт,



Рабочий стол
Н.И. Вавилова
с полевым
микроскопом
в его
мемориальном
кабинете

который причинит вред или вызовет привыкание. Это новая реальность, которую перед нами открывают биотехнологии. Хотим мы этого или нет, но мы с этим столкнемся — и нам надо быть к этому готовыми. Нужны новые методы идентификации, анализа, противодействия, и в это тоже надо вкладываться. Биотехнологии становятся новой отраслью промышленности, а генетика — базис этой биотехнологии.

— Вы говорили о том, что по сравнению с теми временами, когда вы были молодым ученым, генетика сделала резкий шаг вперед. Когда-то погружение в структуру ДНК казалось дремучим лесом, а сейчас это нечто рутинное. Как вы думаете, что может случиться еще через 20–25 лет? Чего нам ждать?

— Мы не просто будем изучать генетический материал, но и начнем им оперировать. Мы не только будем понимать, как это работает, но и сможем вносить изменения целенаправленно, чтобы лечить генетические заболевания, и это станет общепринятой рутинной практикой. Это происходит уже сейчас, но пока генетическое редактирование — все-таки достаточно сложная и дорогая процедура. Скоро это станет доступно всем. Вот как сейчас вы приходите в диагностический кабинет и говорите: «Сделайте мне ПЦР-тест», — и никто не задумывается, что несколько лет назад это было абсолютной экзотикой. Так же будет и с генетическим редактированием.

— Как вы считаете, насколько опасно вмешательство в святая святых — геном человека?

— Безусловно, это опасно. Однако человек всю свою историю балансирует на грани опасностей, но никогда это его не останавливало. Вся наука на этом стоит. У меня такое впечатление, что мы сейчас должны думать в первую очередь о том, как нам купировать опасность, которую мы создали в предыдущие времена. Все говорят, что генетическая инженерия, генно-модифицированные растения в сельском хозяйстве — это опасно. Но никто не думает, насколько опасно для природы все сельское хозяйство как таковое. Когда мы сыплем тонны удобрений-пестицидов, распыляем инсектициды, фунгициды, идет война с природой и в конечном счете с самими собой. Последствия этой войны отражаются на человеке уже сейчас. Если у нас сменится парадигма сельского хозяйства в пользу развития биотехнологий, то эту нагрузку можно снизить.

— Александр Михайлович, что вы считаете самым важным в вашем институте?

— Самое главное — это, конечно, кадры. Это не стены нашего здания, пусть они даже исторические, не оборудование, которое, конечно, нужно, но его можно найти у коллег, у соседей. Главное — чтобы в головах людей происходило формирование новых теорий, новых гипотез. Это и есть суть нашей работы. Когда меня спрашивают, какова концепция нашего института, я говорю, что стремлюсь создать здесь территорию разума, чтобы ученым было комфортно работать. Надеюсь, это у нас получается. ■

Беседовала Наталья Лескова



ЭНЕРГИЯ ПРИТЯЖЕНИЯ ЛУНЫ

Валерий Чумаков

О том, что нам надо переходить на альтернативные энергетические источники, говорят уже давно, и чем дальше, тем громче. Один из таких источников — приливы

В рукописном научном трактате начала прошлого тысячелетия неизвестный автор представил вариант вечного двигателя, конструкцию которого невозможно оспорить. Изобретатель предложил собрать крепкий шест, достаточно длинный для того, чтобы дотянуться до Луны, соединив его наземный конец с шатунным механизмом и возвратной пружиной. По его замыслу, Луна должна была с помощью шеста приводить в движение шестерни механизма, а в пору, когда ночное светило уходило «за Землю», пружина возвращала шест в исходное положение, в котором он дожидался нового прихода земного спутника.

Скорее всего, это была идея ради идеи и изобретатель вовсе не планировал воплотить ее в жизнь, а просто демонстрировал живость своего ума. В те давние времена человечество еще не испытывало того острого дефицита энергии, в котором оно находится сейчас. Жителям нашей планеты тогда вполне хватало энергии ветра, дров и домашних животных. Зато сейчас пришло время вспомнить о давнем проекте.

ВОДНЫЙ ПОМОЛ

Наш изобретательный предок сильно бы удивился, узнав, что предложенный им шест уже давно существует и работает. И не один, а целых два: второй связывает нас с Солнцем. Собственно, существуют они столько же времени, сколько существуют Земля, Солнце и Луна. Мы их называем гравитацией. Правда, шестерни они не вращают, но воздействие на Землю оказывают серьезное.

О том, что уровень воды в больших водоемах изменяется несколько раз в день, люди знали давно. Океанские и морские приливы и отливы были настолько обычным явлением, что человечество даже не особенно задумывалось над их причинами. Хотя в IV в. до н.э. греческий купец и географ Пифей заметил, что изменение уровня воды в океане зависит от движения по небу основных

светил — Луны и Солнца. Спустя три столетия его наблюдения развил в своих трудах учитель Цицерона Посидоний. Правда, о гравитации там речи не шло, да и не могло идти, поскольку о ней тогда люди еще попросту не знали. Предполагалось, что наши светила обладают неким особенным полуматематическим притяжением наподобие магнита.

Труды Посидония были на некоторое время забыты, и первые приливные мельницы строились без их учета. По косвенным данным, самые древние из известных нам работали на реке Флит, в районе современного Лондона, еще во времена Римской империи. Старейшая из них, остатки которой удалось раскопать археологам, относится к концу VIII в. Это небольшая мельничка при основанном святым Патриком монастыре Нендрум в Северной Ирландии. Устроена она была чрезвычайно просто. Во время прилива вода через открытые ворота заполняла небольшой бассейн. Когда прилив сменялся отливом, ворота закрывались и вода из бассейна спускалась через специальное сливное отверстие, под которым находилось закрепленное горизонтально колесо с мельничными лопастями. Поток воды вращал лопасти, и это вращение передавалось уже на рабочие жернова. Нехитрая установка развивала мощность чуть меньше одной лошадиной силы и позволяла перемалывать до 4 т муки за сутки.

Первое документальное упоминание о приливной мельнице относится к 1086 г. В знаменитой «Книге Страшного суда», составленной по результатам первой в средневековой Европе поземельной переписи, говорилось о приливной мельнице, расположенной в Дувре, на берегу пролива Паде-Кале. Кроме нее в книге упоминалась мельница на острове Трех Мельниц, что на реке Ли (приток Темзы).

Самая старая из сохранившихся до наших времен приливная мельница была построена в городке Вудбридже в Восточной Англии еще в 1170 г. Она была уже значительно больше и мощнее, чем в Нендруме. Колесо было вертикальным, наподобие паровых, а площадь приливного бассейна составляла 28 тыс. м². Мельница молола зерно вплоть до 1957 г.

Вообще, в начале прошлого века только по побережью Атлантического океана работало более 750 таких мельниц, из них около 300 — в Северной Америке, 200 — в Британии и примерно 100 — во Франции.

НЕБЕСНЫЙ НАСОС

Большая часть этих мельниц была построена без всякого теоретического обоснования, хотя научная теория приливов появилась еще в 1687 г. и создал ее, как и следовало ожидать, отец закона всемирного тяготения сэр Исаак Ньютон.

По расчетам, мощность земных приливов составляет 2,5 ТВт. Для сравнения: потенциальная мощность всех земных рек чуть превышает 850 МВт



Приливная электростанция в устье реки Ранс, Франция

Основными «виновниками», как люди верно догадывались, оказались Солнце и Луна. Своим притяжением они «подсасывают» земной водяной покров. Причем если Солнце вызывает в сутки лишь один прилив, то Луна отвечает за два. Один происходит, что называется, прямо «под Луной», второй — на совершенно противоположной стороне планеты. Секрет этого второго, парадоксального (на первый взгляд, на противоположной приливу стороне должен быть как раз отлив), прилива заключается в том, что на самом деле не Луна вращается вокруг Земли, а и Луна, и Земля вместе вращаются вокруг одного центра масс, который отстоит от центра Земли примерно на 5 тыс. км, при том что радиус всей планеты составляет приблизительно 6,3 тыс. км. При вращении вокруг этого центра воды Мирового океана под действием центростремительной силы скатываются на сторону, противоположную «подлунной».

Солнечная гравитация, действующая на Землю, в 200 раз сильнее лунной. Но лунные приливы почти в 2,5 раза мощнее солнечных. Это связано с тем, что характер прилива в большой степени связан с неравномерностью распределения притяжения. Луна по сравнению с Солнцем имеет почти точечный размер, ее радиус меньше радиуса светила в 411 раз. Примерно во столько же раз она ближе к нам, чем Солнце. Соответственно, солнечное притяжение распространяется на всю освещенную сторону планеты почти равномерно, понемногу притягивая воду. Луна же притягивает ближний участок значительно сильнее, чем отдаленные, образуя на водной поверхности настоящий горб. В открытом море он невысок, не более одного метра. Но по мере приближения к суше высота его многократно увеличивается. Как в случае с цунами, низенькая, но многотысячметровая волна, упираясь в сушу и набегающая сама на себя,

постепенно растет. Наиболее интенсивным этот рост получается в узких местах побережий — проливах, сужающихся заливах, устьях рек. Доходит до того, что некоторые реки во время мощных приливов меняют направление течения на противоположное. На Северной Двине действие приливов в виде замедления течения ощущается за 200 км от устья, а на Амазонке — до 1,4 тыс. км. Попав в узкую речную заводь, прилив может создавать высокую, до 5 м, волну, движущуюся против течения со скоростью 7 м/с. В Бразилии такую волну называют «порока», во Франции — «маскаре», в Британии — «бор». «Порока», кстати, при удачном стечении обстоятельств, проходит по Амазонке до 300 км.

Удачное стечение случается тогда, когда лунный прилив совпадает с солнечным. Такой прилив называется сизигийным, поскольку происходит в дни сизигий — новолуний и полнолуний. Прямая противоположность сизигийным — квадратурные (происходящие в дни квадратур: первой и последней четверти нашего спутника) приливы. Здесь Луна и Солнце располагаются под прямым углом по отношению к Земле и не просто не помогают, но мешают друг другу, оттягивая на себя чужие порции воды. В результате вода во время сизигийных приливов поднимается на в 2,7 раза большую высоту, чем во время квадратурных приливов.

Высота прилива в некоторых местах действительно впечатляет. В районе залива Фанди (атлантическое побережье Канады) разница уровней воды может достигать 18 м (высота шестиэтажного дома). В устье реки Северн (Бристольский залив, Англия) высота прилива доходит до 16,3 м, в Гранвиле (Франция) перепад уровней воды доходит до 14,7 м, а в Сен-Мало — до 14 м. В то же время прилив в Финском заливе редко превышает уровень 4–5 см, а в районе Трапезунда (Черное море, Турция) — 8 см.

ЛУННЫЙ КИЛОВАТТ

По расчетам, мощность земных приливов составляет 2,5 ТВт. Для сравнения: потенциальная мощность всех земных рек чуть превышает 850 МВт.

До начала прошлого века эти мощности мы худо-бедно использовали с помощью тех же приливных мельниц. Кое-где были построены еще и приливные насосы, приливные подъемники и даже приливные лесопилки. Однако после того как человечество познакомилось с фантастически дешевой и доступной энергией сгорания углеводородного топлива, все другие способы ее добычи отошли в сторону.

Вновь вспомнили о мощном альтернативном энергоресурсе лишь во второй половине XX в. Первыми за сооружение промышленных ПЭС (приливных электростанций) взялись французы. Еще в 1925 г. они присмотрели перспективное место под приливную электростанцию *Aber-Wrac'h* (департамент Финистер). И не просто присмотрели, а даже начали строительство, но из-за финансовых проблем к 1930 г. забросили. Однако конструкторские наработки, которые энергетики планировали использовать на этой ПЭС, пригодились при строительстве следующей, которая и стала действительно первой.

Идея построить работающую на энергии приливов электростанцию в устье реки Ранс (провинция Бретань) родилась еще в 1921 г. Место для этого было как нельзя более подходящим. Даже в самые плохие квадратурные дни вода здесь дважды в сутки стабильно поднималась на 8 м, а в дни сизигий высота прилива достигала 13,5 м. Но путь от идеи до ее воплощения оказался долгим. Только в 1943 г. Общество по изучению использования приливов (*Société d'étude pour l'utilisation des marées, SEUM*) провело необходимые исследования и составило необходимое техническое обоснование проекта ПЭС «Ля Ранс». Сами же работы по строительству начались только в 1961 г.

Два года ушло на осушение строительной площадки. 20 июля 1963 г., когда бассейн будущей ПЭС был надежно заблокирован двумя мощными дамбами, состоялась церемония закладки первого камня в фундамент. А 26 ноября 1966 г. построенную «Ля Ранс» открыл лично президент Франции генерал Шарль де Голль. Плотина общей длиной почти 800 м отгораживала приливной бассейн

общей площадью 22,5 км². Собственно на электростанцию у плотины отводилось 332,5 м. На этом участке было смонтировано 24 турбины общей мощностью 240 МВт. Сейчас эта электростанция — крупнейшая в Бретани, на ней производится около 60% электроэнергии провинции, за год — более 600 млн кВт·ч. Постройка обошлась французам в 620 млн франков (на сегодняшние деньги — примерно €740 млн). Однако за время работы станция себя уже давно окупала, и теперь ее электричество стоит дешевле, чем ток АЭС и ГЭС, — 1,8 цента за кВт·ч против 2,5 центов.

Станция во Франции была построена, начало приливной энергетике было положено — и на этом дело остановилось. Почти.

БЫСТРЕЕ, ВЫШЕ, СЛАБЕЕ

В России первые приливные мельницы были построены на Белом и Баренцевом морях еще в XVII в. Приливы здесь поднимают воду на высоту до 10 м. И когда в начале 1960-х гг. руководство СССР узнало, что французы строят первую ПЭС, вопрос о том, у кого приоритет больше, решился моментально. Наш ответ капиталистам решено было дать в Баренцевом море на Кислой губе, недалеко от поселка Ура-Губа. Место, будто специально созданное для этого природой, — естественный залив площадью более 1 млн м², глубина — около 35 м и узкое, всего 40 м, горло залива. Единственными существенными минусами было то, что площадка располагалась довольно далеко от других промышленных и строительных объектов и к ней не было подведено нормальных дорог.

Чтобы ускорить темпы строительства, конструкторы придумали способ, который сейчас называется наплавным. А именно: здание размером 36 × 18,5 м и высотой 15,35 м, которое одновременно служило и плотиной, было построено не на Кислой губе, а в строительном доке на мысе Притыка, рядом с Мурманском. А после постройки его вместе с уже смонтированным оборудованием вывели из дока и отбуксировали по месту службы, где установили на выровненное и подготовленное дно. Открыли станцию в 1968 г.; она была оборудована двумя гидроагрегатами общей мощностью 400 кВт.

Конечно, 400 кВт даже для конца 1960-х гг. было не бог весть что. Но эта станция принесла миру никак не меньше пользы, чем ее сестра на Рансе, потому что именно она стала одной из основных мировых экспериментальных площадок по отработке новых технологий, связанных с приливной энергетикой. Одно из последних ноу-хау — разработка новой ортогональной турбины, работающей при любом направлении потока.



Приливная электростанция в Аннаполис-Ройал, провинция Новая Шотландия, Канада

Одним из минусов турбин, работающих на приливных электростанциях, было то, что между приливами и отливами их приходилось останавливать, чтобы повернуть лопасти. Только в этом случае они вращались в одном направлении и при приливе, и при отливе. Такие остановки через каждые пять-шесть часов приводили к тому, что ПЭС могли использоваться только как резервные электростанции в больших энергосетях. Подумайте сами, понравилось бы вам жить в таком режиме: пять часов в вашем доме электричество присутствует, потом оно выключается и только почти через час включается опять.

Ортогональную турбину примитивно можно представить как бочку, разрезанную на две половинки, закрепленные на оси напротив друг друга. Если их поместить в поток воды, одну из них он будет омывать по внешней стороне, а другую ударять изнутри, толкая ее вперед. Соответственно, вся конструкция при любом направлении потока будет вращаться в одну сторону. Такие турбины уже давно использовали в ветряной энергетике, но для приливной они оказались плохо приспособленными. Разработанные в середине 1980-х гг. в Канаде и Японии прототипы выдавали низкий, 40-процентный КПД. Зарубежные специалисты отчаялись произвести на их основе что-то стоящее и забыли об идее. Разворачивать лопасти им показалось легче. Зато от нее не отказались наши ученые. В результате за 11 лет они разработали горизонтальную турбину, которая в зависимости от диаметра выдавала КПД от 60 до 75%. Установив такой агрегат на Кислогубской ПЭС диаметром 2,5 м, конструкторы увеличили ее выходную мощность с 400 до 580 кВт.

БОЛЬШЕ, ЛУЧШЕ, КРАСИВЕЕ

Но все-таки освоение дешевой энергии приливов оказалось настолько дорогим, что следующая промышленная ПЭС была открыта только в сентябре 1984 г. На этот раз приливами заинтересовалась Канада. Свою станцию мощностью 20 мВт она построила в устье реки Аннаполис, на острове Хогс. Амплитуда приливов тут колеблется от 4,4 до 8,7 м.

И снова затишье на долгие два десятилетия.

Активизация началась только в начале нового тысячелетия. В сентябре 2003 г. ПЭС мощностью 300 кВт была запущена в Норвегии. Постройка станции обошлась в \$11 млн, за год она выдавала около 700 тыс. кВт·ч электроэнергии, однако проработала недолго, всего четыре года, затем проект был свернут.

А чуть раньше, в июне того же года, опытную турбину мощностью 300 кВт на Девонском побережье Великобритании установила компания *Marine Current Turbines (MCT)* («Турбины морского течения»). Впрочем, девонская ПЭС в корне отличается от своих предшественниц прежде всего тем, что у нее отсутствуют плотина и отгораживаемый ею приливный бассейн. В сущности, это обычный ветряк, только опущенный под воду. Такой способ получения приливной энергии еще в 1960-х гг. предлагал использовать советский ученый, доктор технических наук Б.С. Блинов. Он называл такие гидроэлектростанции в отличие от классических плотинных (гравитационных) свободно-поточными. По расчетам, в такой электростанции двухлопастной пропеллер диаметром 1 м при скорости течения 2 м/с (7 км/ч) может выдавать до 7 кВт мощности. Агрегат от *MCT* снабжен однонаправленным



Кислогубская ПЭС, Россия

пропеллерами диаметром 11 м, в движение его приводит приливное течение. Вращается пропеллер относительно медленно, за минуту он совершает всего 20 оборотов, а это значит, что протесты «зеленых», утверждающих, что ПЭС представляют опасность для местной фауны, мягко говоря, несколько преувеличены.

Протестировав свое детище на девонских берегах, компания уже в августе 2008 г. поставила еще одну станцию у берегов Северной Ирландии, в зоне действия приливного течения залива Странгфорд-Лох. Новая ПЭС получила название SeaGen («Морской генератор»). Тут уже на одной подводной башне закреплены две турбины диаметром 16 м каждая, лопасти которых вращаются еще медленнее, делая всего 14 оборотов в минуту, но энергии при этом производя значительно больше, чем девонская предшественница. При необходимости, например при поломке, башня может раздвигаться, как подзорная труба, поднимая турбины над водой. В октябре 2012 г. компания подвела предварительные итоги работы станции, и они оказались вполне положительными. При установленной мощности в 1,2 МВт она вырабатывала 22,53 МВт·ч в день, выдавая в среднем 1 ГВт·ч за 68 дней, что эквивалентно годовой выработке в 5,4 ГВт·ч.

Однако самой мощной продолжала оставаться французская «Ля Ранс» — вплоть до 2011 г., когда в Южной Корее открыли станцию мощностью 254 МВт (на 14 МВт больше, чем во Франции) — Сихвинскую ПЭС. Озеро Сихва, на котором



Четвертая по величине приливная электростанция в мире, расположенная в Вэньлине, провинция Чжэцзян, Китай

работает станция, расположено в 40 км от Сеула. По сути, это даже не озеро, а морской залив, отгороженный от Желтого моря дамбой. Приливы здесь достигают высоты 9 м. Через десять турбин станции за год проходят около 60 млрд т воды. Годовой выработки в 552,7 ГВт·ч достаточно, чтобы «прокормить» расположенный рядом полумиллионный город Ансан.

Сегодня в Корее на стадии строительства находятся еще две более мощные станции — на 800–1300 МВт, 520 МВт. В остальных странах

«Гринпису» на заметку

В плане экологии приливная энергетика — одна из самых чистых.

В отличие от ТЭС приливные станции не выбрасывают в атмосферу углекислый газ, серу или золу.

В отличие от ГЭС при постройке ПЭС не нужно затоплять земли; кроме того, нет опасности рукотворного речного цунами при прорыве плотины.

В отличие от АЭС даже в случае самой серьезной аварии радиационный уровень в округе не вырастет ни на один рентген. Исследования на Кислогубской ПЭС показали, что плотины стандартных приливных электростанций вполне

биологически проницаемы в отличие от ГЭС. В последних вода проходит через турбину под чудовищным напором, и лопасти ее ротора перемалывают все, что возможно. На ПЭС же и напор послабее, и лопасти крутятся значительно медленнее. Поэтому даже рыбы проходят через нее почти беспрепятственно. Не вредят приливники и основному рыбьему корму — планктону, его тут погибает не более 10% (на ГЭС — от 83 до 99%).

Экологи боялись, что в бассейне ПЭС упадет соленость воды, что плохо скажется на его фауне. И исследования подтвердили, что соленость действительно снижается, но всего на 0,05–0,07%, что ни рыбы, ни растения ощутить просто не могут.

И еще одно возражение экологов. Приливы, «цепляясь» за дно

океанов, тормозят вращение Земли. Используя их энергию, замедляя отдачу воды при отливе, мы способствуем этому торможению, делая его более интенсивным, что может привести к серьезным экологическим изменениям. Это на самом деле так. Но расчеты показали, что если мы будем отнимать у приливов электростанциями 1 ТВт (энергопотребление всего человечества на сегодня составляет чуть больше 13 ТВт), то такое воздействие за столетие увеличит длительность наших суток на 10^{-12} с, что в 2 млрд раз меньше, чем скорость естественного приливного торможения — примерно 0,002 с за столетие. Гораздо больший эффект произведет попытка остановить мчащийся товарный состав голыми руками.

ПЭС имеют экспериментальный характер и вырабатывают минимум энергии. Среди таких стран Канада (20 МВт), Китай (3,2 МВт), Нидерланды (1,2 МВт), Индия (план на 50 МВт).

Но 254 МВт и даже 1,3 ГВт — это далеко не предел. Еще во времена СССР были разработаны и полностью просчитаны куда более грандиозные проекты. На Охотском море запланирована постройка Тугурской ПЭС мощностью 3,6–8 ГВт. Энергия от этой северной электростанции будет направлена в Юго-Восточную Азию.

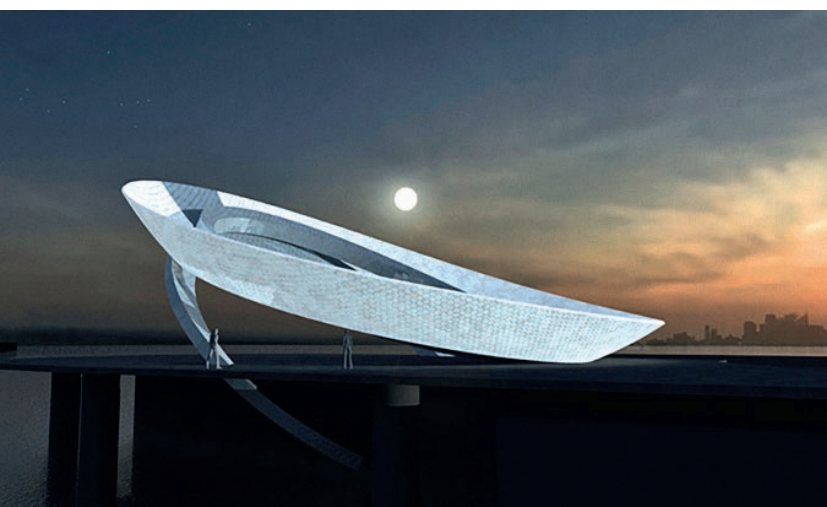
В утвержденной еще в РАО «ЕЭС» Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2020 г. на 2016–2020 гг. было запланировано начать подготовительные работы по строительству на Белом море Мезенской ПЭС. Площадь отсекаемого для нее бассейна составит 2640 км² (в 120 раз больше, чем на Рансе). Предполагаемая мощность составит от 11 до 24 ГВт — в зависимости от того, какие агрегаты будут установлены. Общая протяженность плотины по проекту равна 53,2 км. Сооружаться она будет уже описанным наплавным способом на глубине до 10 м. Вырабатываемые станцией в год 40 млрд кВт·ч будут поступать в объединенную энергосистему страны и экспортироваться в Европу. Стоимость проекта оценивается в \$12,2 млрд, или \$1072 за кВт·ч (при мощности 11,4 ГВт). Для сравнения: последние из крупных построенных у нас ГЭС, Гилюйская и Средне-Учурская, стоили соответственно \$1587 и \$1316 за кВт·ч. Расчетная стоимость электроэнергии, получаемой от Мезенской ПЭС, в два раза меньше, чем на Гилюе: 31 цент за кВт·ч против 63 центов. Вообще, при длительном использовании ПЭС ее энергия получается самой дешевой из возможных. В связи с накопившимися проблемами сроки строительства были отодвинуты, однако отказываться от него никто не собирается. Более того: на месте будущего

строительства уже реализован предварительный проект Малой Мезенской ПЭС мощностью 1,5 МВт. Предполагается, что сама станция будет состоять из серии именно таких малых ПЭС.

Но и Мезенская ПЭС, если сравнить ее с другим российским проектом, Пенжинской ПЭС, выглядит почти игрушкой. Спроектированная для района Пенжинской губы в Охотском море, где приливы достигают рекордных для Тихого океана 12,9 м, при площади бассейна 20,5 тыс. км² она могла бы выдавать от 87 до 120 ГВт мощности. Ни один проект в мире даже не приближается к такому показателю. Реализация первой очереди намечена на 2020–2035 гг., общая стоимость составит \$260 млрд (первая очередь — \$60 млрд).

Но это все капитальные сооружения. А в июне 2006 г. двое ученых из английского Саутгемптонского университета Стив Тернок и Сулейман Абу-Шарх разработали и в 2011 г. выпустили в продажу портативные приливные генераторы, так сказать, для личного пользования. Внешне агрегат напоминает небольшую самолетную турбинку диаметром 25 см. Основное преимущество турбины — простота и дешевизна. Разработчики намереваются наладить массовое производство таких турбин, чтобы каждый житель Земли, живущий недалеко от приливов, смог бы запитать от океана (моря, реки) свои телевизоры (компьютеры, электробритвы).

Энергию приливов хотят использовать даже дизайнеры, но уже в эстетических целях. В рамках проекта *Aluna* они хотят построить в Англии и Австралии гигантские лунные часы диаметром 45 м и высотой 15 м. По замыслу британского дизайнера Лоры Уильямс, руководителя созданной под это начинание общественной организации *Aluna Limited*, часы будут представлять собой три светящихся диска. Внешний будет светлым сектором отображать фазу Луны. В полнолуние он будет полностью освещен, в новолуние — практически черен и т.д. Средний диск небольшим освещенным сектором будет показывать положение нашего спутника относительно находящегося в центре наблюдателя. Внутренний, торчащий из земли, диск будет показывать уровень прилива в данное время в данном месте. Энергию для *Aluna* будет давать небольшая расположенная поблизости приливная турбина. Все это, конечно, пока красивый проект, но ведь так хорошо будет постоять или посидеть под такими часами и посмотреть на Луну, благодаря которой будет действовать вся эта красота. Тем более что в современном мире с его кризисами и скачками цен на нефть мы на нее, такую величественную, спокойную и близкую, так редко смотрим. ■



Энергию для лунных часов *Aluna* будет давать сама Луна, а поможет в этом установленный неподалеку приливной электрогенератор



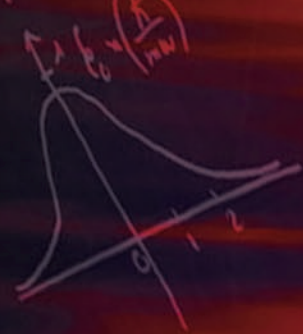
$$(a) = \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{1} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{n} \end{bmatrix}$$

$$(a^{\dagger}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \sqrt{3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{n+1} \end{bmatrix}$$

$$\int_0^{\alpha} \frac{d\theta}{(\theta_0^2 - \theta^2)^{3/2}} = \left[\text{Arctan} \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right) \right]_0^{\alpha}$$
$$= \left(\frac{\theta}{L} \right)^{1/2} t$$

$$\psi_0(x) = \langle x | \psi_0 \rangle = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar} \right)^{1/4} e^{-\frac{1}{2} \frac{m\omega}{\hbar} x^2}$$
$$\psi_n(x) = \left[\frac{1}{2^n n!} \left(\frac{\hbar}{m\omega} \right)^{1/4} \right]^{1/2} \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar} \right)^{1/4} \left[\frac{m\omega}{\hbar} x - \frac{d}{dx} \right]^n e^{-\frac{1}{2} \frac{m\omega}{\hbar} x^2}$$

$$\psi_n(x) = \left[\frac{1}{2^n n!} \left(\frac{\hbar}{m\omega} \right)^{1/4} \right]^{1/2} \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar} \right)^{1/4} \left[\frac{m\omega}{\hbar} x - \frac{d}{dx} \right]^n e^{-\frac{1}{2} \frac{m\omega}{\hbar} x^2}$$



$$[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$$
$$[\hat{x}, \hat{p}^2] = 2i\hbar \hat{p}$$
$$[\hat{p}, \hat{x}^2] = -2i\hbar \hat{x}$$

$$(\hat{x} - i\hat{p})(\hat{x} + i\hat{p}) = \hat{x}^2 + \frac{1}{2}$$
$$E = mc^2$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{(g/L)^{1/2}}{2\pi}$$
$$J_a = (\hat{p} \hat{x})_a = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$$
$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

ЦАРИЦА НАУК НА СЛУЖБЕ ГЕОЛОГИИ

Томский политехнический университет взял курс на создание максимально открытой образовательной среды. По мнению временно исполняющего обязанности ректора ТПУ доктора физико-математических наук **Андрея Александровича Яковлева**, это обеспечит прозрачность информационных потоков как для коллектива ведущего инженерного вуза страны, так и для студентов. Наша беседа — о лидерстве, значимости партнерских отношений и универсальности математики.



Доктор физико-математических наук А.А. Яковлев

— Андрей Александрович, ваша научная карьера началась с фундаментальных исследований или вы были ориентированы на решение прикладных задач?

— Я всегда считал, что математика — мой хлеб, поэтому занимался фундаментальной наукой. Моя диссертация была посвящена спектральной теории дифференциальных операторов на многообразиях со слоениями. Это междисциплинарное направление на стыке математической физики, дифференциальной геометрии и функционального анализа, которое призвано решать задачи фундаментальной науки. Спектральная теория операторов представляет собой математическую основу для изучения задач атомной физики, акустики, электродинамики, гидродинамики.

— А как получилось, что вы в дальнейшем сделали выбор в пользу прикладных исследований?

— После защиты диссертации нужно было определиться, в каком направлении двигаться дальше — продолжить работу в качестве постдока или остаться дома. Я остался, и заведующий кафедрой В.А. Байков, который стал моим вторым научным руководителем, предложил пойти в научно-исследовательский и проектный институт российской вертикально интегрированной нефтяной компании «Роснефть».

Сейчас я могу с уверенностью сказать, что решать прикладные задачи непросто. Как правило, не хватает инструментов для их решения. Так я попал в прикладную науку и, будучи математиком, стал геологом.

— Как же так вышло?

— В данном случае слово «геолог» — это некий сленг. В нефтяной компании главный

геолог играет определяющую роль. Он отвечает не только за исследования и геологическую обстановку, но и за разработку месторождений. И это происходит на стыке дисциплин, соответственно, наряду с геологией необходимо знать математическую статистику, теорию вероятности, математические методы моделирования. Такой специалист всегда работает в условиях, когда входных данных недостаточно или они противоречивы. Любая модель — карикатура моделируемого процесса, поэтому она не всегда адекватно отражает реальное положение дел. В таком случае полагаться можно лишь на математику. А если необходимо просчитать, как в сложной среде распределяются фильтрационные потоки, то главный инструмент — математическая физика.

Когда я готовил кандидатскую диссертацию, мой научный руководитель Ю.А. Кордюков предложил мне выступить на конференции в Новосибирске. Там я познакомился с И.А. Таймановым. Он математик, академик, человек, которого отличают блестящая эрудиция и потрясающая способность буквально на пальцах объяснять сложнейшие вещи. Приведу пример. У нас была задача увязки анализа ядра и данных геофизических исследований скважин (ГИС) в условиях неоднозначности, неполноты и противоречивости входной информации. В институте «РН-УфаниПИНефть» мы четыре года работали над ее решением, подключили суперкомпьютер УГАТУ... Машина считала, а уверенности в результате не было. В какой-то момент я рассказал об этом И.А. Тайманову, почти случайно, за чашкой кофе. Через четыре месяца раздался звонок и Искандер Асанович очень

буднично сказал: «Андрей, приезжай, мы решили твою задачу». Потом на семинаре в Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН мы еще три часа разбирались с решением, пока Тайманов за десять минут просто и наглядно не изложил теорию динамического программирования. На обратном пути в самолете я написал алгоритмы, через неделю их запрограммировали, вскоре метод был взят на вооружение.

Стечение обстоятельств привело меня к прикладным исследованиям, но я никогда не оставлял фундаментальную науку как в альма-матер, так и в Институте математики с вычислительным центром Уфимского научного центра РАН и в Томском научном центре.

— Как развивается современная математика? Насколько важны фундаментальные исследования для решения прикладных задач?

— Как мне кажется, деление науки на фундаментальную и прикладную весьма условно. Важно понимать, с какой терминологией необходимо работать. Я бы разделил науку по другому принципу. Научные знания так или иначе ассоциируются с фундаментальной наукой, которая основана на естественно-научной картине мира. Человек формулирует и доказывает теоремы, леммы и пр. И все они инвариантны относительно пространства и времени. Когда речь идет о природе, результат справедлив для того, что было, существует сегодня и будет существовать завтра. Поэтому совершенно неважно, к чему ты прикладываешь полученные знания, — ведь, как правило, они будут описывать конкретный объект или явление. Это одна картина мира.

Другая, деятельностная, картина мира описывает научную работу с искусственно созданными вещами, приборами. Главная цель — понять, как они работают, и приобрести технические знания.

Моя работа была основана на естественно-научной картине мира. Но когда я перешел в другую область и стал заниматься прикладными исследованиями, фундаментальная наука не ушла на второй план. Фундаментальная наука — это база. Тем не менее мировоззрение, отношение к исследованиям действительно меняется.

— Ваша научная деятельность связана с методами математического моделирования геологического строения пласта. Как в этом случае используются математические методы?

— Основной вопрос не в математических методах, а в задаче. Важно не то, что ты можешь сделать, а то, что тебе нужно сделать. В этом также проявляется отличие фундаментальной науки от прикладной. Показательный случай произошел на защите моей докторской диссертации, посвященной математическим методам воспроизведения геологического строения пласта по данным ГИС и добычи из скважин. Мы получили очень хороший результат, но академик С.К. Годунов, который присутствовал на докладе, обратил внимание на один тонкий момент и задал вопрос: «Как вы доказали справедливость данного утверждения?» Я ответил примерно так: «Вот план, вот факт: все совпало». После этого Сергей Константинович привстал и, обернувшись к коллегам, сказал: «Видите, как нужно доказывать результаты важного прикладного значения! План — факт — совпадение». Позже, кстати, мне удалось строго показать оптимальность предложенного подхода.

Прикладная наука всегда направлена на решение конкретных проблем. Эти проблемы формулируются не на языке математики. Поэтому первый шаг, который должен сделать специалист, — перевести с языка производства на понятный математический язык. И уже на основе этого перевода можно решать ту или иную задачу.

Например, я работал в области разработки месторождений. Продуктивный пласт обычно находится на глубине 2,5 км. Его исследуют разномасштабно, проводя сейсмические исследования, каротаж (геофизические измерения скважины), извлечение и последующий анализ кернов, пластовых флюидов. Задача математика — по этим измерениям восстановить всю картину, то есть в рамках большой геологической области предсказать, в каком месте нужно искать коллектор, какого он качества, как нужно провести скважину, на каких режимах ее отрабатывать и т.д. К сожалению, легко извлекаемых запасов больше нет. Сегодня все труднее и труднее найти нефтяные месторождения. И я занимался именно этой проблемой — геологическим воспроизведением пласта.

— Какие результаты вы получили?

— Мне на помощь вновь пришла математика. Напомню, что каротаж представляет собой метод исследования строения разреза пласта и его флюидонасыщенности. По сути, это диаграмма измерения геофизического поля, естественной радиоактивности,

показателей сопротивления породы и т.д. Речь идет о разнообразных данных, которые можно интерпретировать точно или работать с конкретными данными. Математика позволяет по-разному смотреть на объект, максимально абстрагируясь от него. Мы создали хороший инструмент, который впоследствии был признан лучшей инновационной разработкой компании «Роснефть» и с модификациями активно применялся и в других нефтяных организациях.

Университет — это партнер студента, каждый студент — партнер университета. Что такое партнерство? Это долгосрочное взаимовыгодное сотрудничество с разделением рисков

Мы предложили рассмотреть каротажную кривую с точки зрения геометрии, чтобы работать не точно, а сразу со всей формой. Такой геометрический подход.

Когда ученый понимает, что детерминированными методами задачу не решить, поскольку данные неоднозначны или противоречивы, он применяет вероятностный, статистический подход. Здесь на помощь приходит спектральная теория, которая еще и позволяет численно распараллеливать задачи. В нефтегазовой отрасли подобный метод практически не применялся. Между тем он дает возможность связывать воедино все полученные данные и результаты моделирования. Геометрия приводит к римановой метрике. Риманова метрика ассоциирована с оператором Лапласа, оператор Лапласа связан с уравнением теплопроводности или с уравнением фильтрации, описывающим однофазную фильтрацию. Таким образом, создается полная картина процесса.

Математика и физика позволяют рассмотреть процессы, структуры и явления с разных сторон. В этом и состоит междисциплинарность данного подхода.

— В Научно-техническом центре «Газпром нефти» вы также отвечали за развитие технологического направления компании. Как вы использовали приобретенный научный опыт?

— Не так важно, занимался ли я фундаментальной наукой или решением прикладных задач. Работая в «Газпром нефти» под руководством профессора М.М. Хасанова, я понял, что при решении сложных общественно значимых задач грань между фундаментальной и прикладной наукой стирается. Если работаешь на фронтах, она иногда становится практически неразличимой. Главным отличием моей работы в компании «Роснефть» было то, что я выступал в роли исполнителя. Это значит, что я решал проблемы, которые уже были обозначены.

Когда я пришел в компанию «Газпром нефть», передо мной стояли другие вызовы. Я встал на место заказчика. Теперь я должен был формулировать задачи для потенциальных исполнителей. Речь идет о совершенно иной специфике. Одно дело — решать поставленные перед тобой конкретные задачи. И совсем другое — когда ты сам формулируешь эти задачи. Важно понимать, для кого будут поставлены эти задачи, то есть учитывать терминологические особенности и специфический язык. Работа с производственной службой предполагает один тип взаимодействия, а с инженером-разработчиком приходится работать по-другому. Если речь идет об университете или исследовательском институте Российской академии наук, то здесь совсем другой язык.

Поэтому главная задача заказчика — выявить проблему, оценить возможности, взвесить некую целесообразность ее решения. И уже после этого сформулировать задачу для исполнителей, чтобы они взялись за решение и успешно довели дело до конца, то есть внедрили в практику. Это самый значимый эффект, который в идеале покрывает все расходы. Над этим я и работал в компании «Газпром нефть».

Вначале я отвечал за развитие технологической стратегии и работал заместителем лидера функции по геологии. В зоне моей ответственности было технологическое направление развития компании в области геологии и разработки. Мы сформировали стратегию развития, выделили целевые ориентиры, разбили их на проекты, составили дорожную карту, определили показатели эффективности и заложили бюджет. Затем уже работали с инновационным поясом. Взаимодействие с университетами и институтами я курировал лично. По большей части именно научные организации вели значимые для компании проекты.

— Помог ли вам опыт работы в качестве исполнителя? С позиции заказчика было легче формулировать задачи?

— Разумеется, опыт помог. Я уверен, что подобный опыт — важная составляющая. Если заказчик не был в роли исполнителя, то вероятность успеха резко снижается, равно как если он долгое время был в роли заказчика. Здесь очень важна золотая середина, черта, за которую нельзя переходить. Человеку сложно перестроиться с одной позиции на другую. Между тем важно найти что-то свое, некое призвание, но при этом всегда обращать внимание и на остальные направления в своей сфере. Они, как мне кажется, всегда взаимосвязаны.

— Хочу поздравить вас с новой интересной должностью. Недавно вы стали врио ректора ТПУ. Это один из ведущих инженерных вузов страны. Как вы сегодня держите баланс между административной работой и научно-исследовательской?

— Я часто вспоминаю, как в 2007 г. приехал в Санкт-Петербург на конференцию, посвященную юбилею Леонарда Эйлера. У нас была обзорная экскурсия по городу, и я занял в автобусе единственное оставшееся свободное место. Рядом сидел академик Ю.Г. Решетняк, выдающийся математик. Я знал его по работам, а тут выпал счастливый случай познакомиться лично. Юрий Григорьевич во время экскурсии рассказывал о «своем» городе, так как родился и долго работал в Ленинграде, а потом переехал в Новосибирск, когда там создавался Академгородок. Я спросил его, не жаль ли было переезжать из Северной столицы в Сибирь, и ответ запомнил на всю жизнь: «Задачи стояли такие, что было не до эмоций». Кто знал, что через 12 лет я сам отправлюсь из Санкт-Петербурга в Сибирь, в Томск...

Когда меня поздравляли бывшие ректоры Томского политехнического университета, они говорили: «Поздравляем и желаем самого главного — здоровья». Именно это они считают главным в работе ректора — и, я думаю, любого генерального директора крупного предприятия.

Отнимает ли административная работа больше времени, чем научная? Я бы сказал, они дополняют друг друга. Я всегда занимался преподавательской деятельностью. Когда-то я преподавал ежедневно. Во время работы в «Газпром нефти» ввиду того, что я курировал инновационный пояс, работы в университете тоже хватало. Я вел семинары, а в Санкт-Петербургском горном

университете долгое время был председателем экзаменационной комиссии у аспирантов, магистров и бакалавров.

Сегодня я здесь, в Томском политехническом университете. В целом административная нагрузка не мешает преподавать и заниматься научными исследованиями. Мне кажется, должность никак не влияет на желание заниматься наукой: либо оно есть, либо его нет.

— При общении со студентами замечаете ли вы в них лидерские качества? Есть ли среди них те, кто стремится к решению прикладных задач в рамках существующих проектов?

— Я смотрю на любого студента как на партнера. Университет — это партнер студента, каждый студент — партнер университета. Что такое партнерство? Это долгосрочное взаимовыгодное сотрудничество с разделением рисков. Студенты действительно на протяжении учебы делят с нами любые риски. При этом всегда хочется быть уверенным, что студент продолжит или работу, или научную деятельность в стенах вуза.

Современный мир стремительно меняется, востребованность качественного образования, знаний только растет. Важно, чтобы полученные компетенции и навыки человек использовал на протяжении всей жизни. Именно поэтому я считаю, что студент — это партнер университета.

Готовы ли они решать серьезные задачи? Здесь, конечно, важны лидерские качества. Любого человека можно назначить руководителем проекта. Но справится ли он? Возможно, нет. Почему? Потому что не всегда это нужно самому человеку. Он может быть в душе исполнителем, или администратором, или стратегом. И в каждом случае лидерство будет проявляться по-разному.

Зачастую люди смотрят на лидерство односторонне. В университете в отличие от крупных компаний распространяется непростая корпоративная культура. Помимо должностных инструкций, помимо структурированной работы каждого человека, университет должен работать согласно образовательным программам. Каждый студент обязан ходить на занятия по расписанию, выполнять предписания и приказы. Но есть и часть неформальных, клубных отношений. Поэтому лидерство как для университета, так и для любой другой организации — вещь непростая. И важно понимать, что направления, в которых проявляется лидерство, везде разные.

— Будучи лидером ТПУ, расскажите, какие задачи стоят сегодня перед вузом?

— Чтобы ответить на этот вопрос, потребуется немало дней непрерывного обсуждения с графиками и показателями эффективности. Если говорить об основных направлениях, то мы уже определили несколько шагов с точки зрения культуры университета. Все процессы должны стать максимально прозрачными. Нельзя переходить дорожку, не зная правил дорожного движения. Невозможно достичь успеха, когда вы в спешке движетесь в потоке, а правила не определены. Они нужны для того, чтобы обеспечить свободу. В противном случае свобода превратится в анархию, что помешает достичь общей цели. Это первый и самый важный шаг, который нужно сделать сейчас. Это позволит сформировать возможности для лидерства.

Я убежден, что лидер — это человек, который не просто называет себя лидером, а готов взять полномочия и нести ответственность. Именно для этого нужна некая прозрачная среда. Помимо этого, необходимо развивать культуру сотрудничества, при которой результат коллектива важнее личных успехов.

Конечно, мы хотим, чтобы количество студентов росло. Это, в свою очередь, повлияет на увеличение профессорско-преподавательского состава. Над этим мы сегодня активно работаем. Недавно Томский



Академик И.А. Тайманов

политехнический университет занял 26-е место в новом предметном рейтинге агентства *Quacquarelli Symonds — QS Petroleum (нефтегазовое дело. — Примеч. ред.)*. С этим результатом ТПУ стал лучшим среди вузов России.

Наш университет должен поднимать экономику России, а значит, выпускать инженеров, делиться своими практиками с другими вузами и работать в разных направлениях. Томский политех — это мощный университет. И достижения университета во многом связаны с его сотрудниками. Поэтому еще одна важная задача, которая стоит перед нами, посвящена развитию человеческого капитала, среды, работе с партнерами, модернизации образовательных программ для новых открытий и изобретений.

Искандер Асанович Тайманов, академик, главный научный сотрудник лаборатории динамических систем Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН:

— С чего началась ваша научная работа с А.А. Яковлевым?

— Я познакомился с А.А. Яковлевым в сентябре 2007 г., когда он приехал из Уфы в Новосибирск. Он был учеником моего студенческого друга, а в последние годы соавтора, Ю.А. Кордюкова. Андрей Александрович рассказал о результатах своей кандидатской диссертации на семинаре «Геометрия, топология и их приложения» в Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН. Тогда его исследования имели фундаментальный характер. Однако вскоре он перешел в нефтяную геологию и спустя два года вновь посетил Новосибирск, выступив с двумя докладами о прикладных задачах, которые могут потребовать современной математики.

Я думаю, Андрею Александровичу повезло в том, что он начал работать с В.А. Байковым, который активно и успешно занимался математикой и теоретической физикой, перешел в нефтяную отрасль в середине 1990-х гг. И проявлял активную заинтересованность в применении современных достижений математики в геологии.

Через три года совместной работы в соавторстве с В.А. Байковым, А.А. Яковлевым и моим бывшим учеником Я.В. Базайкиным мы опубликовали статью в журнале «Математическое моделирование». Эта работа была одной из первых, если не первой, по применению топологического анализа

данных в геологии. Задача оказалась для нас очень интересной. Мы искали правильные топологические инварианты, которые описывали бы геологическую среду. Нам удалось реализовать несколько значимых проектов.

Когда Андрей Александрович перешел в «Газпром нефть», наше сотрудничество продолжилось в рамках Междисциплинарной исследовательской лаборатории им. П.Л. Чебышева Санкт-Петербургского государственного университета, начавшей работы по нефтяной геологии. К ним подключились молодые сотрудники из Новосибирска и Санкт-Петербурга, и их результаты докладывались на конференциях в Гамбурге и Пенсильвании.

Последние проекты были выполнены в открывшемся Научно-образовательном центре по нефтегазовой геологии при Новосибирском государственном университете. В июне этого года на конференции по актуальным проблемам механики в Санкт-Петербурге мы представили новые результаты, касающиеся уже не топологических, а геометрических инвариантов горных пород. Если раньше мы рассматривали большие коллекторы, линейные размеры которых достигают сотен метров, то в данном случае речь шла о долях миллиметра, именно поэтому понадобились другие инварианты. То есть новые задачи потребовали применения новых методов — геометрических.

— Какова, по вашему мнению, роль математики в современной науке?

— Этот вопрос давно обсуждается, есть много точек зрения. Однако в рамках короткой беседы лучше ограничиться конкретными примерами. Математика (и в том числе геометрия) развивалась в прямом и успешном взаимодействии с физикой и астрономией. В то же время в 1960–1970-е гг. бытовал тезис о неэффективности математики в биологии. Но появились новые задачи, и сегодня биоинформатика считается одним из ведущих направлений современной биологии.

Если говорить о геометрии, то в ней важнейшее понятие — кривизна. Изначально оно возникло в геодезии при картографировании поверхности Земли, а сейчас лежит в основе теории гравитации.

В этом и состоит сила математики: описывая математическим языком понятия и методы одной науки, абстрагируя их, она дает возможность применять эти методы в совершенно иных областях знания. Работая в сотрудничестве с «РН-УфаНИПИнефть»,

мы применяли некоторые алгоритмы дискретной математики, почерпнутые из книг по биоинформатике.

— Планируете ли вы и дальше работать с А.А. Яковлевым и сотрудничать с Томским политехническим университетом?

В этом и состоит сила математики: описывая математическим языком понятия и методы одной науки, абстрагируя их, она дает возможность применять эти методы в совершенно иных областях знания

— Планы и заделы, безусловно, есть. Во-первых, нами накоплен большой опыт совместной работы. Есть ряд задач, которые появились в результате выполнения предыдущих проектов. К тому же в Томске два с половиной года тому назад был организован Региональный математический центр, который возглавил член-корреспондент РАН А.Ю. Веснин, переехавший в Томск из Новосибирска. Мы вместе с коллегами организовали в 2016 г. конференцию «Декабрьские чтения». Она призвана объединить не только математиков, но и представителей других наук, чьи исследования могут заинтересовать математиков. В этом году мы планируем провести уже пятую конференцию.

Иногда математики не просто ищут конкретные приложения, но хотят знать, что происходит в других науках, чтобы наметить для себя в перспективе, где и когда могут возникнуть математические постановки, а где их, возможно, еще нет.

Дальнейшие контакты с Томским политехом помогут рассматривать задачи не только нефтяной геологии, но и других наук, потому что ТПУ развивается сразу в нескольких направлениях. Новые интересные задачи — это основа, на которой в дальнейшем нужно строить сотрудничество, и хочется верить, что оно будет успешным. ■

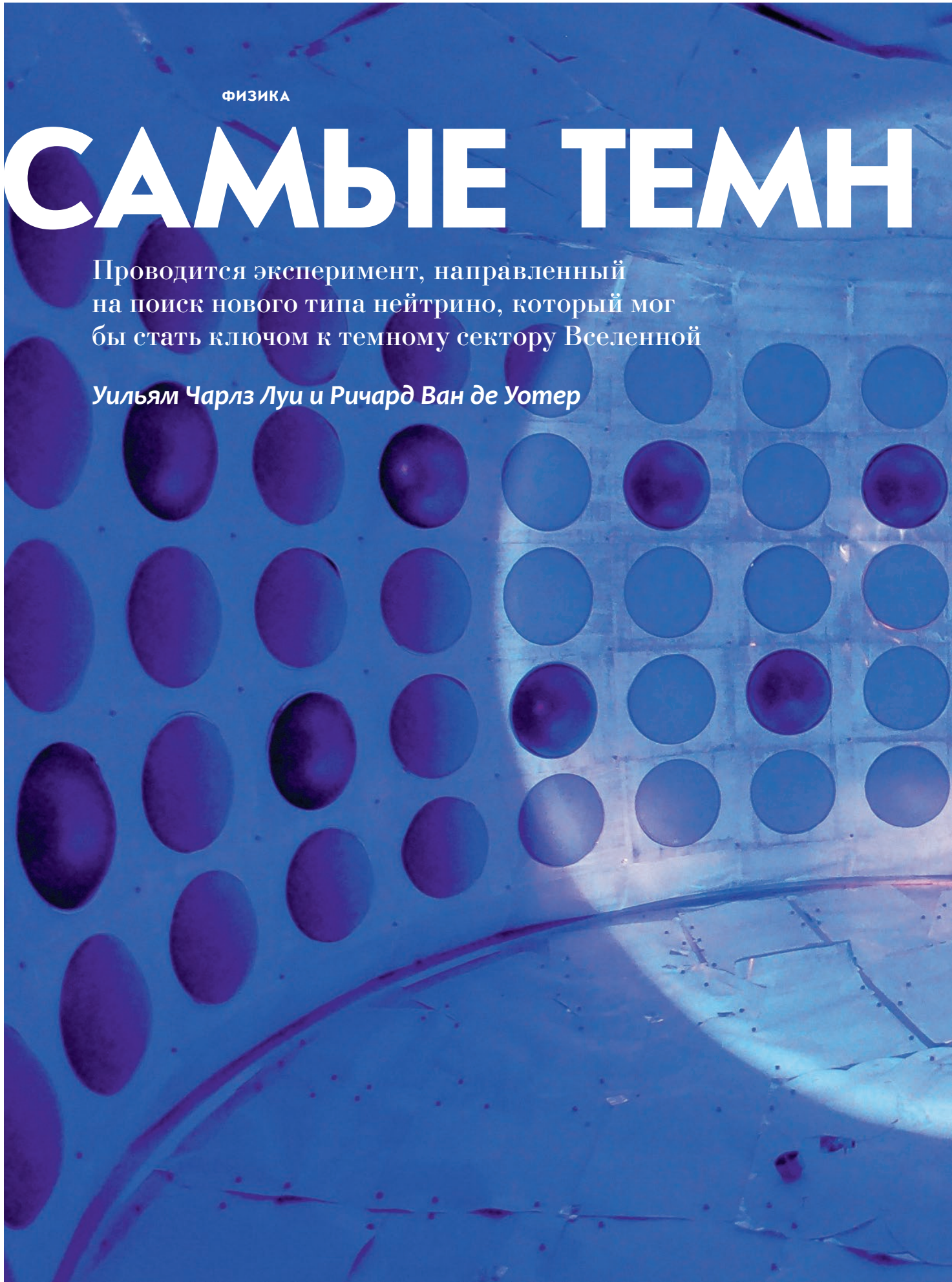
Беседовала Анастасия Пензина

ФИЗИКА

САМЫЕ ТЕМН

Проводится эксперимент, направленный на поиск нового типа нейтрино, который мог бы стать ключом к темному сектору Вселенной

Уильям Чарлз Луи и Ричард Ван де Уотер



ЫЕ ЧАСТИЦЫ

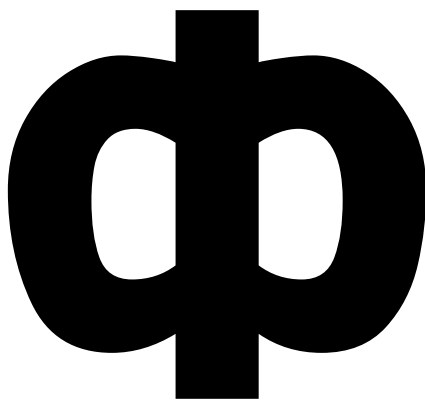
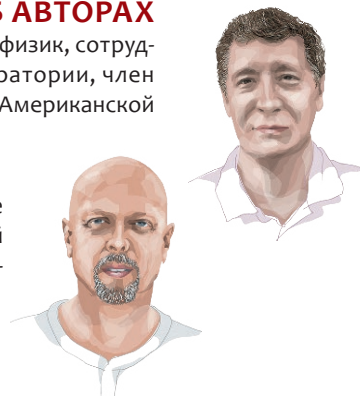
The image shows a close-up, microscopic view of a detector's internal structure. It features a grid of circular holes, likely made of a material like silicon or germanium. The holes are arranged in a regular pattern. Some of the holes contain dark, irregular spots, which are likely tracks left by particles passing through. The overall color is a deep blue, with some lighter blue and white highlights, suggesting a low-light environment or a specific type of illumination. The texture of the material between the holes appears slightly rough and crystalline.

Внутренний вид детектора,
использовавшегося в эксперименте CSM

ОБ АВТОРАХ

Уильям Чарлз Луи (William Charles Louis) — физик, сотрудник Лос-Аламосской национальной лаборатории, член Американского физического сообщества и Американской ассоциации развития науки.

Ричард Ван де Уотер (Richard G. Van de Water) — физик, сотрудник Лос-Аламосской национальной лаборатории, член Американского физического сообщества.



изики, которые собрались на нашу презентацию на нейтринной конференции 2010 г. в Афинах, по-видимому, ожидали, что мы полностью опровергнем спорное открытие десятилетней давности. Вместо этого мы оставили слушателей в ошеломленном молчании.

История началась в 1996 г., когда мы представили данные, полученные на жидком сцинтилляторном нейтринном детекторе (*Liquid Scintillator Neutrino Detector, LSND*) в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Исследования касались широко известной проблемы трех типов (или ароматов) нейтрино, крошечных вездесущих частиц, которые способны пронизать насквозь почти любое вещество.

Согласно нашим результатам, возможно, существует четвертый нейтринный аромат, который остался незамеченным. Научное сообщество было настроено скептически, и действительно первые данные следующего нового эксперимента намекали на то, что наши результаты 1996 г. ошибочны и четвертого нейтринного аромата не существует. В тот день в Афинах настроения аудитории были очевидны: все ожидали, что наши последние данные окончательно закроют дверь для странных результатов *LSND*. Однако мы обнаружили, что доказательства существования четвертого типа нейтрино стали еще более убедительными.

Мы не открыли новую частицу, но наша работа, проведенная в рамках эксперимента на мини-ускорителе нейтрино (*Mini Booster Neutrino Experiment, MiniBooNE*) в Национальной ускорительной лаборатории им. Энрико Ферми в Батавии, штат Иллинойс, показала, что почти наверняка существует проблема с современным пониманием физики элементарных частиц. Наиболее вероятным ее решением стало бы новое нейтрино — «стерильное» нейтрино, названное так потому, что оно никоим образом не взаимодействует с веществом, кроме как посредством гравитации. За десятилетие, прошедшее с момента нашей

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Известно, что фундаментальные частицы, называемые нейтрино, бывают трех видов, или ароматов. Некоторые современные эксперименты показали намеки на существование странного четвертого аромата — «стерильного» нейтрино, которое не подчиняется ни одной из сил природы, кроме гравитации.
- Если стерильные нейтрино реальны, то они выведут нас за пределы Стандартной модели физики элементарных частиц и смогут дать связь с теоретическим «темным сектором», где обитают темная материя и темная энергия.
- Новый эксперимент *CCM (Coherent CAPTAIN-Mills)* в Лос-Аламосской национальной лаборатории направлен на поиск доказательств существования стерильных нейтрино, если они существуют.

презентации в Греции, данные *MiniBooNE* еще больше укрепили аргументы в пользу четвертого аромата нейтрино.

Теперь мы считаем, что существует более чем 99,999999-процентная вероятность того, что за пределами известной физики происходит нечто и стерильные нейтрино — сильные игроки на этой арене. Идея о том, что наши эксперименты могли бы обнаружить четвертое нейтрино, остается спорной. Дело в том, что Стандартная модель физики элементарных частиц — одно из самых проверенных и тщательно подтвержденных теоретических построений в истории физики, и она допускает существование только трех типов нейтрино. Тем не менее мы знаем, что Стандартная модель неполна, потому что она не может объяснить темную материю и темную энергию — это, по всей вероятности, доминирующее в космосе невидимое вещество. Новый нейтринный аромат может оказаться связующим звеном с этим скрытым царством. После многих лет неопределенности по всему миру наконец стартуют несколько новых проектов, включая наш собственный эксперимент *CCM (Coherent CAPTAIN-Mills; короткий базовый нейтринный эксперимент, расположенный*

в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Когерентность означает способ взаимодействия нейтрино с жидким аргоном в детекторе. Слово CAPTAIN расшифровывается как «криогенный аппарат для прецизионных испытаний взаимодействия аргона с нейтрино», эксперимент посвящен Роберту Миллсу, который придумал новую идею поиска стерильного нейтрино. — Примеч. пер.). Возможно, новые проекты смогут раскрыть тайну стерильных нейтрино.

Что такое стерильное нейтрино?

Все нейтрино призрачны. Каждую секунду тысячи миллиардов нейтрино пролетают сквозь нас почти со скоростью света. И все же стерильное нейтрино стало бы самым призрачным из всех. Дело в том, что оно не ощущает сильных, слабых и электромагнитных сил, посредством которых взаимодействуют другие частицы. По существу, стерильное нейтрино необнаружимо. Это качество сделало бы его частью невидимого царства, которое физики называют темным сектором. Последний включает темную энергию и темную материю, которые в совокупности составляют около 95% плотности энергии Вселенной. Стерильные нейтрино могут

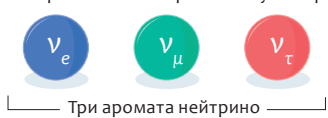
Ароматы нейтрино

Нейтрино — одна из самых удивительных частиц во Вселенной. Предсказывалось, что они вообще ничего не весят, но, как оказалось, нейтрино все же обладают небольшими массами и носятся в пространстве почти со скоростью света, редко взаимодействуя с другой материей. Эти неуловимые частицы играют важную роль для понимания некоторых из самых фундаментальных вопросов физики.

Свойства нейтрино

Существует три типа, или аромата, нейтрино: электронное нейтрино, мюонное нейтрино и тау-нейтрино.

Электронное нейтрино Мюонное нейтрино Тау-нейтрино



Ароматы — это не чистые состояния, в действительности есть смесь трех возможных масс, называемых массовыми состояниями

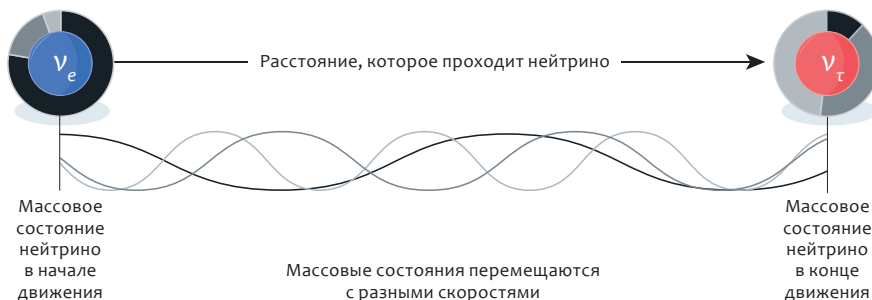


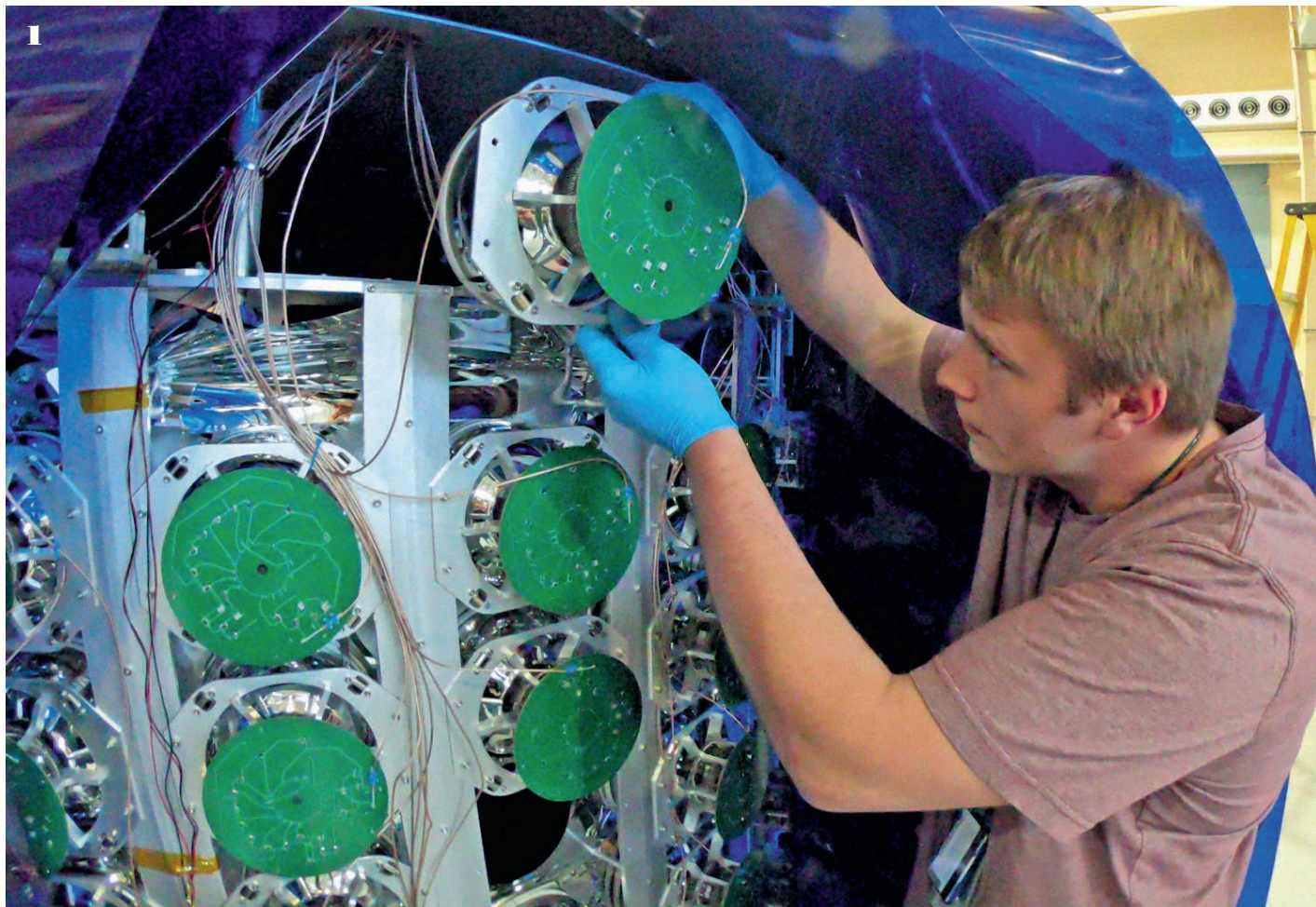
Ученым пока не известно о значениях каждого массового состояния ничего за исключением того, что все три очень малы. Согласно теории, существуют либо две исключительно крошечные массы и одна чуть больше, либо наоборот — одна чрезвычайно маленькая масса и две чуть больше.



Осциллирующие ароматы

Когда нейтрино движется в пространстве, разные массовые состояния внутри них движутся с немного отличающимися скоростями. Со временем существующая дисперсия скоростей изменяет массовое состояние всей смеси и заставляет нейтрино менять аромат — это процесс, называемый осцилляцией. Таким образом, частица, которая начинала свое движение как электронное нейтрино, может закончить движение как тау-нейтрино.



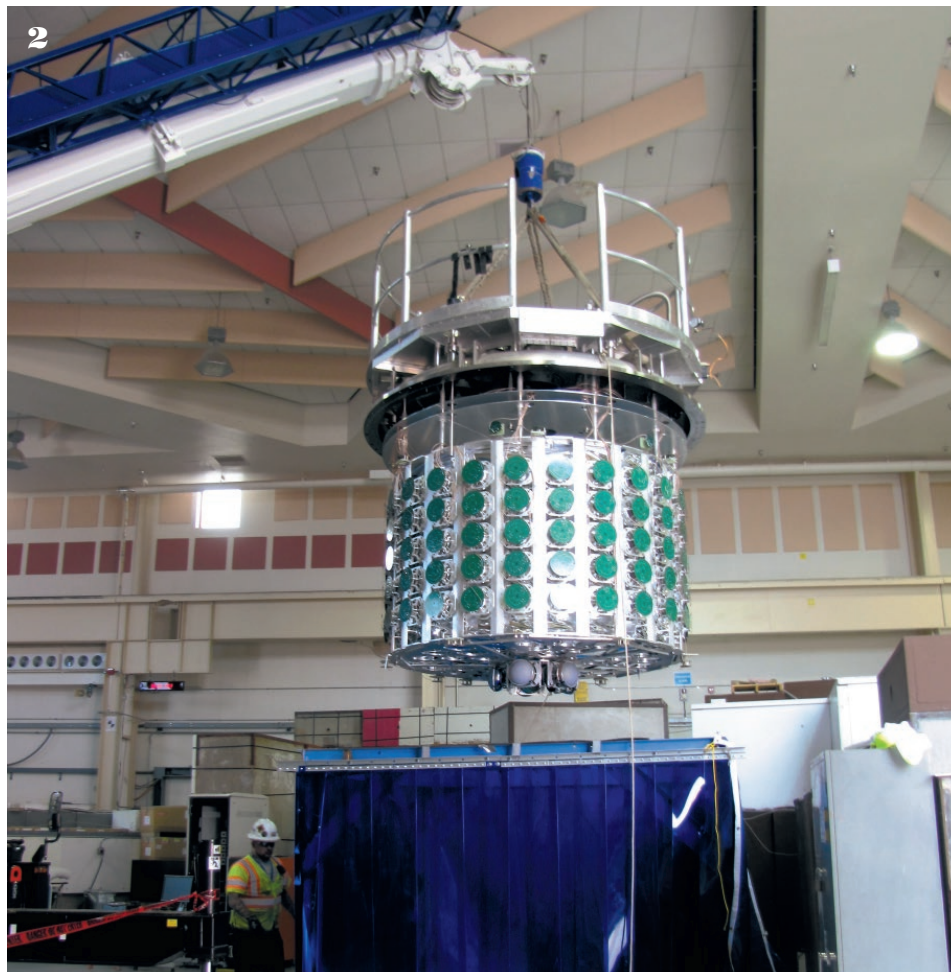


взаимодействовать с темной материей с помощью новой фундаментальной силы. Они сами могут быть частью темной материи. Так, согласно некоторым гипотезам, стерильные нейтрино составляют часть или даже большую часть невидимой материи в космосе.

Если стерильные нейтрино существуют, то для физиков это окажется самым последним сюрпризом в изучении загадочного семейства частиц. Первый такой сюрприз случился в 1960-х гг., когда эксперименты, направленные на ловлю нейтрино, которые летят к нам от Солнца, измерили гораздо меньшее их количество, чем ожидали ученые. Все звезды питаются реакциями ядерного синтеза, в которых протоны объединяются, образуя ядра гелия, которые, в свою очередь, сливаются, создавая более тяжелые элементы. Среди продуктов этих реакций есть электронные нейтрино — один из трех известных ароматов наряду с мюонными и тау-нейтрино. Теория предсказывала, что постоянный поток частиц от Солнца достигнет обсерваторий на Земле, однако эксперименты измерили лишь малую часть ожидаемого числа. Возникший дефицит был известен как проблема солнечных нейтрино.

Многие физики изначально предполагали, что мы просто не совсем понимаем, как работает Солнце. Реальная проблема оказалась и проще, и сложнее, породив новые загадки. Дело было не в том, что Солнце испускало меньше нейтрино, чем ожидалось. Дело было в том, что нейтрино не долетали до наших наземных детекторов — или, скорее, они менялись по пути.

В конце концов ученые выяснили, что нейтрино — это не простой объект. Каждое нейтрино состоит из смеси всех типов нейтрино и при своем движении может осциллировать между различными ароматами, то есть становиться то одним типом, то другим в циклическом порядке. Это открытие было неожиданным по целому ряду причин. Но в первую очередь тот факт, что нейтрино могут менять свой аромат, означает, что они не могут быть безмассовыми частицами, движущимися со скоростью света, как предсказывала Стандартная модель. Причина кроется в специальной теории относительности Эйнштейна (СТО). Согласно СТО, для движущегося объекта время течет медленнее, чем для неподвижного объекта. По мере того как скорость объекта увеличивается, время продолжает замедляться, пока фактически



Сотрудник эксперимента ССМ (Coherent CAPTAIN-Mills) поднимает трубку фотоумножителя, которая будет заменена в рамках модернизации детектора нейтрино (1)

Рабочие поднимают детектор нейтрино ССМ из его контейнера, который во время запуска эксперимента заполняется жидким аргоном (2)

не останавливается. Останавливается оно тогда, когда объект достигает скорости света. Это означает, что если бы вы могли двигаться со скоростью света, то казалось бы, что время остановилось, а вся Вселенная застыла на месте. Однако если нейтрино изменяют свой аромат, то они должны претерпевать изменения и, следовательно, меняться и во времени. Таким образом, они должны двигаться медленнее света, а это значит, что они не могут быть безмассовыми. Согласно теории относительности, частицы, движущиеся со скоростью света, не имеют массы, поэтому если они медленнее, то они должны обладать некоторой массой, а Стандартная модель, соответственно, должна приобрести проблему. Это открытие, а также открытие осцилляции нейтрино принесло Такааки Кадзита (Такааки Кајита) и Артуру Макдональду (Arthur B. McDonald) Нобелевскую премию по физике за 2015 г.

Удивительные сигналы

Неожиданная способность нейтрино «переключаться» между ароматами — это то поле научной деятельности, на котором мы и другие исследователи трудились еще в 1990-х и 2000-х гг. в *LSND*

и *MiniBooNE*, продолжая находить намеки на дополнительное нейтрино. Оба эксперимента были связаны с ускорителями частиц, которые создавали устойчивые потоки мюонных нейтрино, и оба использовали детекторы, расположенные на некотором расстоянии, которые были настроены для наблюдения электронных нейтрино.

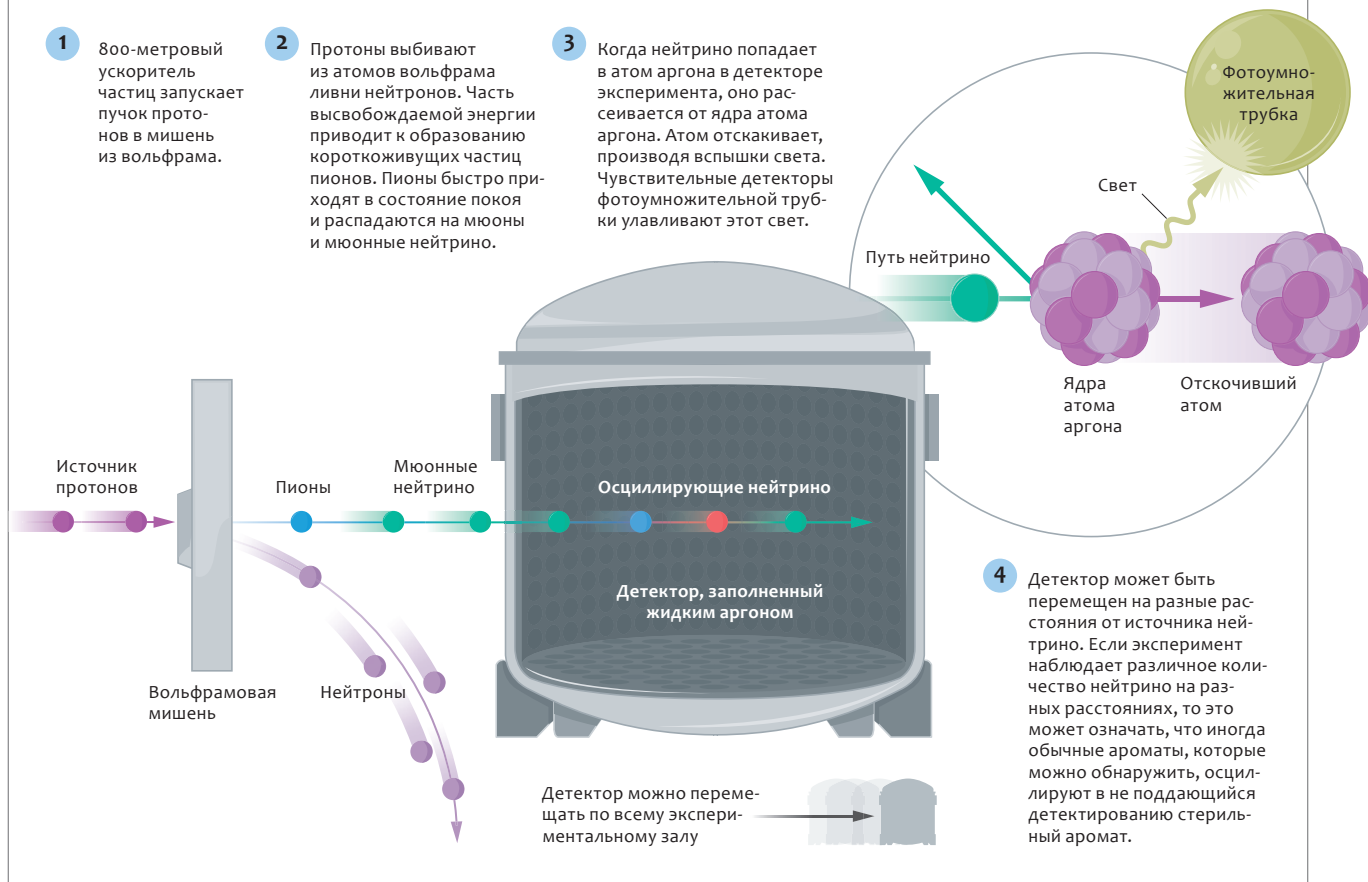
Если бы вы могли лететь рядом с одним нейтрино, когда оно путешествует в пространстве, то вы бы увидели, как оно осциллирует, меняется от одного типа к другому, циклически проходя все ароматы. Электронные, мюонные и тау-ароматы — все это можно было бы наблюдать, по крайней мере в принципе. Однако если стерильные нейтрино существуют, нейтрино также могут трансформироваться и в этот четвертый аромат. Для летящего рядом гипотетического наблюдателя частица просто исчезла бы на некотором отрезке своего полета. В простейшем случае нейтрино появится некоторое время спустя как один из обычных ароматов (хотя существует теоретическая возможность того, что стерильное нейтрино может распасться, полностью завершив цикл осцилляций).

Осцилляции между тремя обычными ароматами нейтрино чаще всего происходят на больших

Нейтрино в действии

Эксперимент *CCM (Coherent CAPTAIN-Mills)* в Лос-Аламосской национальной лаборатории предназначен для поиска доказательств существования четвертого нейтринного аромата: стерильного нейтрино. В отличие от обычных ароматов, которые редко взаимодействуют с другими частицами, стерильные нейтрино никогда не будут взаимодействовать. Общение стерильных нейтрино с остальной Вселенной будет осуществляться

только посредством гравитации. Если стерильные нейтрино существуют, то обычные нейтрино могут осциллировать в стерильные нейтрино и обратно. Эксперимент не смог бы обнаружить стерильный аромат, но заметил бы снижение количества нейтрино, обнаруженных на разных расстояниях, что свидетельствовало бы о том, что нормальные нейтрино «исчезают», иногда превращаясь в своих стерильных собратьев.



расстояниях. Поскольку стерильные нейтрино, вероятно, окажутся более массивными, чем обычные ароматы, то частицы смогут быстрее переключиться на этот тип и вернуться от стерильных к одному из трех обычных ароматов на более коротких расстояниях. Таким образом, если стерильные нейтрино существуют, они должны ускорить процесс осцилляции и резко сократить расстояние, которое мюонное нейтрино, например, преодолело бы, прежде чем превратиться в электронное нейтрино.

Это именно то, что мы обнаружили в наших предыдущих экспериментах: казалось, что мюонные нейтрино исчезали намного быстрее, чем мы ожидали, когда они путешествовали от своих источников, а электронные нейтрино появлялись в количестве, превышающем ожидаемое. Мы наблюдали осцилляции с длинами всего лишь от десятков до сотен метров, а не от десятков до сотен

километров, как ожидалось. Такое большое количество мюонных нейтрино не могло бы перейти в электронные нейтрино на расстоянии эксперимента, если бы, возможно, по пути они не трансформировались в стерильные нейтрино.

Наши эксперименты — не единственные с аномальными результатами. Некоторые детекторы нейтрино, установленные рядом с ядерными реакторами, также обнаружили намеки на что-то неладное. Подобно Солнцу, ядерные реакторы производят нейтрино в качестве побочного продукта, и рядом с ними было проведено несколько экспериментов по изучению частиц. Они обнаружили меньше нейтрино, чем ожидалось, что позволяет предположить, что по пути из реакторов некоторые из частиц могли осциллировать в стерильные нейтрино. Однако эти результаты труднее интерпретировать, поскольку физики не знают точно, сколько нейтрино должно быть произведено

в процессах распада. Следовательно, более низкое, чем ожидалось, количество нейтрино могло быть результатом стерильных нейтрино, или ученые могли просто переоценивать количество частиц, которые они должны были найти.

Российские физики избегают этих неопределенностей с помощью эксперимента под названием *DANSS* (детектор реакторного антинейтрино на основе твердотельного пластикового сцинтиллятора). Этот проект проходит под ядерным реактором, но ученые меняют расстояние между реактором и детектором нейтрино каждые несколько дней, чтобы увидеть, действительно ли электронные нейтрино трансформируются в другие ароматы, удаляясь от своего источника. Этот подход может подсказать исследователям, происходят ли осцилляции на коротких расстояниях, даже если они не имеют точных оценок количества нейтрино, произведенных в реакторе.

Огромная нейтринная обсерватория *IceCube* в Антарктиде также занимается поиском стерильных нейтрино. Этот скрытый в полярных льдах массив фотоприемников объемом 1 км³ регистрирует световой сигнал, называемый излучением Черенкова. Этот сигнал возникает, когда нейтрино высоких энергий из верхних слоев атмосферы взаимодействует со льдом и запускает ливень частиц. Изучение черенковского света, собранного в фотоприемниках, дает ученым информацию о типе, энергии и направлении полета нейтрино, которое послужило причиной ливня частиц.

Команда *IceCube* в ближайшее время представит отчет о восьмилетнем анализе нейтрино, прошедших через Землю в массив детектора *IceCube*. В данных будут искать признаки исчезновения мюонных нейтрино. Если такие признаки будут найдены, это может означать существование стерильных нейтрино, что согласуется с результатами *LSND* и *MiniBooNE*.

Все доказательства существования стерильных нейтрино интригуют и наводят на размышления, но они еще не окончательны. Нейтрино, изучаемые в *IceCube*, обладают широким диапазоном энергий, что делает анализ их осцилляций сложным. Кроме того, в реакторных экспериментах трудно отличить нейтрино, которые ищут исследователи, от фоновых солнечных нейтрино и от радиоактивных распадов в обычных детекторных материалах, которые могут маскироваться под сигналы.

В экспериментах, подобных проведенных в *LSND* и *Mini-BooNE*, ускорители, которые производят нейтрино, можно включать и выключать, чтобы определить уровень фонового шума. Даже в таких экспериментах мы были частично ограничены нашей неспособностью искать нейтрино в достаточно большом диапазоне расстояний. В прошлом методы улавливания нейтрино обычно основывались на больших неподвижных детекторах, которые

ограничивали нашу гибкость. Эти проекты сравнимы со съемкой кадра кинофильма из одной точки, а чтобы получить всю историю, нам нужна последовательность кадров.

Новая стратегия

Новый тип экспериментов, идущих в режиме реального времени, должен быть в состоянии захватить несколько кадров, которые нам нужны. В идеале, как упоминалось ранее, мы должны были бы лететь рядом с нейтрино и смотреть, как оно осциллирует, то есть как переходит от одного типа к другому. Мы, очевидно, не можем этого сделать. Однако эти эксперименты дают способ делать снимки во время процесса осцилляций, которые могли бы выявить следы стерильных нейтрино, если они существуют. Такие проекты включают в себя программу нейтрино с короткой базой в Фермилабе и эксперимент *CCM*, который мы только начинаем в Лос-Аламосе.

CCM размещается в зале Лос-Аламосского нейтронного научного центра (*LANSCE*) в конце 800-метрового ускорителя частиц. Ускоритель запускает пучок протонов в вольфрамовую мишень. Когда протоны попадают в вольфрам, они выбивают из атомов-мишеней ливни нейтронов посредством процесса, называемого расщеплением нейтронов. В течение этого процесса часть энергии высвобождается, что приводит к образованию короткоживущих частиц пионов. Пионы быстро приходят в состояние покоя и распадаются на мюоны и, что более важно для наших целей, на мюонные нейтрино с очень специфической энергией.

CCM обнаруживает нейтрино по когерентному рассеянию последних — эффект, который основан на том факте, что все частицы (включая нейтрино) действуют не только как маленькие шарики, но и как волны. Этот корпускулярно-волновой дуализм — краеугольный камень квантовой механики. Длина волны, ассоциированная с частицей, зависит от ее энергии. Высокоэнергетические, быстро движущиеся частицы обладают короткими длинами волн, а медленно движущиеся, низкоэнергетические частицы — длинноволновые. Когда коротковолновые нейтрино попадают в атомное ядро, они взаимодействуют с одним нейтроном или протоном внутри него. Но когда энергия нейтрино достаточно мала, так что его длина волны становится сравнимой с диаметром атомного ядра, происходит нечто особенное. Вместо того чтобы ударить по одному протону или нейтрону в атоме, низкоэнергетическое нейтрино взаимодействует со всем ядром целиком. Аналогией могут послужить волны, проходящие мимо лодки. Серия короткой ряби на воде почти не влияет на движение большой лодки, но очень длинные волны в открытом океане оказывают

существенное влияние, поднимают ту же самую лодку. Длинноволновое нейтрино взаимодействует с атомным ядром как единое целое. Следовательно, вероятность того, что нейтрино ударит по всему ядру, гораздо выше для низких энергий, а не для высоких.

В отличие от высокоэнергетических нейтрино низкоэнергетические нейтрино отскакивают от всего ядра атома. Этот тип рассеяния называется когерентным, потому что длина волны и ядро схожи размерами. Атом отскакивает, когда его ударяют. Если взаимодействие происходит в подходящем материале, то отскакивающий атом производит мельчайшие световые вспышки и нейтрино продолжает свой путь, хотя и в другом направлении, чем оно направлялось изначально. Регистрируя световую вспышку с помощью чувствительного детектора фотоумножителя, можно определить, когда и где нейтрино рассеивается на атоме, а также кинетическую энергию атома. Хотя когерентное рассеяние не может выявить индивидуальный аромат нейтрино, однако с помощью этого метода можно измерить сумму всех трех известных ароматов нейтрино через взаимодействия. Этот факт имеет решающее значение. Так, если сумма не совпадает с ожидаемым числом нейтрино, то могут быть задействованы неизмеренные стерильные нейтрино, которые не будут рассеиваться на аргоне и, следовательно, не создадут никакой вспышки света.

Учитывая, что наши шансы на попадание нейтрино в целое атомное ядро выше, чем шансы на попадание только в один из его нуклонов, мы можем использовать в таких экспериментах детекторы меньшего размера по сравнению с теми гигантскими, которые были необходимы для многих детекторов нейтрино в прошедшие годы. В отличие от 800-тонного детекторного чана *MiniBooNE* с минеральным маслом детектор *CCM* содержит 10 т жидкого аргона. Поскольку детектор компактен, мы можем перемещать его с места на место, чтобы наблюдать нейтрино на различных расстояниях от их источника. Если нейтрино осциллируют достаточно часто на протяжении десятков метров, доступных в экспериментальном зале *LANSCE*, мы будем наблюдать, как общая сумма взаимодействий нейтрино изменяется в зависимости от расстояния. Такое наблюдение стало бы неопровержимым доказательством того, что осцилляции в стерильных нейтрино происходят — потому что только с тремя ароматами мы вообще не увидим осцилляций на таких малых расстояниях.

Конечно, существует вероятность того, что *CCM* не найдет никаких свидетельств существования стерильных нейтрино. В этом случае наблюдения известных нейтрино, по-видимому, будут неуклонно уменьшаться по мере удаления детектора

CCM от вольфрамовой мишени, так же как видимая яркость лампочки уменьшается по мере удаления от нее.

Хотя это и разочаровывает, отрицательный результат детектирования не исключает существования одного или нескольких стерильных нейтрино. Такой отрицательный результат позволил бы ограничить некоторые свойства стерильных нейтрино. Поскольку осцилляции нейтрино зависят от относительных масс нейтрино и параметра, известного как угол смешивания, то неспособность найти признаки стерильного нейтрино может дать нам представление о том, что относительные массы и углы смешивания вряд ли будут. Таким образом, будет эффективно сужен диапазон параметров, которые должны учитывать будущие поиски стерильных нейтрино.

За пределами Стандартной модели

Экспериментаторы, предлагающие результаты, противоречащие Стандартной модели, считаются виновными до тех пор, пока не будет доказана их невиновность, потому что исторически ученые, бросавшие вызов Стандартной модели, оказывались неправы. Тем не менее очевидно, что Стандартная модель — это еще не вся история. Одни только нейтринные осцилляции уже представляют собой доказательство этого факта.

Нейтринные исследования были предвестником захватывающих событий в физике с момента обнаружения первых нейтрино в 1956 г. нашими лос-аламосскими предшественниками Фредериком Рейнсом (Frederick Reines) и Клайдом Коуэном (Clyde Cowan). Тема стерильных нейтрино остается спорной спустя 25 лет после того, как были впервые обнаружены их признаки. Но современный высочайший уровень экспериментов подразумевает однозначный ответ на вопрос об их существовании. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Москович К. Загадка нейтрино // ВМН, № 12, 2017.
- Significant Excess of Electronlike Events in the MiniBooNE Short-Baseline Neutrino Experiment. Alexis A. Aguilar-Arevalo et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 121, No. 22, Article No. 221801; November 30, 2018.
- Bounds on Non-standard Interactions of Neutrinos from IceCube DeepCore Data. Sergei Vladimirovich Demidov in *Journal of High Energy Physics*, Vol. 2020, No. 3, Article No. 105; March 2020.

Реклама

12+



КАНАЛ
НАУКА



ЖИЗНИ ИСКУССТВО ЖИЗНИ

ПРЕДСТАВЬТЕ СЕБЕ БЕСКОНЕЧНУЮ ЖИЗНЬ.
ХОТЕЛОСЬ БЫ?



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА
телеканал



КАНАЛ
НАУКА



ЖИВЯЯ ПЛАНЕТА
телеканал



ПЛАНЕТА HD
телеканал



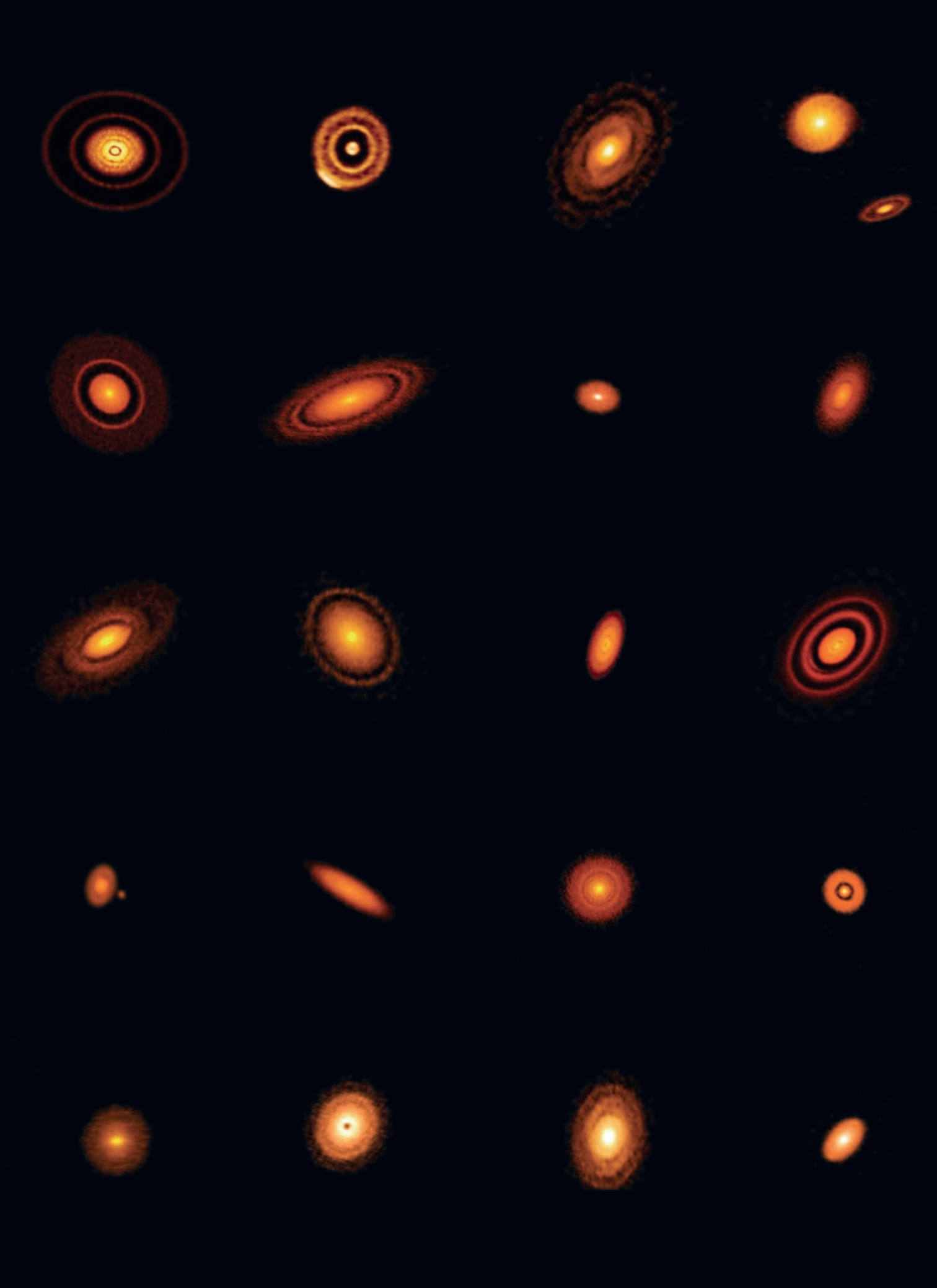
ИСТОРИЯ
телеканал



ДОК
ТОР
телеканал



ТЕЛЕКАНАЛ
24



АСТРОНОМИЯ

Планета родилась

Четкие изображения околозвездных дисков — пылевых вихрей, окружающих новорожденные звезды, — позволяют обнаружить спрятавшиеся там планеты и понять, как формируются планетные системы

Мередит Макгрегор



Протопланетные диски, изображения которых получены с помощью телескопа ALMA, раскрывают картину формирования планетных систем. Эти водовороты из пыли и газа остались после рождения звезд и служат материалом для планет.

ОБ АВТОРЕ

Меридит Макгрегор (Meredith A. MacGregor) — доцент Колорадского университета в Боулдере, исследует процессы формирования планетных систем и их потенциальную пригодность для жизни. Сопредседательница Руководящего совета целевой группы NASA по исследованиям в инфракрасном диапазоне.



На той неделе, когда я начала занятия в аспирантуре, был объявлен список первых программ исследований на новом радиотелескопе *ALMA* (Атакамская большая антенная решетка миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов) в Чили. В этой открывающей новые горизонты установке десятки работающих согласованно радиоантенн используются для получения изображений настолько детальных, как если бы мы рассматривали небо в телескоп диаметром 16 км. При такой исключительно высокой разрешающей способности в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах излучения *ALMA* способна заглянуть глубже и дальше, чем любой из существующих телескопов.

Я ухватилась за представившуюся возможность принять участие в одной из его первых программ — изучении диска из пыли и камней вокруг расположенной поблизости звезды *AU Mic*. Предметом наших наблюдений было нечто, чего ученые никогда не видели в таких подробностях до сооружения *ALMA*. Вероятно, слова «пыль» и «камни» звучат не слишком интригующе, но это исходный материал, из которого сделаны планеты, и *ALMA* дала нам возможность увидеть этот процесс в действии.

Еще один год потребовался для того, чтобы получить данные. Современные астрономические наблюдения часто ведутся на расстоянии: вместо того чтобы коротать долгие ночи в отдаленной горной обсерватории, все, что

требовалось сделать, — создать компьютерную программу действий, которая сообщит телескопу, что наблюдать и когда. Затем мы терпеливо (а чаще — с нетерпением) ждали, когда наши наблюдения будут включены в план и проведены. Я до сих пор помню предвкушение, ощущение мурашек на коже, когда я ожидала загрузки данных, а когда все было наконец готово — трепет от появившегося на экране моего компьютера изображения: длинного и тонкого сгустка света с тремя яркими пятнами: одно в центре и два по краям с каждой стороны.

То, что мы наблюдали, было формированием планетной системы. Центральное пятно — это на самом деле звезда, которая, как мы теперь

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Радиотелескоп *ALMA*, торжественно запущенный в 2011 г., дал астрономам шанс впервые разглядеть детали газопылевых дисков, окружающих звезды.
- Так называемые околозвездные диски могут поведать ученым, как формировались и развивались далекие планетные системы, каким образом такие их особенности, как смещение плоскости вращения и сгустки, могут указывать на присутствие не различимых иначе планет.
- Новые телескопы, ввод в строй которых запланирован на предстоящие годы, смогут поднять изучение околозвездных дисков на новый уровень, который, возможно, позволит нам получить изображения планет внутри дисков.

знаем, ярко сияет, выбрасывая в космос сгустки частиц высокой энергии. Двумя другими яркими пятнами отмечены края диска из летающих вокруг центральной звезды космических обломков. Это диск, похожий на пояс Койпера, окружающий наше Солнце. Мы полагаем, что эта полоска — обломки, оставшиеся после формирования планет, — вокруг *AU Mic*, молодой карликовой звезды спектрального класса *M*, удаленной от нас на 32 световых года. Другие ученые недавно обнаружили в этой системе две планеты: одну с массой, близкой к массе Юпитера, а другую по массе примерно равную Сатурну; обе находятся недалеко от своей звезды. Теперь мы имеем уникальную возможность узнать, каким путем шла эволюция вещества диска и как он взаимодействовал с недавно образовавшимися планетами.

С тех пор как было получено это первое изображение, возможности радиотелескопа *ALMA* возросли, а теперь у него появились новые антенны, улучшилось разрешение, расширился диапазон длин волн.

Между тем изучение околозвездных дисков и процесса формирования планет возросло лавинообразно. С помощью радиотелескопа *ALMA* были получены сотни изображений областей формирования планет, которые помогают нам по-новому взглянуть на то, как образуются такие системы, и обнаружить множество планет, которые мы никогда не смогли бы найти с помощью других инструментов.

Планеты-младенцы

Звезды рождаются в обширных областях, заполненных газом и пылью и называемых молекулярными облаками. Типичная плотность вещества в пространстве между ними составляет всего один атом в кубическом сантиметре, но самые плотные части молекулярных облаков могут быть в 10 тыс. и даже в 1 млн раз плотнее. Когда эти сгустки, или «ядра», становятся достаточно плотными, они начинают сжиматься под действием собственной гравитации, образуя звезды. В то же время благодаря начальному вращению коллапсирующего ядра и закону сохранения момента импульса естественным образом образуется диск, окружающий только что родившуюся звезду. Астрономы называют эти скопления пыли и газа околозвездными (то есть окружающими звезду) дисками.

Когда звезды еще очень молоды (всего несколько миллионов лет от роду), их околозвездные диски относительно велики и у типичной системы их масса составляет 1–10% массы центральной звезды. У звезд вроде нашего Солнца масса диска примерно в 100 раз больше массы



Высоко в чилийской пустыне Атакаме обсерватория *ALMA* использует десятки антенн, объединенных вместе, чтобы запечатлеть изображения далеких планетных систем

Юпитера. Эти молодые массивные диски называются протопланетными, поскольку мы полагаем, что именно в них активно формируются планеты. Камень, металл и лед конденсируются в диске, образуя зачатки планет. По мере того как зачатки планет сталкиваются и слипаются, они становятся все больше и больше, пока не приобретут достаточную гравитацию, чтобы начать захватывать больше материала путем аккреции. Новорожденная протопланета движется по орбите внутри диска и продолжает накапливать вещество, «проедая», как планетный *Packman* (одна из первых компьютерных игр. — Примеч. пер.), пустоты в диске. Почти все звезды моложе нескольких миллионов лет окружены дисками, в которых, скорее всего, формируются новые планетные системы.

Фаза протопланетного диска продолжается несколько миллионов лет. После этого первоначальный околозвездный диск очищается от большей части газа и пыли. Как и за какое время происходит эта «чистка» — предмет активных исследований, однако мы полагаем, что большое количество пыли и газа исходного диска либо мигрирует внутрь и захватывается центральной звездой, либо выдувается наружу мощным звездным ветром. Спустя примерно 10 млн лет остается лишь зрелая звезда, окруженная новой планетной системой и диском из сохранившихся астероидов и комет. Общая масса оставшегося материала невелика — скорее всего, менее 10% массы Земли. Хотя масса этих «дисков из обломков» все еще может быть достаточно большой, чтобы сформировать небольшие планеты земного типа или небесные тела вроде Плутона, их можно рассматривать как «ископаемые свидетельства» образования планет. Структура их формируется

Охота за планетами

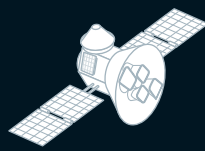
Астрономы считают, что почти каждую звезду в Галактике окружают планеты, но пока мы не можем обнаружить большую их часть. Каждый из методов, которые ученые используют, чтобы обнаружить планеты, обладает своими достоинствами и недостатками и годится лишь для определенного типа планет. Например, мелкие планеты типа Земли, движущиеся по длинным орбитам вокруг своей звезды, обнаружить очень трудно, поэтому известно мало планет этого типа.

ПРОХОЖДЕНИЯ

С помощью этого метода ищут планеты, регистрируя свет, приходящий от их звезд. Каждый раз когда планета проходит на фоне звезды, мы видим, что звезда тускнеет, если система имеет правильную ориентацию по отношению к Земле. Эти периодические затемнения позволяют не только обнаружить звезду, но и вычислить ее диаметр и длину орбиты.

Телескоп

TESS



Как он работает

Поиски теней



Свет звезды тускнеет, когда планета проходит между ней и наблюдателем

Преимущества

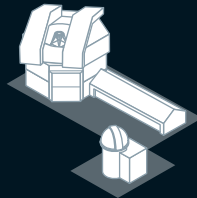
Лучше всего подходит для обнаружения планет с быстрыми орбитами (3155, и число растет)



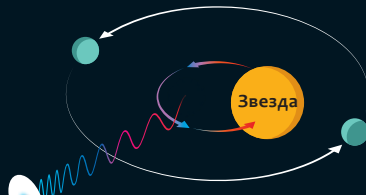
ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ

Этим методом ищут выдающиеся существование планеты перемещения звезды, вызванные гравитационным притяжением планеты. Астрономы измеряют эти перемещения, фиксируя изменение частоты света звезды, вызванное «сжатием» волны при движении звезды в нашу сторону («голубое смещение») и «разрежением», когда она движется от нас («красное смещение»).

WIYN



Поиск колебаний



Из-за движения звезда выглядит более голубой, когда движется к нам, и краснее, когда удаляется от нас

Лучше всего подходит для обнаружения больших планет с быстрыми орбитами (пока 796)



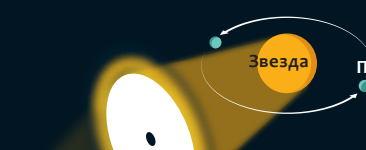
ПРЯМЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Иногда, если планета достаточно яркая и расположена далеко от своей звезды, с помощью телескопа можно заметить ее напрямую. Обычно это возможно, только если блокировать свет ее звезды с помощью коронографа, чтобы разглядеть намного более тусклый свет ее планеты. Однако большинство планет с помощью существующих обсерваторий разглядеть невозможно.

«Хаббл»

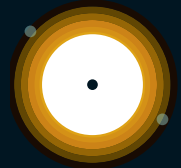


Блокирование света и фотографирование



Экран на телескопе блокирует большую часть света звезды, делая более тусклую планету заметной

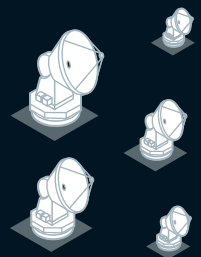
Лучше всего подходит для обнаружения молодых ярких планет с длинными орбитами (пока 50)



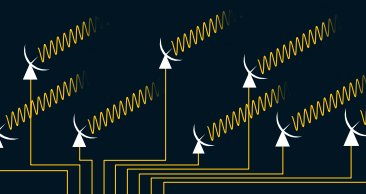
ОКОЛОЗВЕЗДНЫЕ ДИСКИ

Просветы и сгустки в газово-пылевых дисках вокруг звезд могут выдавать присутствие в них неразличимых с Земли планет. Эти диски видны в длинноволновом излучении, что требует очень больших телескопов. В отсутствие одного большого телескопа астрономы могут объединить много маленьких, разделенных большим расстоянием, чтобы создать виртуальный телескоп размером с это рассеяние.

ALMA



Интерференция волн (интерферометрия)



Сигналы от ряда телескопов складывают, имитируя один большой телескоп

Лучше всего подходит для обнаружения больших планет с широкими орбитами



посредством гравитационного взаимодействия с недавно образовавшимися планетами, а состав дает нам ключи к пониманию того, из какого вещества изначально строились планеты.

Впервые астрономы обнаружили диски из обломков, когда в 1983 г. был запущен спутник *IRAS* (Инфракрасный астрономический спутник). Это был первый спутник, который обзревал все небо в инфракрасном диапазоне длин волн (от 12 до 100 мкм; человеческий волос имеет толщину примерно 75 мкм). Инфракрасное излучение можно рассматривать как тепловое. Когда *IRAS* просканировал инфракрасное небо, астрономы обнаружили, что многие звезды выглядят ярче, чем ожидалось. Почему? Предположительно это была пыль. Если эти звезды окружены дисками из пыли, ее зерна нагреваются звездой и затем излучают тепло в инфракрасном диапазоне. Так родилась новая область исследований. Более того, первые четыре диска из обломков, обнаруженные спутником *IRAS*, — Вега, Бета Живописца, Эпсилон Эридана и Фомальгаут — и сегодня все еще изучаются и порождают новые загадки.

Используя инфракрасные телескопы для поиска таких ярких пятен, астрономы подтвердили, что по крайней мере 20–25% звезд окружены дисками из обломков. Исходя из наших представлений о том, как образуются планетные системы, можно было бы заключить, что все звезды должны быть окружены остаточным материалом — ведь, в конце концов, статистика, полученная телескопом «Кеплер», говорит нам, что вокруг каждой звезды в Галактике движется по крайней мере одна экзопланета. На поверку диски из обломков — вероятно, более распространенное явление, чем мы думаем. Даже наша Солнечная система имеет свою систему дисков из обломков — пояс астероидов и пояс Койпера. Однако в Солнечной системе, как ни странно, пыли намного меньше по сравнению с системами вокруг других звезд, изображения которых мы получили. Более того, результаты исследований самых отдаленных из изученных на сегодня систем позволили выявить лишь диски с массой пыли на порядок больше того, что мы наблюдаем в Солнечной системе. Делает ли это наш космический дом абсолютно нетипичным? Пока мы в этом не уверены. Мы изучали самые массивные, самые крупные из всех диски, но, вероятно, будет найдено множество менее массивных дисков, которые помогут включить нашу планетную систему в общий контекст.

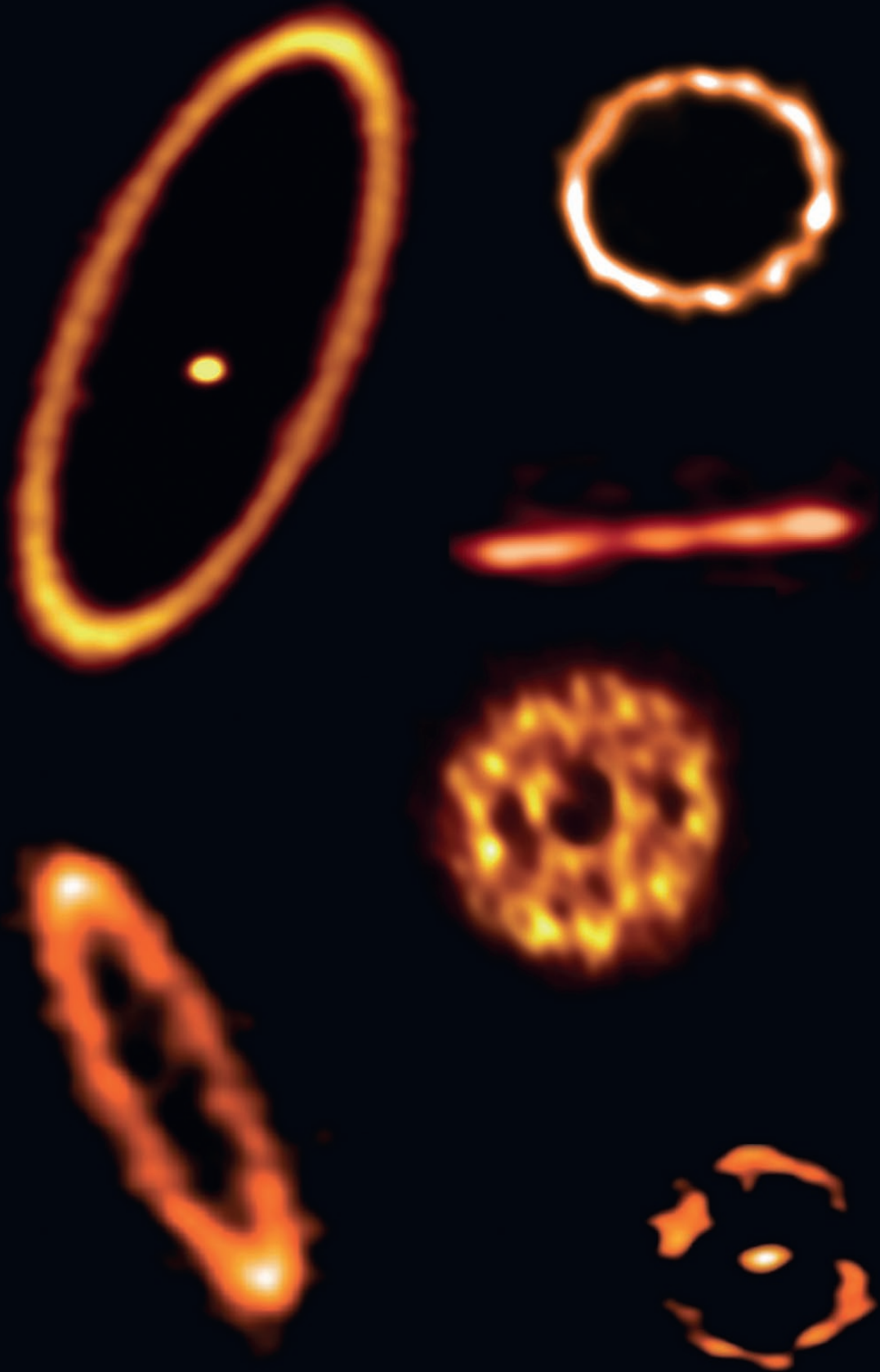
Хотя астрономы начали догадываться о существовании пылевых дисков, основываясь на первых инфракрасных наблюдениях еще в 1980-х гг., они не знали, как те выглядят.

До того как в 1990–2000-х гг. была значительно усовершенствована техника наблюдений, удалось разглядеть только одну звезду с диском — Бету Живописца. В частности, в космическом телескопе «Хаббл» для регистрации света, рассеянного на мелких зернах пыли околозвездных дисков, был использован так называемый коронограф, который блокирует свет центральной звезды, чтобы разглядеть более тусклые окружающие ее объекты. Хотя многие из этих ранних изображений были расплывчатыми, они впервые дали основания предположить, что околозвездные диски на самом деле имеют протяженную сложную структуру. Что касается диска из обломков вокруг Беты Живописца, то уже первые его изображения, полученные телескопом «Хаббл», показали разрыв во внутренних областях диска, что, как считали астрономы, могло указывать на существование неразличимой планеты. Прямые наблюдения позже подтвердили существования этой недавно родившейся планеты.

Новый телескоп

Длина волны излучения, отраженного пылью, которое мы наблюдаем, примерно соответствует размеру частиц пыли: свет и излучение в ближнем инфракрасном диапазоне исходят от мелких зерен пыли размером в несколько десятых микрометра, тогда как устройства для получения изображений излучения дальнего инфракрасного диапазона и миллиметровых волн чувствительны к более крупным зернам размером с песчинку. Мы полагаем, что эти более крупные зерна служат более надежными индикаторами внутренней структуры околозвездных дисков. Внутри диска происходит непрерывный каскад столкновений. Большие кометы и астероиды сталкиваются друг с другом и измельчаются, превращаясь во все более мелкие частицы пыли. Самые массивные объекты в диске называются планетезималими, а их местоположение определяется как результат взаимодействия с другими планетами в системе. Если мы сможем обнаружить планетезимали, то на основе этой информации можно будет сделать вывод о присутствии планет, даже если мы никогда не сможем наблюдать эти большие небесные тела непосредственно.

Мельчайшие пылевые частицы легко перемещаются в результате взаимодействия с межзвездным газом или просто выдуваются звездным ветром и излучением самой звезды. Но поскольку крупные как песок зерна менее подвержены влиянию таких сил, они дают нам наилучшую возможность вскрыть внутреннюю структуру диска и обнаружить невидимые планеты, изучив влияние их гравитации.



Диски обломков, изображения которых получены радиотелескопом ALMA, демонстрируют более поздние стадии эволюции, нежели протопланетные диски, после того как звезда и планеты уже сформировались. Их яркие ленты из обломков похожи на пояс Койпера нашей Солнечной системы.

Поэтому, чтобы узнать структуру диска и найти характерные признаки невидимых с Земли планет, мы хотим рассматривать картину в диапазоне длинных волн. Вроде ничего сложного — но, конечно, есть и подвох. Разрешающая способность телескопа равна длине волны, на которой ведутся наблюдения, деленной на диаметр телескопа. Таким образом, когда вы увеличиваете длину волны с видимого до миллиметрового диапазона, для достижения той же разрешающей способности вам необходимо значительно увеличить диаметр телескопа.

Диаметр зеркала телескопа «Хаббл» составляет 2,4 м, что дает разрешение 0,13 угловой секунды для наблюдений на длине волны в 1 мкм. Если вы хотите достичь такого же разрешения на длине волны в 1 мм, вам необходимо увеличить диаметр телескопа в 1 тыс. раз, то есть более чем до 2 км! Мы не можем построить такой большой телескоп, поэтому должны воспользоваться методом интерферометрии. Фактически вместо одного двухкилометрового телескопа несколько относительно небольших телескопов разносят на площадке диаметром 2 км и смешивают их сигналы, чтобы получить такое же высокое разрешение.

ALMA, получившая свои первые снимки в 2011 г., по-прежнему остается самым мощным в мире интерферометром. Расположенный на высоте около 5 км в пустыне Атакама в Чили, радиотелескоп *ALMA* имеет 66 антенн, которые можно перемещать, чтобы изменять длину базы (расстояние между любыми двумя антеннами) от 150 м до 16 км. Если вам знаком район Вашингтона, округ Колумбия, представьте себе Эллипс Белого дома (Эллипс, или Южный Президентский парк, — это парковая зона площадью 21 га, простирающаяся с севера на юг от ограды Белого дома до проспекта Конституции и Национального торгового центра. — Примеч. пер.): в своей самой компактной конфигурации *ALMA* может полностью на нем уместиться. В конфигурации максимального размера он растянется на всю Столичную кольцевую автостраду. Благодаря повышению чувствительности и разрешающей способности теперь мы можем получать изображения более слабых объектов в более мелких деталях, чем когда-либо прежде. Не будет преувеличением сказать, что радиотелескоп *ALMA* произвел революцию в нашем представлении об околозвездных дисках.

На одном из своих первых сенсационных изображений дисков, полученных в 2014 г., телескоп *ALMA* запечатлел *HL Tau* — молодую околозвездную систему, возраст которой, вероятно, составляет менее 100 тыс. лет. Снимок

показал: то, что считалось сплошным диском, на самом деле разделено на несколько колец и пустых промежутков между ними. С учетом небольшого возраста системы, если эти зазоры в диске на самом деле прорезаны планетами-младенцами, формирование планет должно было начаться раньше, чем первоначально считалось. При другом примечательном открытии, в 2018 г., в рамках программы *DSHARP* (Изучение дисковых подструктур устройствами с высоким угловым разрешением) были получены изображения 20 протопланетных дисков с высоким разрешением и было обнаружено, что у каждого из них есть кольца и промежутки между ними, а у некоторых даже спиральная структура. Очевидно, такая структура, как у *HL Tau*, не уникальна, а широко распространена у молодых околозвездных дисков.

Поиск планет

Изучение дисков, помимо того что рассказывает нам о процессе формирования планет, — еще и хороший способ обнаружения экзопланет, которые мы не смогли бы найти другим путем. Космические телескопы, такие как «Кеплер» и *TESS* (Спутник для поиска прохождений экзопланет), а также множество программ наблюдения с Земли к настоящему времени позволили обнаружить тысячи экзопланет. И все же большинство этих планет более массивны или находятся ближе к своей звезде, чем планеты Солнечной системы. Однако это не означает, что планеты такого типа более широко распространены — просто их легче обнаружить. Два основных метода обнаружения экзопланет — это метод прохода, при котором ищут периодическое ослабление яркости звезд, когда планеты проходят на фоне их дисков, и метод измерения радиальной скорости, который позволяет обнаружить планеты, наблюдая за небольшим изменением скорости звезд, вызванным гравитационным притяжением планет. Оба метода годятся для больших планет с компактными орбитами, поскольку для подтверждения обнаружения необходимо зафиксировать несколько проходов, а это означает, что астрономы, использующие эти методы, могут упустить множество планет. Так, например, период обращения Нептуна составляет примерно 165 лет, и если бы вы изучали Солнечную систему с другой звезды, то вам пришлось бы очень долго ждать, прежде чем увидеть хотя бы раз, как Нептун проходит перед Солнцем. Те немногие планеты, которые находятся на таких же расстояниях от своей звезды, что и Нептун, и о которых мы все-таки знаем, были обнаружены путем

прямого наблюдения с помощью коронографа. Однако и этот подход работает лишь в определенных случаях — главным образом в молодых системах, где планеты все еще сохраняют значительную часть тепла, выделившегося в период их формирования.

Чтобы полнее представить архитектуру планетной системы, мы должны иметь возможность обнаруживать планеты-гиганты на больших расстояниях от их звезд в старых планетных системах. Теперь с помощью телескопа *ALMA* это можно сделать, используя полученные данные о структуре околозвездных дисков, что обеспечивает весомое дополнение к другим методам обнаружения экзопланет.

Мы можем найти планеты, похожие на Нептун, например, изучая характерные особенности дисков, созданных вращающимися внутри них планетами, такие как поворот плоскости вращения, сгустки и другие виды асимметрии. В нашей Солнечной системе классический пояс Койпера довольно узок из-за гравитационного влияния Нептуна. Мы предполагаем, что в ранний период эволюции Солнечной системы Нептун сформировался ближе к Солнцу, а затем мигрировал наружу, сметая на своем пути значительную часть остаточного материала, и образовал пояс Койпера, который мы и видим сегодня. Если мы обнаружим аналогичные структуры в остаточных дисках других звезд, то сможем предположить, что там существуют неразличимые с Земли аналоги Нептуна.

Мы сможем разузнать больше и о планетах, которые мы уже знаем, изучая диски, в которых они расположены. В системе *HR 8799* находятся четыре непосредственно наблюдаемые гигантские планеты, которые обращаются между аналогами пояса астероидов и пояса Койпера Солнечной системы. С помощью интерферометрии в миллиметровом диапазоне мы можем разглядеть структуру внешнего пояса системы — аналога пояса Койпера — и определить местоположение его внутренней кромки. Если предположить, что диск «прорезала» крайняя внешняя планета в системе, диаметр внутренней кромки позволяет ввести ограничение на величину возможной массы планеты — примерно шесть масс Юпитера. Возможно, это покажется не столь значительным достижением, но это гораздо точнее, чем результат нашей предыдущей оценки массы планеты, которая была основана на теоретических моделях того, как с течением времени планеты охлаждаются и тускнеют. Используя данные о структуре диска, мы можем провести важную независимую проверку этих моделей.

Наблюдения более молодых протопланетных дисков, проведенные с помощью радиотелескопа *ALMA*, хорошо показывают их детальную структуру: кольца и просветы, по-видимому, присутствуют почти в каждой системе. Если все эти просветы прорезаны планетами, можно предположить, что существует множество незаметных с Земли планет — ледяных гигантов. Однако связать структуру в молодых системах напрямую с планетами непросто, потому что при моделировании нужно учитывать и другие эффекты. Более старые системы, эволюция которых продолжалась дольше, интерпретировать легче, но пока что очень немногие из этих дисков из остаточного материала демонстрируют структуру, состоящую из нескольких колец. Недавно мы обнаружили новый просвет в остаточном диске звезды *HD 15115*, который находится за пределами орбиты, соответствующей орбите Плутона в Солнечной системе. Динамическое моделирование дает основания полагать, что этот просвет представляет собой планету — ледяной гигант, масса которой чуть меньше массы Сатурна. Я полагаю, что, когда мы получим детальные изображения с высоким разрешением большего числа таких достаточно долго эволюционировавших систем, проявятся все больше характерных особенностей, вызванных влиянием планет.

Более того, мы можем изучать не только структуры околозвездных дисков, но и их состав. Поскольку эти диски — хранилище данных и геологическая летопись формирования планет, их состав неразрывно связан с составом планет в этих системах и историей их формирования. Множество хорошо известных молекул излучают в диапазоне миллиметровых волн из-за изгиба и растяжения своих молекулярных связей. Ученые обнаружили десятки видов органических молекул (в том числе монооксид углерода, формальдегид, метанол, аммиак и множество других) в больших газовых резервуарах, присутствующих в протопланетных дисках.

Наше исследование также натолкнулось на новую загадку: традиционно считалось, что в остаточных дисках почти нет газа, потому что их газовые резервуары, существовавшие на раннем этапе эволюции, в течение нескольких миллионов лет должны были быть опустошены. Радиотелескоп *ALMA* обнаружил, что несколько остаточных дисков содержат газообразный углекислый газ, но мы считаем это результатом столкновения в диске комет и превращения захваченного льда в газ, когда они измельчаются в мельчайшие пылинки. Однако некоторые системы не укладываются в эту

картину, потому что содержат такое большое количество газа, что для его получения потребовалась бы нереально высокая частота столкновений комет. Это открытие влечет за собой вопрос: возможно ли, чтобы первичный газ оставался в этих дисках в течение десятков миллионов лет? Пока у нас нет ответа.

Многодиапазонное будущее

Как ученому мне было очень интересно расти одновременно с бурным развитием области науки, занимающейся изучением формирования планет. Я начала работать над докторской диссертацией, когда перед глазами радиотелескопа ALMA впервые открылось небо, и я получаю свою первую должность преподавателя, когда мы движемся в захватывающее новое будущее многодиапазонной астрономии. Телескоп ALMA произвел революцию в наших представлениях об околозвездных дисках, выявив сложность их структуры и химического состава, о которых всего несколько десятилетий назад можно было только догадываться. Но ALMA не может дать ответ на все вопросы, которые мы хотим прояснить. Все остаточные диски, о которых я рассказывала в этой статье, — аналоги пояса Койпера, холодных пылевых колец во внешних областях своих планетных систем. До сих пор астрономы прилагали максимум усилий, чтобы получить изображение аналога пояса астероидов, — пока что мы можем обнаружить такие структуры, только регистрируя их повышенное излучение в инфракрасной области, как ранее мы делали это, используя IRAS.

Чтобы получить изображения внутренних областей внесолнечных систем, нужно проводить исследования с помощью приборов, работающих в области более коротких волн, которые чувствительны к более горячей пыли. Космический телескоп им. Джеймса Уэбба (JWST) по плану должен быть запущен в 2021 г., и мы надеемся получить первый снимок одного из таких аналогов пояса астероидов. Кроме того, телескоп JWST будет работать в диапазоне длин волн, который позволяет непосредственно отслеживать излучение силикатов (таких минералов, как оливин и пироксен, которые также обнаружены на Земле) и тех минералов, которые входят в состав зерен диска.

Заглянем еще дальше в будущее: сейчас ведется строительство экстремально больших телескопов следующего поколения. Эти приборы впервые увидят звездный свет в середине и конце 2020-х гг. Диаметр главного зеркала этих гигантов превысит 24 м, а площадь будет более чем в пять раз обширнее, чем у любого из существующих ныне наземных телескопов.

Они смогут непосредственно получать изображения отдельных планет, о которых мы можем пока только догадываться на основе наблюдений околозвездного диска с помощью радиотелескопа ALMA.

Сейчас ведется работа над Десятилетним обзором по астрономии и астрофизике (*The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey*, публикуется каждые десять лет Национальным советом по исследованиям и Национальной академией наук США) — обширным документом, определяющим приоритеты и дающим рекомендации по исследованиям на следующее десятилетие. На рассмотрении четыре ключевые программы NASA, которые позволят добиться огромных успехов в науке о планетах в 2030-х гг. и в последующий период. Космический телескоп *Origins* («Истоки») — инфракрасная обсерватория с криогенным охлаждением, которая сможет отслеживать то, как вода из областей звездообразования попадает в околозвездные диски, даст возможность получить статистические данные о строении околозвездных дисков малой массы и многое другое. Другие кандидаты, такие как Большой ультрафиолетовый-оптический-инфракрасный изыскатель (*Large Ultraviolet/Optical/Infrared Surveyor*) и Обсерватория для поиска пригодных для жизни экзопланет (*Habitable Exoplanet Observatory*) — телескопы для непосредственного получения изображений, которые помогут обнаружить множество экзопланет и выяснить их характеристики. Некоторые из этих планет, возможно, окажутся похожими на Землю.

Независимо от того, какой из этих проектов будет в конечном итоге выбран, в одном я уверена: наши представления о Солнечной системе, о ее формировании и месте в сообществе других планетных систем меняются каждый день. Мурашки бегут по коже, когда вы с нетерпением ожидаете увидеть, что принесло каждое новое наблюдение, — и это чувство не проходит никогда. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Батыгин К., Лафлин Г., Морбиделли А. Жизнь из хаоса // ВМН, № 7, 2016.
- Millimeter Emission Structure in the First ALMA Image of the AU Mic Debris Disk. Meredith A. MacGregor et al. in *Astrophysical Journal Letters*, Vol. 762, No. 2, Article No. L21; January 10, 2013.
- The 2014 ALMA Long Baseline Campaign: First Results from High Angular Resolution Observations toward the HL Tau Region. ALMA Partnership et al. in *Astrophysical Journal Letters*, Vol. 808, No. 1, Article No. L3; July 20, 2015.



РАССКАЗЫ УМИРАЮЩЕГО МОЗГА

СОЗНАНИЕ

Близкое соприкосновение со смертью может оставить неизгладимое впечатление в сознании выжившего — и рассказать о том, как мозг работает в экстремальных условиях

Кристоф Кох

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Околосмертные переживания запускаются в чрезвычайных, угрожающих жизни ситуациях, когда организм повреждается при сердечном приступе, шоке или ударе, например при взрыве или падении.
- Остается загадкой, почему сознание переживает борьбу за поддержание своего функционирования при снижении кровотока и недостатке кислорода как нечто позитивное и благодатное, а не как повод для паники.
- Эти переживания имеют много общих черт: боль прекращается, виден яркий свет в конце туннеля или ощущается выход из тела, парение над ним или даже вылет в космос.

ОБ АВТОРЕ

Кристоф Кох (Christof Koch) — главный по науке в программе *MindScope* в Институте Аллена по исследованию мозга. Автор книги «Чувство самой жизни — почему сознание широко распространено, но не может быть вычислено» (*The Feeling of Life Itself — Why Consciousness Is Widespread but Can't Be Computed*). Входит в консультационный совет журнала *Scientific American*.



М

олодой Эрнест Хемингуэй после серьезных ранений от разорвавшегося снаряда и пулеметных пуль на поле боя в Первую мировую войну писал домой: «Смерть — очень простая штука. Я видел смерть и действительно знаю. Если бы я умер, для меня это было бы очень легко. Это была бы самая легкая вещь из всех, что я когда-либо делал».

Спустя годы Хемингуэй использовал свой личный опыт — ощущение, что душа покидает тело, летит, а затем возвращается, — для своего знаменитого рассказа «Снега Килиманджаро» о сафари в Африке, закончившимся катастрофой. У главного героя гангрена, и он знает, что умирает. Внезапно боль отступает, и Комти, пилот маленького самолета, прибывает, чтобы спасти его. Они взлетают вдвоем и летят сквозь грозу с таким плотным ливнем, «будто летишь сквозь водопад», а затем самолет выходит к свету и он видит «немыслимо белую под солнцем, квадратную вершину Килиманджаро. И тогда он понимает, что это и есть то место, куда он держит путь». Это описание содержит элементы классического околосмертного переживания: темно, боль отступает, выход к свету и затем ощущение умиротворенности.

Умиротворенность за гранью понимания
Околосмертные переживания запускаются в чрезвычайных, угрожающих жизни ситуациях, когда организм получает повреждения при ударе, сердечном приступе, асфиксии, шоке или по другим причинам. Примерно каждый десятый пациент, переживший остановку сердца в больнице, испытывает такие ощущения. Тысячи выживших в этих ужасных ситуациях соприкосновения со смертью рассказывают о том, как покинули свои поврежденные

тела и встретились с миром, находящимся за пределами повседневного существования, не ограниченным обычными пределами пространства и времени. Эти сильнейшие мистические переживания могут навсегда изменить жизнь человека.

Околосмертные переживания — это не причудливые полеты воображения. У них есть общие черты: избавление от боли, яркий свет в конце туннеля и другие визуальные эффекты, выход из тела и парение над ним или даже вылет в космос (внетелесные переживания). При этом могут происходить встречи с любимыми существами, живыми или мертвыми, или с божественными созданиями, такими как ангелы, воспоминания в духе Пруста, то есть просмотр событий всей жизни, как хороших, так и плохих («вся жизнь промелькнула перед моими глазами»), или искажение чувства времени и пространства. Для таких ощущений существуют физиологические объяснения. Так, постепенное туннельное сужение поля зрения связано с ухудшением кровоснабжения периферийной части сетчатки, из-за чего потеря зрения в первую очередь происходит именно там.

Околосмертные переживания могут быть как позитивными, так и негативными. Все внимание достается первым — ощущению всепоглощающей божественности, чего-то сверхъестественного, святого. Уж очень не соответствуют друг другу тяжелая

травма тела и чувство умиротворения и единения с Вселенной. Но не все около-смертные переживания благодатны, иногда они бывают пугающими, сопровождающиеся сильным ужасом, страданием, одиночеством и отчаянием.

Похоже, что популяризация темы около-смертных переживаний породила ожидания того, что люди должны чувствовать в такие моменты. На самом деле, возможно, про мучительные околосмертные переживания часто не рассказывают из-за стыда, социальной стигматизации и необходимости соответствовать образу «блаженных» околосмертных переживаний.

Любое близкое соприкосновение со смертью напоминает нам о хрупкости и недолговечности жизни и может снять слой психологического подавления, защищающий нас от неприятных мыслей о небытии и забвении. В большинстве случаев влияние этого события со временем ослабевает и мы возвращаемся к нормальному состоянию (хотя может остаться посттравматическое стрессовое расстройство). Но околосмертные переживания десятилетиями продолжают вспоминаться с необычайной интенсивностью.

В исследовании, проведенном в 2017 г. двумя исследователями из Виргинского университета, выясняли, можно ли свести парадокс усиленного восприятия, возникающий одновременно с нарушением работы мозга при околосмертных переживаниях, просто к полету фантазии. Исследователи провели опрос 122 человек, сообщавших об околосмертных переживаниях. Участников просили сравнить воспоминания о своих переживаниях с воспоминаниями о реальных и воображаемых событиях примерно одного и того же времени. Результаты свидетельствуют о том, что околосмертные переживания воспринимались с большими живостью и детализацией, чем реальные и воображаемые события. Короче говоря, околосмертные переживания запомнились как «более реальные, чем реальность».

В последней четверти XX в. околосмертные переживания привлекли внимание широкой публики благодаря работам врачей и психологов, в частности Реймонда Моуди (Raymond Moody), который ввел термин «околосмертные переживания» в своем бестселлере 1975 г. «Жизнь после жизни» (*Life after Life*), и Брюса Грейсона (Bruce Greyson) одного из двух упомянутых выше исследователей из Виргинского университета, опубликовавшего в 2009 г. книгу «Руководство



по околосмертным переживаниям» (*The Handbook of Near-Death Experiences*). Заметив закономерности в том, что люди рассказывали о своих околосмертных переживаниях, эти ученые превратили в тему для эмпирических исследований явление, ранее высмеиваемое как выдумка или лихорадочная галлюцинация (видения на смертном одре в былые времена).

Я согласен с реальностью этих интенсивно ощущаемых переживаний. Они так же подлинны, как любое другое субъективное ощущение или восприятие. Однако как ученый я придерживаюсь гипотезы, что все наши мысли, воспоминания, ощущения и переживания — неизбежные следствия естественных процессов в нашем мозге, а не воздействия каких-то сверхъестественных сил. Последние несколько столетий это предположение очень хорошо служило науке и родственным ей технологиям. И пока не существует выдающихся, убедительных, объективных доказательств обратного, я не вижу причин отказываться от этого предположения.

Таким образом, задача состоит в том, чтобы объяснить околосмертные переживания естественными причинами. Я давно изучаю

Отдельные области мозга отключаются одна за другой. Пока сознание обеспечивается еще не поврежденными нейронами, оно занимается тем же, чем и всегда: рассказывает историю на основе личного опыта, воспоминаний и культурных ожиданий

проблему взаимодействия тела и психики и интересуюсь околосмертными переживаниями, поскольку они представляют собой редкую разновидность продуктов человеческого сознания. А еще из-за такого замечательного факта, что это событие, длящееся в реальном времени гораздо меньше часа, оставляет неизгладимый след, как обращение Павла по дороге в Дамаск, — исчезает страх смерти, появляются отрешенность от материальных вещей и ориентация на высшее благо. Или, как в случае с Хемингуэем, — одержимость риском и смертью.

Сходные мистические переживания обычно наблюдаются при воздействии психоактивных веществ из класса галлюциногенов, связанных с нейромедиатором серотонином, к которым относятся псилоцибин (действующее вещество в галлюциногенных грибах), ЛСД, ДМТ (молекула духа) и 5-MeO-DMT (молекула бога), употребляемые при религиозных и духовных обрядах и с развлекательными целями.

Безвестный край

Надо помнить, что околосмертные переживания были с нами во все времена, во всех культурах и у всех людей, молодых и старых, набожных и скептических (вспомните, например, «Тибетскую книгу мертвых», где описывается сознание до и после смерти). Те, кто воспитан в религиозных традициях, христианских или каких-то других, наиболее очевидным объяснением считают, что им даровано видениерая или ада, того, что ожидает их после смерти. Интересно, что околосмертные переживания встречаются у глубоко верующих не чаще, чем у нерелигиозных людей или тех, кто не совершает обрядов.

Личные рассказы, почерпнутые из исторических документов, содержат чрезвычайно яркие описания околосмертных переживаний, которые могут быть не менее показательны, чем описание клинического случая. Например, в 1791 г. британский адмирал сэр Фрэнсис Бофорт (в честь которого

названа шкала силы ветра) чуть не утонул и вспоминал об этом таким образом: «Вслед за самыми бурными чувствами пришло умиротворенное чувство самого совершенного покоя <...>. У меня не было никакой телесной боли. Напротив, мои ощущения теперь были довольно приятного рода <...>. Хотя чувства были умерщвлены, но разум — нет, и казалось, что его деятельность была усилена в степени, не поддающейся никакому описанию, ибо мысль поднималась за мыслью в столь быстрой последовательности, которая не только неопишима, но и, вероятно, непостижима для любого, кто оказывался в сходной ситуации. Ход этих мыслей я и сейчас могу в значительной степени восстановить: событие, которое только что произошло <...>. Таким образом, все эпизоды моей прошедшей жизни промелькнули у меня в воспоминаниях в обратном порядке <...>, весь промежуток моего существования, казалось, был помещен передо мной в некое подобие панорамы».

Другой случай был описан в 1900 г, когда шотландский хирург, первооткрыватель стафилококка сэр Александр Огстон (Alexander Ogston) слег во время вспышки брюшного тифа. Он описывал происходящее таким образом: «Я лежал, казалось, в непрерывном оцепенении, которое исключало существование любых надежд или страхов. Разум и тело словно перестали быть едиными, разделились до некоторой степени. Я сознавал свое тело как тяжелую массу, обрушившуюся около двери, оно принадлежало мне, но это был не я. Я чувствовал, как мое духовное "я" регулярно покидало тело <...>. Затем я быстро возвращался в него, с отвращением к нему присоединялся и оно становилось мной, его кормили, говорили с ним и заботились о нем <...>. И хотя я знал, что смерть витала рядом, я не думал ни о религии, ни о страхе перед концом и блуждал под пасмурными небесами равнодушный и умиротворенный, пока что-нибудь опять не потревожит лежащее тело, и тогда я снова возвращался в него».

Относительно недавно британская психиатрица Сьюзен Блэкмор (Susan Blackmore) получила от женщины с Кипра, пережившей экстренную гастрэктомию в 1991 г., такое описание: «На четвертый день после этой операции я впала в шоковое состояние и на несколько часов потеряла сознание <...>. Хотя считалось, что я без сознания, даже много лет спустя я помню целиком, во всех деталях, разговор, который произошел там между хирургом и анестезиологом <...>. Я лежала над своим собственным телом, совершенно освободившись от боли, и смотрела вниз на саму себя с жалостью к страданию, которое видела на лице; я мирно плавала. Затем <...> я ушла куда-то еще, поплыла к темному месту, не страшному, похожему на занавес... Затем я ощутила полное умиротворение. Внезапно все изменилось — меня снова швырнуло обратно в мое тело, и я опять ощутила страшную боль».

Сложно более-менее точно определить последовательность неврологических событий, обуславливающих околосмертные переживания, поскольку существует огромное разнообразие вариантов повреждения мозга. Кроме того, околосмертные переживания случаются не тогда, когда человек лежит внутри МРТ-сканера или с электродами на голове.

Тем не менее можно получить некоторое представление о том, что происходит, если проводить наблюдения при остановке сердца, когда она случается в условиях больницы. Пациент не умирает, потому что сердце можно запустить с помощью сердечно-легочной реанимации.

По современным представлениям, смерть — это необратимое прекращение работы мозга. Когда кровоснабжение мозга нарушается (ишемия) и кислород не поступает (аноксия), пациент на мгновение теряет сознание и его энцефалограмма (ЭЭГ) становится изоэлектрической, то есть ровной линией. Это означает, что нарушилась обширная пространственно распределенная электрическая активность в наружной части мозга — коре. Подобно городу, в разных районах которого подачу электричества прекращают не одновременно, отдельные области мозга отключаются одна за другой. Пока сознание обеспечивается нейронами, которые по-прежнему способны генерировать электрическую активность, оно занимает тем же, чем и всегда: рассказывает историю на основе личного опыта, воспоминаний и культурных ожиданий.

Если учитывать перебои с электричеством, личный опыт может породить довольно странные и своеобразные истории, характерные для рассказов об околосмертных переживаниях. Для человека, испытывающего околосмертные переживания, они так же реальны, как и то, что разум выдает во время обычного бодрствования. Когда энергия совсем заканчивается и мозг отключается полностью, мышление и сознание угасают. Если кровоток и снабжение кислородом восстанавливаются, мозг запускается вновь и информационный поток возобновляется.

Ученые сняли на видео, проанализировали и подробно разобрали потерю и последующее восстановление сознания у хорошо подготовленных людей — американских летчиков-испытателей и космонавтов NASA при тренировке на центрифугах во время холодной войны (вспомните сцену из фильма 2018 г. «Человек на Луне», где мужественный Нил Армстронг в исполнении Райана Гослинга крутится на тренажере в разных плоскостях, пока не теряет сознание). При примерно пятикратном увеличении силы тяжести сердечно-сосудистая система перестает подавать кровь в мозг и пилот теряет сознание. Примерно через 10–15 секунд после того, как прекращаются большие перегрузки, сознание восстанавливается, сопровождаясь сопоставимым по времени периодом замешательства и дезориентации (участники этих испытаний, очевидно, здоровы и гордятся своим самообладанием).

Весь спектр описываемых околосмертных переживаний можно свести к следующим типам: «свет» — туннельное зрение и яркий свет; ощущение пробуждения ото сна, в том числе с полным или частичным параличом; ощущение умиротворенного парения; выход из тела; ощущение удовольствия и даже эйфория; короткие, но интенсивные видения, где часто бывают разговоры с членами семьи и воспоминания о которых остаются яркими на многие годы. Эти интенсивные переживания, спровоцированные конкретным физическим воздействием, обычно не имели религиозного характера (возможно, потому что участники заранее знали, что испытают стресс перед потерей сознания).

Природа околосмертных переживаний такова, что для их изучения сложно создать хорошо контролируемые лабораторные эксперименты, но, может быть, это удастся изменить. Например, можно изучать некоторые их свойства на обычной лабораторной

мышы — вдруг окажется, что она тоже перед смертью вспоминает всю свою жизнь или испытывает эйфорию.

Затухание света

Многие неврологи отмечали сходство околосмертных переживаний с вызванными эпилепсией ощущениями во время сложных парциальных припадков. При этих припадках частично нарушается сознание, обычно они локализируются в определенных областях мозга в одном из полушарий. Припадкам может предшествовать аура — специфическое переживание, уникальное для каждого пациента и предсказывающее начинающийся приступ. Припадок может сопровождаться изменениями в восприятии размеров предметов, необычными вкусами, запахами или телесными ощущениями, дежавю, деперсонализацией или экзотическими ощущениями. Эпизоды, сопровождающиеся ощущениями из последней части этого списка, называют также «припадками Достоевского» в честь русского писателя второй половины XIX в. Федора Михайловича Достоевского, страдавшего от тяжелой височной эпилепсии. Князь Мышкин, главный герой его романа «Идиот», вспоминает: «...в эпилептическом состоянии его была одна степень почти пред самым припадком <...>. Ум, сердце озарялись необыкновенным светом; все волнения, все сомнения его, все беспокойства как бы умиротворялись разом, разрешались в какое-то высшее спокойствие, полное ясней, гармоничной радости и надежды, полное разума и окончательной причины. Но эти моменты, эти проблески были еще только предчувствием той окончательной секунды (никогда не более секунды), с которой начинался самый припадок. Эта секунда была, конечно, невыносима. Раздумывая об этом мгновении впоследствии, уже в здоровом состоянии, он часто говорил сам себе: "...Что же в том, что это болезнь? <...> Какое до того дело, что это напряжение ненормальное, если самый результат, если минута ощущения, припоминаемая и рассматриваемая уже в здоровом состоянии, оказывается в высшей степени гармонией, красотой, дает неслыханное и негаданное дотоле чувство полноты, меры, примирения и восторженного молитвенного слития с самым высшим синтезом жизни? <...> Да за этот момент можно отдать всю жизнь!"»

Спустя более 150 лет нейрохирурги смогли вызвать такие экзотические ощущения с помощью электрической стимуляции

электродами, имплантированными пациентам с эпилепсией в область коры, которая называется «островок». Эта процедура помогает определить место возникновения эпилептической активности, чтобы при возможности провести его хирургическое удаление. Пациенты сообщали о наслаждении, улучшении самочувствия, усилении самосознания или восприятия внешнего мира. Возбуждение серого вещества в другой области может вызвать ощущение выхода из тела или зрительные галлюцинации. Такая сильная связь аномальной активности, вызванной спонтанно патологическим процессом или целенаправленным введением электродов, с субъективными переживаниями, свидетельствует в пользу биологического, а не духовного происхождения этих ощущений. То же, вероятно, верно и для околосмертных переживаний.

Остается загадкой, почему мозг должен воспринимать борьбу за поддержание своей деятельности в условиях снижения кровотока и нехватки кислорода как нечто позитивное и блаженное, а не вызывающее панику. Интересно, что бывают и другие ситуации, когда уменьшение поступления кислорода вызывает у человека приятные ощущения веселости, головокружения и повышения возбуждения, — при глубоководных погружениях, восхождении в горы, полете, играх с удушьем и обмороком и эротической асфиксии.

Возможно, такие экзотические переживания характерны для многих форм смерти, при которых ум остается ясным и не притупляется опиатами или другими лекарствами, облегчающими боль. Сознание, прикованное к умирающему телу, попадает в свой личный рай или ад, прежде чем шагнуть в гамлетовский «безвестный край, откуда нет возврата».

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Kox K. Обратима ли смерть? // ВМН, № 12, 2019.
- The Handbook of Near-Death Experiences: Thirty Years of Investigation. Edited by Janice Miner Holden, Bruce Greyson and Debbie James. Praeger, 2009.
- Leaving Body and Life Behind: Out-of-Body and Near-Death Experience. Olaf Blanke, Nathan Faivre and Sebastian Dieguez in The Neurology of Consciousness. Second edition. Edited by Steven Laureys, Olivia Gosseries and Giulio Tononi. Academic Press, 2015.



АВГУСТ 1970

Столовая ложка Луны. «В широких плоских лунных низменностях, или "морях" (таких как Море Спокойствия, где совершил посадку "Аполлон-11"), кратеры, которые достигают подстилающей твердой породы, показывают, что толщина слоя реголита составляет 5–10 м. Таким образом, на Базе Спокойствия астронавты Нил Армстронг и Базз Олдрин не добрались нескольких метров до твердой породы; геологических образцов, которые они доставили на Землю, имея задание отколоть куски твердой породы, более чем достаточно. Они ходили по верхнему слою реголита, и образцы лунных пород были собраны с помощью лопаты и щипцов из этого слоя крошки скальной породы. Наша группа из Астрофизической обсерватории Смитсоновского института работала с 16 г лунной почвы». — Джон Вуд (John A. Wood).



АВГУСТ 1920

Плоды манго. Министерство сельского хозяйства США усилиями своих специалистов и путем обмена с министерствами Британской Ост-Индии собрало одну из крупнейших в мире коллекций сортов манго, и теперь на станции по интродукции растений в Майами, штат Флорида, в стадии плодоношения находятся около 20 сортов. Говорят, что эти отобранные сорта решительно опровергают гадости, которые рассказывали о манго. В некоторых из них волокон содержится едва ли больше, чем в персике с отделяемой косточкой, плод можно разрезать по длине и так же легко есть ложкой, как и мускусную дыню.

Школы и армия. Национальный совет научных исследований объявляет, что тесты интеллектуальных способностей, которые с поразительным

1970 г.: След, оставленный одним из астронавтов «Аполлона-11» на Луне, показывает структуру поверхности Луны, но служит также и символом исследования Галактики человеком



успехом использовались в армии во время войны, следует в широком масштабе использовать в американских общеобразовательных школах. Была составлена программа групповых тестов, которая позволит ежегодно или даже раз в полгода проводить массовые инспекции школ, чтобы классификацию по уровню интеллекта и индивидуальный подход к обучению можно было корректировать с желаемой частотой.



АВГУСТ 1870

Поганки и киты. Повседневное наблюдение показывает, и это непреложный факт, что все виды работы, совершаемой животными, — результат потребления и усвоения достаточного небольшого количества кислорода, воды, крахмала, жира и мяса. С точки зрения химии

человека можно рассматривать как нечто подобное. Такой непререкаемый авторитет, как профессор Томас Гексли, недавно рассуждал о том, что он называет «протоплазмой», или «физической основой жизни». Он ищет то общее, что существует между замшелым камнем и художником или ботаником, изучающими его. Профессор Гексли не доказал и не в состоянии доказать, что протоплазма, вероятно, не имеет существенных различий. Физиологи все еще не могут объяснить нам, почему «из четырех абсолютно идентичных клеток одна превращается в Сократа, другая в поганку, одна в майского жука, другая в кита».



ПРАЗДНУЕМ
175
ЛЕТ

Исследование космоса

Планеты и звезды — в той же мере продукт «лаборатории природы», что и *Homo sapiens*. И в то время как наш вид изучает информацию, собираемую из окружающей нас Вселенной, нас одолевает ощущение чуда, когда мы раскрываем секреты природы и наше в ней место. С момента изобретения первого телескопа в 1608 г. до открытия места галактики Млечный Путь в Ланиакее — огромной реке галактик, устремляющихся к гигантскому скрытому источнику гравитации, — наши исследования Вселенной до сих пор следуют определенной тенденции: мы действуем с помощью инструментов и нашего воображения.

1915 г.: Такой художник представлял поверхность спутника Сатурна Титана. Спустя 90 лет зонд «Гюйгенс» опустился на Титан и отправил на Землю изображения реального ландшафта.

Но однажды мы пойдем и сами, оставляя свои следы по всей Вселенной.



ЗДОРОВЬЕ И МЕДИЦИНА



ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ БЕЗ ВЗВЕШИВАНИЯ



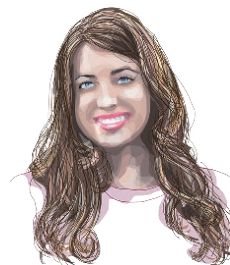
Заикленность на потере веса не делает людей здоровее.
Некоторые врачи пробуют другой подход

Вирджиния Соле-Смит



ОБ АВТОРЕ

Вирджиния Соле-Смит (Virginia Sole-Smith) — автор книги «Пищевой инстинкт: культура питания, отношение к телу и чувство вины в Америке» (*The Eating Instinct: Food Culture, Body Image, and Guilt in America*) и постоянный автор в журналах *Parents* и *New York Times*. Ее прошлая статья в нашем журнале (*ВМН*, № 7, 2019) посвящена табуированию темы менструаций.



К

омната для ожидания в Клинике комплексного медицинского обслуживания *Mosaic* в Чапел-Хилле, штат Северная Каролина, ничем не отличается от обычных за исключением таблички на двери. Там написано: «Нет неправильных тел», а снизу нарисованы разные кактусы. Вторая особенность этого учреждения первичной медицинской помощи — в кабинетах нет весов. Луиз Метц (Louise Metz), владелица и основательница клиники, хранит лишь одни, спрятанные в дальнем коридоре. Большинство пациентов не догадываются, что весы в клинике вообще есть.

37-летняя Эрин Таун (Erin Towne) знает об их существовании. Она пришла на очередной медицинский осмотр, и ей предстоит взвеситься, чтобы Метц могла убедиться, что Таун продолжает восстанавливать вес, вылечившись от рестриктивного расстройства пищевого поведения. Но эти цифры увидит только Метц. Высокая и худощавая Таун — мать двоих детей, работает в сфере информационных технологий в местном университете и занимается бегом. Она одета в длинный сарафан и слегка сутулится, сидя в одном из кресел без подлокотников в комнате ожидания. Эти кресла созданы специально для удобства тучных людей, и не так давно Таун могла бы оценить их по достоинству. Нынешнее гибкое тело все еще относительно ново для нее. В январе 2017 г. она перенесла бариатрическую операцию и похудела на 72 кг.

Таун говорит, что большую часть жизни все медицинские услуги, которые она получала, сводились к попыткам снизить вес. После серии скачков уровня сахара в крови в возрасте 13 лет ей диагностировали диабет I типа и назначили ежедневные инъекции инсулина. В детстве у нее был средний

размер, но ее эндокринолог сразу же предложила ей сбросить 5–8 кг, и эту фразу повторяли затем все врачи, с которыми встречалась Таун по мере взросления. Казалось, не имело значения, что ее диабет хорошо контролировался с помощью низких доз инсулина. Поскольку исследования, проведенные еще в 1990-х гг., показывали связь между снижением веса и лучшим контролем уровня глюкозы в крови у диабетиков, в рекомендациях непременно присутствовала инструкция о необходимости снижения веса. Таун придерживалась диеты с подросткового возраста, но ей никогда не удавалось сбросить вес надолго.

В 2016 г. Таун обратилась к новому эндокринологу и ей изменили диагноз на наследственное заболевание — сахарный диабет взрослого типа у молодых. Таун рассказывает, что даже после получения точного диагноза и подтверждения, что ее диабет имеет генетические причины и не связан с весом, навязчивая идея о снижении веса сохранялась. Ее врач прописал лекарство от диабета виктозу, которое используется в том числе и для снижения веса. Таун принимала его в течение месяца,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Заботясь о здоровье пациентов, врачи нередко предлагают похудеть. Но часто такой подход приносит больше вреда, чем пользы.
- Пациенты в медицинских учреждениях сталкиваются со стигматизацией, связанной с весом, которая плохо влияет на здоровье.
- Некоторые врачи вместо того, чтобы заикливаться на весе, предлагают придерживаться здорового образа жизни.

но лекарство вызывало такой сильный кислотный рефлюкс, что она не могла ходить на работу. В этот момент бариатрическая операция казалась неизбежной. «Я не видела другого способа избавиться от лишнего веса, — говорит Таун. — Я не сомневалась, что могу справиться со своим диабетом, но казалось, что никто больше не способен рассматривать эти две вещи по отдельности».

В течение шести месяцев после бариатрической операции индекс массы тела у Таун снизился до 19,1, что находится на нижней границе нормы для человека ее роста. В мае 2017 г. Таун смогла прекратить использовать инсулиновую помпу, и ее эндокринолог объяснила эту победу потерей веса. На следующем приеме у хирурга в декабре 2017 г. ассистент врача, казалось, был в восторге от результатов. Таун вспоминает, как он сказал ей: «Поздравляю, вы можете съесть лишнее печенье на праздники!» Но Таун чувствовала потерю контроля над тем, что касалось еды. Она заиклилась

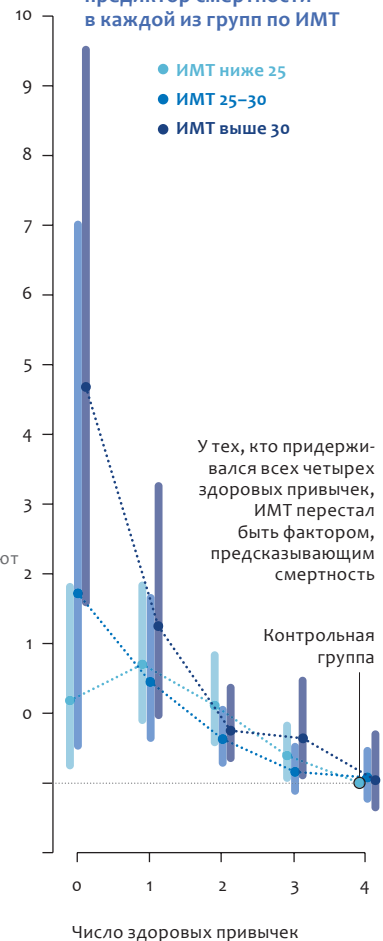
на отслеживании упражнений и калорий в фитнес-приложении. «Я так интенсивно себя ограничивала, что мое тело перешло в аварийный режим работы, — рассказывает Таун. — Я могла встать перед кухонным шкафом и представлять себе, как ем все, что там лежит». Через несколько недель Таун обратилась за помощью к психотерапевту, он диагностировал анорексию и направил ее в клинику Mosaic для медицинского наблюдения и восстановления. Сначала Таун не поверила психотерапевту. «Мысль, что у меня рестриктивное расстройство пищевого поведения, ошеломила, — рассказывает она. — Я-то думала, что просто делаю то, что мне всегда говорили».

В отличие от предыдущих врачей Мец не восхищалась резким снижением веса у своей пациентки. На самом деле она как терапевт с подозрением относится к распространенному мнению, что снижение веса необходимо для оптимального лечения диабета. «В исследованиях, где снижение

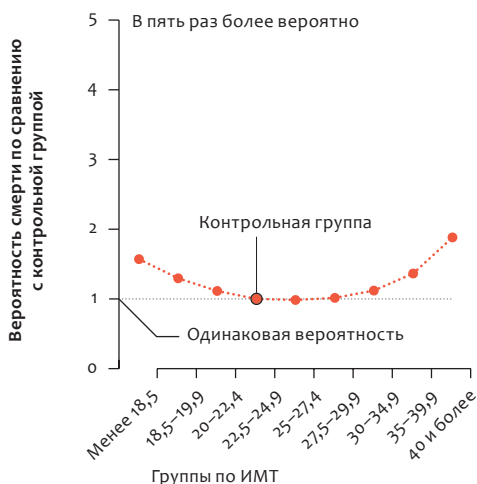
Индекс массы тела или здоровые привычки

Врачи часто рекомендуют пациентам сбросить вес, чтобы улучшить здоровье. Однако исследования показывают, что смертность в первую очередь зависит не от размера тела, а от привычек, которых человек придерживается. Оказалось, что хотя смертность выше при очень высоких и очень низких значениях ИМТ, в диапазоне между этими двумя крайностями не наблюдается усиления риска у людей с повышенным весом или умеренным ожирением по сравнению с теми, у кого нормальный вес (А). В другом исследовании, где ученые наблюдали за ИМТ и четырьмя привычками у 11 761 человека на протяжении 14 лет, оказалось, что люди жили дольше, если не курили, употребляли алкоголь умеренно, ежедневно съедали пять или более порций овощей и фруктов и занимались физкультурой 12 или более раз в месяц. «Если у вас ожирение, но вы ведете здоровый образ жизни, у вас не больше шансов умереть преждевременно, чем у человека с нормальным весом», — говорит Эрик Мэтисон, ведущий автор исследования 2012 г. (В, С). Все группы сравнивали с эталонной контрольной группой.

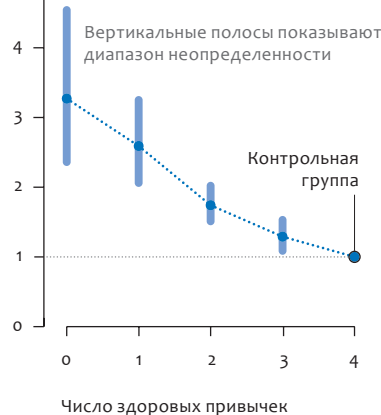
Здоровые привычки как предиктор смертности в каждой из групп по ИМТ



А ИМТ как предиктор смертности



В Здоровые привычки как предиктор смертности без учета ИМТ



У тех, кто придерживался всех четырех здоровых привычек, ИМТ перестал быть фактором, предсказывающим смертность

Контрольная группа

SOURCES: "ASSOCIATION OF BMI WITH OVERALL AND CAUSE-SPECIFIC MORTALITY: A POPULATION-BASED COHORT STUDY OF 3.6 MILLION ADULTS IN THE U.K.," BY KRISHNAN BHASKARAN ET AL., IN LANCET DIABETES & ENDOCRINOLOGY, VOL. 16, OCTOBER 2018 (BMJ); "HEALTHY LIFESTYLE HABITS AND MORTALITY IN OVERWEIGHT AND OBESE INDIVIDUALS," BY ERIC M. MATTHEWSON ET AL., IN JOURNAL OF THE AMERICAN BOARD OF FAMILY MEDICINE, VOL. 25, NO. 1, JANUARY 2012 (Healthy habits study); Graphic by Amanda Montañez

Расистские корни борьбы с ожирением

Линдо Бэкон и Сабрина Стрингс

Чернокожие люди, и в частности женщины, сталкиваются со значительными проблемами в области здравоохранения. В отличие от представителей других расовых групп у них повышен риск хронических сердечно-сосудистых, воспалительных и метаболических заболеваний даже после учета таких поведенческих факторов, как курение, физические упражнения и диета.

Кроме того, чернокожие женщины — это группа с самым высоким индексом массы тела (ИМТ) в США, причем каждые четыре из пяти имеют лишний вес или ожирение. Многие врачи, зачастую без проведения анализов и диагностики, утверждают, что «избыточный» вес чернокожих женщин — основная причина их проблем со здоровьем. Кроме того, существует масштабная кампания общественного здравоохранения, нацеленная специально на чернокожих женщин и призывающая полных людей правильно питаться, есть меньше и худеть.

Такая повышенная озабоченность их весом не нова, она отражает расистскую стигматизацию чернокожих женщин. Почти три столетия назад ученые, изучающие расы, утверждали, что африканские женщины имеют особенную склонность достигать таких размеров, которые типичный европеец счел бы неприемлемыми. Говорили, что африканским мужчинам нравятся крепкие женщины, и европейская пресса публиковала рассказы о традиционных мероприятиях, которые описывались как пиршества, где африканских женщин раскармливают до желаемых «неподъемных» габаритов.

В конце XIX в. многие практикующие врачи считали, что чернокожие женщины и мужчины вымрут из-за предполагаемой неспособности контролировать свои «животные аппетиты» к еде, питью и блуду. Эти предположения не подкреплялись научными данными, а воплощали господствующую в науке в то время расовую логику. Позже некоторые врачи пытались побудить чернокожих мужчин изменить эстетические предпочтения. Они утверждали, что восхваление чувственности чернокожих женщин поощряет тех к нездоровому питанию, нездоровым привычкам и поддержанию нездоровой формы.

Сегодня представление, что вес составляет главную проблему чернокожих женщин, основано на этих исторически сложившихся расистских идеях и игнорирует влияние на здоровье совокупности социальных факторов. Кроме того, это закрепляет неверное и опасное представление о связи веса со здоровьем. На самом деле было показано, что социальные факторы сильнее влияют на здоровье, чем ИМТ или образ жизни.

Врачи часто говорят полным людям, что для решения проблем со здоровьем надо сесть на диету и сбросить вес. Но во многих исследованиях показано, что некоторые



неблагоприятные последствия для здоровья, связанные с ожирением, в том числе повышенная смертность, обусловлены стигматизацией по поводу веса, а не самим весом. Независимо от дохода чернокожие женщины, помимо сексизма и расизма, постоянно сталкиваются с предубеждением против их веса. Тут и дискриминация на рабочем месте, и плохое обслуживание в ресторанах, и грубые или объективизирующие комментарии в интернете — а все эти переживания вызывают стресс, который повышает вероятность хронических психических и физических заболеваний, таких как болезни сердца, диабет, депрессия и тревожность.

В статье 2018 г., написанной совместно психологами, социологами и специалистами по поведению и опубликованной в журнале *BMC Medicine*, утверждается, что предвзятое отношение к полным людям влияет на них гораздо хуже, чем само ожирение. Среди многочисленных работ, поддерживающих это утверждение, есть исследование, опубликованное в *Psychological Science* в 2015 г., в котором показано, что для людей, сообщавших о пережитой дискриминации в связи с весом, риск смерти был на 60% выше независимо от ИМТ (и, соответственно, независимо от размеров тела). Такая взаимосвязь может отражать прямые и косвенные последствия хронического социального стресса.

Помимо прочего, риск развития заболеваний у чернокожих женщин повышается из-за проживания в расово сегрегированных бедных районах. Бедные черные районы нередко страдают

веса было связано с улучшением уровня А1С [показателя содержания сахара в крови за длительный период], был задан неправильный вопрос», — рассказывает Мец. Вес может временно снизиться при ограничительной диете, но Мец считает, что улучшение вызывают не потерянные килограммы, а изменения привычек питания и физической нагрузки. «И если такие поведенческие изменения сопряжены со слишком сильными ограничениями, — добавляет Мец, — они могут усугубить проблему».

Изучив историю болезни Таун, Мец назначила кардиограмму и потом повторила ее трижды, чтобы убедиться, что частота сердечных сокращений у Таун в состоянии покоя снижена до 50 ударов в минуту, что значительно ниже нормального диапазона 60–100 ударов. (Хотя низкая частота сердечных сокращений считается нормой для тренированных атлетов, она часто бывает опасным осложнением при тяжелой потере веса и недоедании и может привести к аритмии и даже смертельному исходу.) Кроме того, Мец провела анализ крови

от нехватки питьевой воды, более высокого содержания токсинов в окружающей среде и от загрязнения воздуха. Эти факторы увеличивают риск развития таких респираторных заболеваний, как астма и болезни легких. Они также умножают вероятность серьезных осложнений от нового коронавируса.

Кроме того, в этих районах, как правило, много сетей быстрого питания и недостаточно продуктовых магазинов, предлагающих полноценную еду. Отсутствие продовольственной безопасности, то есть доступа к дешевым и полезным продуктам, сильно связано с хроническими заболеваниями независимо от ИМТ.

Когда состояние здоровья чернокожих женщин объясняют просто ожирением, происходит игнорирование критически важных социально-исторических факторов. В итоге люди получают рекомендации похудеть, неэффективность которых давно уже доказана. Несмотря на безжалостное давление со стороны государственных учреждений здравоохранения, частной индустрии похудения, размах которой оценивается в сумму \$72,7 млрд ежегодно, и тревожно высокий уровень неудовлетворенности своим телом, большинство людей, пытающихся похудеть, не способны длительное время поддерживать сниженный вес и не достигают улучшения здоровья. Заикленность на весе не помогает получить стройные или здоровые тела, но успешно способствует стигматизации людей с повышенным весом.

Хронические заболевания, такие как диабет или болезни сердечно-сосудистой системы, некорректно называют «болезнями нездоровых привычек», хотя основная проблема не в поведении. Заболевания возникают из-за тяжелых жизненных обстоятельств. Другими словами, чернокожие женщины часто болеют в первую очередь не потому, что едят неправильную пищу, а потому, что их жизнь полна стресса и они живут в загрязненных районах.

Наиболее эффективные и этичные подходы к улучшению здоровья должны быть направлены на изменение условий жизни чернокожих женщин: на борьбу с расизмом, сексизмом, стигматизацией веса и за то, чтобы предоставить людям возможность для процветания.

Линдо Бэкон (*Lindo Bacon*, ранее *Линда Бэкон*) — специалист по питанию в Калифорнийском университете в Дейвисе. Автор книг «Здоровье в каждом размере: удивительная правда о вашем весе» (*Health at Every Size: The Surprising Truth about Your Weight*, 2010), «Радикальное принятие» (*Radical Belonging*, в печати) и соавтор книги «Уважение к телу» (*Body Respect*, 2014).

Сабрина Стрингс (*Sabrina Strings*) — доцент социологии в Калифорнийском университете в Ирвайне и автор книги «Страх перед черным телом: расовые причины боязни большого веса» (*Fearing the Black Body: The Racial Origins of Fat Phobia*, 2019).

и обнаружила, что содержание холестерина повышено, а эстрогена понижено до уровня, характерного для менопаузы, и то и другое — распространенные побочные эффекты анорексии. Мец показала своей пациентке результаты теста и сказала: «Это все не норма». Для Таун это был очень отрезвляющий момент. «Мои другие врачи этого никогда не замечали, — рассказывает она. — Тогда я впервые поняла, что мое здоровье в большей опасности сейчас, когда у меня недостаток веса, чем было при его избытке».

Сомнительность весоцентрической модели поддержания здоровья

Для Мец история со здоровьем Таун — классический пример того, как негативные представления о высоком весе порождают предвзятое отношение в медицине, которое вредит сильнее, чем лечит. В случае Таун из-за заикленности врачей на необходимости снижения веса они упустили другие тревожные сигналы и даже усилили расстройство пищевого поведения. В мае 2018 г. женщина из Канады Эллен Мод Беннетт (*Ellen Maud Bennett*) умерла всего через несколько дней после того, как у нее диагностировали рак в терминальной стадии; в некрологе ее родственники написали, что Беннетт годами пыталась получить медицинскую помощь в связи со своими симптомами, но получила только советы похудеть. «Такая стигматизация постоянно происходит при обычном посещении врача, который стыдит пациентов за лишний вес, — говорит Мец. — Предположения о здоровье и образе жизни пациентов делаются на основе их размера, и им часто рекомендуют снизить вес, вместо того чтобы назначить обоснованное лечение, соответствующее их состоянию здоровья».

Мец училась в Медицинской школе Дюкского университета и проходила ординатуру в Сан-Франциско, прежде чем стать врачом в Нью-Йорке. По ее оценке, первые пять-семь лет работы врачом она работала в той же заикленности на весе парадигме. «Все пациенты моей частной практики приходили и спрашивали про снижение веса, и я сразу же начинала заниматься именно этим», — рассказывает Мец. И действительно, долгое время подавляющее большинство медицинских работников считали, что надо сосредоточить внимание именно на весе. Дело в том, что с начала XX в. страховая индустрия начала собирать данные и выяснилось, что повышенный вес предсказывает более короткую продолжительность жизни. В 1970-х гг. физиолог Ансель Кис (*Ansel Keys*) опубликовал исследование, в котором показал корреляцию между пищевыми жирами и сердечно-сосудистыми заболеваниями и предложил индекс массы тела (ИМТ) для оценки степени ожирения на основе соотношения веса и роста. Такой индекс используют многие врачи, чтобы оценить здоровье пациента через вес.

К 1985 г. Национальные институты здоровья утвердили ИМТ в качестве одного из двух официальных способов охарактеризовать степень ожирения. А в 1998 г. собранная Национальными институтами здоровья группа экспертов выпустила руководство, переместившее 29 млн американцев, вес которых раньше считался нормальным или немного избыточным, в категории с избыточным весом и ожирением. «Так была создана "эпидемия ожирения" и был усилен акцент на весе как факторе риска для здоровья», — рассказывает Джеффри

Хангер (Jeffrey Hunger), доцент кафедры социальной психологии Университета Майами в Оксфорде, штат Огайо, изучающий здоровье стигматизированных групп населения.

Защитники руководства 1998 г. говорят, что необходимость такого сдвига и повышенного внимания к избыточному весу как фактору риска для здоровья убедительно подтверждается исследованиями. «Ожирение абсолютно точно оказывает негативное влияние, — говорит Дэвид Эллисон (David Allison), декан и заслуженный профессор Школы здравоохранения Индианского университета в Блумингтоне. — Совершенно очевидно, что оно приводит к повышенному кровяному давлению и хроническому воспалению, и оба этих фактора становятся причиной проблем». Но стигматизация людей с лишним весом (предвзятое отношение к тучным людям), представляющая собой набор негативных установок и убеждений, кото-

Врачи концентрируются на той пользе для здоровья, которую можно извлечь, улучшив поведенческие привычки, связанные с питанием и физическими упражнениями, вне зависимости от того, снижается ли при этом вес

рые проявляются в виде стереотипов, предрассудков и даже открытой дискриминации людей с высоким весом, тоже причиняет вред. Это может влиять на ученых, проводящих исследования, так что образуются пробелы в понимании связи между размером тела и здоровьем. Таким образом, истинный диагноз может быть поставлен с опозданием или не поставлен вовсе, а пациенты испытывают хронический стресс. Медицинское сообщество пыталось решить проблемы со здоровьем у американцев, сосредоточившись на снижении веса, но оказалось, что это практически нереально.

Несмотря на то что хорошо известно существование корреляции между размером тела и большей вероятностью сердечно-сосудистых заболеваний, диабета и других хронических проблем, некоторые механизмы такой взаимосвязи не столь прямолинейны. Ведущие исследователи утверждают, что высокая масса тела сама по себе способствует увеличению кровяного давления и воспалению, приводящим к соответствующим заболеваниям. Другие специалисты, такие как физиолог Линдо Бэкон

(Lindo Bacon), говорят, что вес влияет на здоровье сложным образом и что первопричина заболевания, скорее всего, в сочетании генетики пациента, его жизненных привычек и окружающей среды.

Показано даже, что в некоторых случаях повышенный вес может служить защитой при определенных проблемах со здоровьем. В начале 2000-х гг. исследователи стали замечать, что пациенты с более высоким ИМТ чаще выживают после операций на сердце, чем их более худые собратья; это явление назвали «парадокс ожирения». То же самое показано и для пациентов с остеопорозом (у них при более высокой массе тела предположительно повышается минеральная плотность костной ткани), серьезными травмами и некоторыми формами рака. Поскольку более высокая масса тела фактически помогает людям пережить некоторые серьезные заболевания, этим можно отчасти объяснить, почему люди с ИМТ немного выше нормы (повышенный вес или умеренное ожирение) имеют в целом более низкий риск смерти, согласно данным больших эпидемиологических анализов корреляций массы тела и смертности в Национальном исследовании здоровья и питания (*National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES*), первый из которых был опубликован учеными Центров по контролю и профилактике заболеваний в 2005 г. В этом исследовании отмечено, что соотношение между ИМТ и смертностью имеют форму *J*-образной кривой, то есть хотя риск смерти увеличивается для людей с наибольшими и наименьшими значениями ИМТ, однако нет более высокого риска для людей из среднего диапазона — с незначительно повышенным весом или умеренным ожирением — по сравнению с теми, у кого ИМТ в пределах нормы.

«Если наблюдать за популяцией дольше, то минимум *J*-образной кривой переместится к более высоким значениям на шкале ИМТ, — объясняет Эллисон, изучавший «парадокс ожирения». — Возможно, у нас появились более эффективные методы лечения, поэтому ожирение больше не убивает так быстро, как раньше». Но, по словам исследователей стигмы, сам факт, что эти результаты удивляют и классифицируются как парадокс, подчеркивает, какую роль в наших представлениях о весе и здоровье играют предрассудки о лишнем весе. «Парадокс — это что-то несоответствующее или кажущееся абсурдным, — отмечает Хангер. — Данный термин существует только потому, что кажется нелепым, что полные люди на самом деле могут оказаться здоровыми».

Научное понимание связи веса со здоровьем развивалось на фоне культурных предубеждений о размере тела и привело к устойчивому представлению, что вес — это вопрос личной ответственности и силы воли. Многочисленные исследования, начинающиеся с 1960-х гг., зафиксировали, что дети,

которым показывали фотографии других детей с различным телосложением, почти всегда оценивают толстого ребенка как наименее привлекательного. В эксперименте 1980 г. исследователь здравоохранения Уильям Деджонг (William DeJong) обнаружил, что когда старшеклассникам показали фотографию девушки с лишним весом, они характеризовали ее как ленивую и менее ответственную по сравнению с теми, кто имел нормальный вес, если только им не говорили, что ее вес связан с заболеванием щитовидной железы. «Если полные люди смогут "оправдать" своей вес <...> или представить доказательства успешного снижения веса, их характеристика может быть пересмотрена», — писал он.

Первые открытия Деджонга и других исследователей касательно стигматизации лишнего веса систематически отвергались ведущими исследователями и медицинскими работниками. Затем, в начале 2000-х гг., богатый спонсор Лесли Радд (Leslie Rudd), сделавший себе состояние на пищевых продуктах и напитках, обратился к группе исследователей веса из Медицинской школы Йельского университета с просьбой изучить влияние этой стигмы на людей с большими телами. В пресс-релизе Йельского университета 2006 г. приводят цитату Радда: «Когда-то у меня было гораздо больше лишнего веса, чем сейчас, и это дало мне возможность напрямую ощутить, что чувствуют люди с избыточным весом и с какой дискриминацией они сталкиваются». «В этой области было очень мало работ», — рассказывает Келли Браунелл (Kelly Brownell), профессор публичной политики Дюкского университета и бывший директор учреждения, превратившегося сейчас в Центр Радда по продовольственной политике и ожирению. Ребекка Пуль (Rebecca Puhl), бывшая в то время аспиранткой Браунелла, вызвалась возглавить эту работу. «По сути, Ребекка создала это направление, — говорит Браунелл. — И вскоре мы были ошарашены тем, что обнаружили».

На сегодня существует достаточно доказательств, что тучные люди сталкиваются с предвзятостью не только в медицинских учреждениях, но и на работе, в школе и в СМИ. Пуль, которая сейчас работает заместителем директора в Центре Радда при Коннектикутском университете, вместе с другими учеными выявляет негативное влияние непрерывной внутренней и внешней стигматизации людей с повышенным весом на их физическое и психическое здоровье. В марте этого года Пуль с 35 коллегами опубликовали в журнале *Nature Medicine* совместное заявление с осуждением стигматизации повышенного веса как «не соответствующей современным научным данным, демонстрирующим, что регуляция массы тела не полностью подчинена волевому контролю и что биологические, генетические и средовые факторы играют важнейшую роль при ожирении». Кроме того, они

выпустили документ, который подписали более 100 медицинских и научных организаций, в том числе Американская диабетическая ассоциация, с обязательством искоренить стигматизацию повышенного веса и относиться к «лицам с лишним весом и ожирением с должным вниманием и уважением», особенно на рабочем месте, в образовательных и медицинских учреждениях.

Тем не менее избавление от лишнего веса продолжают пропагандировать как медицинскую необходимость для снижения смертности и контроля таких хронических состояний, как заболевания сердечно-сосудистой системы и диабет. Поэтому маленькая, но непрерывно растущая группа исследователей стремится вместо медицинского подхода, заикленного на весе, ввести подход, «лишенный предрассудков», впервые опробованный Мец и горсткой других врачей в разных регионах страны. Медики, использующие эту стратегию, оценивают состояние здоровья пациента и его медицинские потребности на основе данных о кровяном давлении, холестерине и других показателей и концентрируются на той пользе для здоровья, которую можно извлечь, улучшив поведенческие привычки, связанные с питанием и физическими упражнениями, вне зависимости от того, снизится ли при этом вес. Это может быть более полезно для улучшения состояния здоровья, чем ИМТ. В нескольких рандомизированных клинических испытаниях и эпидемиологических исследованиях показано, что улучшение питания и привычка к физическим упражнениям помогают снизить кровяное давление и достичь других физиологических успехов, даже если вес не снижается. Об этом сообщают Бэкон и исследовательница веса Люси Афрамор (Lucy Aphramor) в своем обзоре 2011 г. в *Nutrition Journal*. «Что мы действительно делаем — мы рассматриваем пациентов как сложные человеческие организмы, а не списываем все проблемы со здоровьем на их массу, — объясняет Мец. — Мы смотрим в целом, как различные органы и системы организма взаимодействуют друг с другом, а затем — как на здоровье пациента влияют окружающая его среда и даже общество». Если такой подход полезнее для здоровья, готово ли медицинское и научное сообщество отказаться от конкретных чисел на весах?

Чем вредна стигматизация людей с лишним весом

Негативное отношение к крупным размерам тела, по-видимому, причиняет реальный вред в медицинских учреждениях. Кимберли Гудзун (Kimberly Gudzone), доцент Школы медицины Университета Джонса Хопкинса, выяснила, что люди, столкнувшиеся в кабинете врача со стигмой из-за веса, с меньшей вероятностью придут снова. Проанализировав аудиозаписи 208 встреч пациентов



с 39 врачами-терапевтами, Гудзун обнаружила, что у врачей хуже устанавливался эмоциональный контакт с пациентами, имевшими избыточный вес; это исследование было напечатано в 2013 г. в журнале *Obesity*. В другой статье, опубликованной в 2014 г., она показала, что 21% пациентов с лишним весом и ожирением ощущали, что их врач «судит о них по весу», и в результате они со значительно меньшей вероятностью ему доверяли.

Такое недоверие возникает независимо от социально-экономического статуса пациента. В одном исследовании 2006 г. 68% женщин с избыточным весом сообщили, что из-за своего веса откладывали обращение к врачу, хотя более 90% из них имели медицинскую страховку. Гудзун говорит, что наблюдает это постоянно: «Для меня нет ничего необычного в том, чтобы увидеть пациента, который не был у врача в течение десяти лет, и теперь я сообщаю, что у него диабет или гипертония. Кто знает, сколько таких проблем можно было бы предотвратить или хотя бы лучше скорректировать, если начать лечение раньше?»

Даже когда пациенты с повышенным весом обращаются за медицинской помощью, предрассудки их лечащего врача могут негативно сказаться

на качестве получаемой помощи. «Вспомните все наши стереотипы о том, что люди с повышенным весом ленивы, безвольны и не заботятся о своем здоровье, — говорит Хангер. — Если с такими убеждениями вы идете проводить прием, то, конечно, это повлияет на вопросы, которые вы задаете, и на ваше отношение к пациентам». Как показывают исследования, врачи могут быть менее склонны обеспечивать стандартное лечение пациентам с высоким ИМТ. В одном опросе, проведенном у 1316 врачей, 17% признались, что неохотно выполняют гинекологический осмотр пациенток с ожирением. В исследовании 2011 г., в котором участвовали пациенты с одышкой и некоторыми другими проблемами, выяснилось, что студенты-медики были склонны рекомендовать полным пациентам снизить вес, а не пытались бороться с симптомами.

По словам Мец, о распространенности стигматизации повышенного веса она впервые узнала 12 лет назад, занимаясь первичной медицинской практикой в Дюкском университете. Она знала, что при лечении пациентов с расстройством пищевого поведения очень важно избегать взвешивания или обсуждения стратегий похудения, поскольку любое внимание к размеру тела

может усилить у них глубоко укоренившийся стыд и склонность к неупорядоченному питанию и другим деструктивным формам поведения. «Но потом я выходила от этого пациента и шла к соседнему, у которого не было диагностировано расстройства пищевого поведения, но который хотел, чтобы я помогла ему похудеть», — вспоминает она. Мец не могла примириться с противоречием, которое она ощущала, когда разговаривала об ограничении объема порций и подсчете калорий с полными пациентами, многие из которых придерживались диеты и интенсивно занимались спортом, тогда как ее более худым пациентам можно было бы порекомендовать то же самое.

Исследования показывают, что рестриктивные расстройства пищевого поведения могут чаще встречаться у тучных людей. Классическая нервная анорексия диагностирована всего у 0,6% американцев, вероятно, отчасти из-за того, что один из ее диагностических критериев — достижение пациентом «экстремально низкой массы тела». Но в 2013 г. в пятое издание «Диагностического и статистического руководства по психическим расстройствам» (*DSM-5*) была добавлена атипичная анорексия. Этот диагноз ставят пациентам, соответствующим всем критериям анорексии, кроме недостаточного веса. Согласно недавней оценке, такой диагноз могли бы иметь 2,8% американцев. В других исследованиях расстройств пищевого поведения показано, что тучные пациенты с этим расстройством в той же степени, что и худые, подвержены таким медицинским осложнениям, как опасно низкое давление крови и замедленный сердечный ритм, и часто им приходится дольше добиваться лечения — видимо, потому, что врачи игнорируют или неправильно интерпретируют их симптомы. «Рекомендации снизить вес не способствовали здоровью моих пациентов, — говорит Мец. — Наоборот, они вредили».

Вред, обусловленный стигматизацией людей с повышенным весом, по-видимому, возникает не только из-за неверного диагноза. В 2016 г. при анализе данных, полученных от более 21 тыс. взрослых американцев в ходе Национального эпидемиологического обследования употребления алкоголя и связанных с ним состояний (*National Epidemiologic Survey on Alcohol and Related Conditions*), обнаружилась существенная связь между наличием опыта дискриминации в связи с лишним весом и повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, язвы желудка, диабета и высокого уровня холестерина. Такая связь сохранилась даже после того, как исследователи учли влияние социально-экономического положения, уровня физической активности и ИМТ.

Пуль и другие исследователи предрассудков, связанных с весом, провели эксперименты, показавшие, что у людей, случайным образом отобранных

в группу, получающую «сигналы о стигматизации в связи с весом», постоянно наблюдались физиологические показатели стресса, такие как повышенный уровень кортизола, по сравнению с теми, кто получал впечатления, не связанные со стигматизацией. (Например, в одной работе психологов из Рутгерского университета и Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе исследователь говорил неосведомленным добровольцам, что они не могут принять участие в эксклюзивном шопинге, поскольку они слишком крупные и могут растянуть одежду.) Эти данные указывают, что дискриминация на основании повышенного веса может не просто быть неприятной, но и действительно способствовать ухудшению здоровья, чаще наблюдаемому у людей с высоким весом. «Известно, что физиологический стресс вносит свой вклад в увеличение массы тела, поскольку более высокий уровень кортизола способствует набору веса, — объясняет Пуль. — Стигматизация, связанная с повышенным весом, — это хронический стресс. Поэтому она имеет хронические последствия для здоровья, проявляющиеся как в физиологии, так и в том, как люди справляются с этим стрессом».

Итак, негативное отношение к людям с повышенным весом может влиять на здоровье напрямую, повышая уровень кортизола и кровяное давление, и опосредованно, ухудшая качество медицинской помощи, которую тучные пациенты получают от подверженных предрассудкам врачей. Возможно ли, что полные люди менее здоровы не только из-за своего размера, но и из-за того, как мир относится к такому размеру? «Да», — без колебаний отвечает Браунелл. Он не оспаривает доказательств существования биологической связи между весом и здоровьем. «Ожирение вызывает изменения в организме, которые повышают риск, и это приводит к заболеваниям, — объясняет он. — Но есть и другие причины. И каждая из них усугубляется наличием стигмы, связанной с весом».

Не следить за весом сложно всем

В клинику *Mosaic* на осмотр пришла 50-летняя Лесли Скотт (Leslie Scott), и она хочет, чтобы ее взвесили. Она говорит, что ей так привычнее, и пожимает плечами. Положение медика обязывает, но Мец не смотрит на цифры перед началом осмотра. Она больше озабочена психическим здоровьем своей пациентки. Во время прошлого посещения Скотт упомянула, что ей сложно совмещать работу с заботой о престарелой матери. Сегодня Скотт сообщила, что недавно умер ее брат и она ощущает себя подавленной.

Мец закрывает свой ноутбук и придвигает стул поближе к пациентке. «Соболезную, — говорит она. — Это ужасная потеря». Несколько минут они обсуждают симптомы болезни Скотт — например, что ей трудно заснуть и она забывает поесть. «Я

знаю, что мне нужно больше заботиться о себе, — говорит Скотт. — Вероятно, мне надо вернуться в спортзал и больше ходить пешком».

«Вам нравятся эти занятия? — спрашивает Мец. — А возможно ли при вашем плотном графике делать это хотя бы раз или два в неделю?» Скотт считает, что возможно. Мец переходит к анализу биологических показателей: кровяное давление у Скотт немного повышено. «Не настолько, чтобы вам нужны были лекарства, но нам надо за этим следить», — поясняет она для пациентки.

«Я думаю, это мое питание и мой вес, — отвечает Скотт. — Несколько лет назад он был очень высоким. Затем я похудела, но сейчас опять набрала вес».

Мец молчит. Она тщательно подбирает свои следующие слова, чтобы избежать любого намека на критику Скотт или ее предыдущих врачей. «Мы часто слышим в медицинских учреждениях, что снижение веса само по себе лечит такие проблемы, как повышенное давление», — говорит она. Мец объясняет, что, по данным медицинской литературы, помогает не обязательно именно снижение веса, более вероятно, что влияют изменения в нашем поведении. «Поэтому скажите: в прошлый раз, когда ваше давление улучшилось, вы как-то меняли свое поведение?»

«Ну, — говорит Скотт, — я вышла из стрессовой ситуации». Раньше она работала по 12 часов в ночную смену в местной тюрьме, а потом перешла на дневную и менее опасную охранную работу, и тогда давление намного улучшилось.

Мец чувствует, что нашла подход. Это тот самый момент, когда пациент обычно начинает сам соединять одно с другим и видит, что слишком сильная заикленность на весе начинает мешать его здоровью. Мец переживает, что при другом подходе из-за размеров тела Скотт легко можно было бы упустить ее депрессию. Когда раньше у нее повышалось давление, никто не спрашивал Скотт о ее работе или пищевых привычках, не говоря уж о ее психическом здоровье, когда она из последних сил работала по ночам, воспитывая в одиночку троих детей. Скотт рассказывает, что разговор всегда был простой: «Если вы похудеете, вам не надо будет принимать лекарства».

Мец объясняет, как стресс из-за предыдущей работы, недостаток сна и нерегулярное питание ранее вызвали у Скотт гипертонию. Затем она замечает, что в течение нескольких месяцев после смерти брата у Скотт снова появились те же проблемы, хоть и вызванные другими причинами. Они начинают строить планы, как справиться с депрессией Скотт с помощью лекарств, консультаций и умеренной физической нагрузки. Вес не обсуждается. «Меня сейчас беспокоит только одно: достаточно ли вы питаетесь?» — спрашивает Мец. Скотт кивает и смеется.

Даже когда такие врачи, как Мец, хотят предложить альтернативу без заикливания на весе, им часто приходится преодолевать сопротивление пациентов, которые ожидают рекомендации для похудения. Однако вес — гораздо более стабильная черта, чем долгое время считалось. В журнале *American Psychologist* в обзоре данных по эффективности способов похудения показано, что независимо от того, какой диеты придерживались люди, они могли снизить вес в первые 9–12 месяцев, но в последующие от двух до пяти лет они снова его набирали, в среднем недобирая 1 кг до исходного значения. Не придерживавшиеся диеты за это время тоже набирали вес, недобирая в среднем всего около 500 г. «Усилия сидящих на диете принесли мало пользы, а те, кто не придерживался диеты, видимо, не страдали от этого, — говорит Трейси Манн (Traci Mann), одна из соавторов статьи, занимающая сейчас должность профессора психологии в Миннесотском университете. — По-видимому, восстановление веса — это типичное последствие диеты, а не исключение». Браунелл, изучавший подходы государственной политики к профилактике ожирения, когда работал в Центре Радда, соглашается с тем, что данные о неэффективности и недолговечности обескураживают, потому что людям приходится прикладывать огромные усилия для борьбы с лишним весом, а потом вес восстанавливается, причем последующее увеличение веса, по-видимому, еще сильнее повышает риск для здоровья.

Это подтверждает и дипломированный диетолог Дана Стюртевант (Dana Sturtevant), которая в течение семи лет руководила процессом похудения в клинических испытаниях, где сравнивали разные протоколы лечения гипертензии. «Все участники наших испытаний проходили один и тот же шестимесячный курс и действительно немного похудели за полгода, — вспоминает она. — Однако мы наблюдали за ними в течение двух лет и их вес всегда увеличивался обратно до исходного или даже большего значения. Когда я говорила об этом на совещаниях, исследователи отвечали: это пациенты виноваты, что не придерживаются протокола». Ее коллегам никогда не приходило в голову усомниться ни в самом протоколе, ни в том, что снижение веса должно быть первоочередной задачей. Стюртевант начала ощущать неэтичность своей работы, и сейчас она совладелец организации *Be Nourished* («Питайся»), которая учит медицинских работников, как предлагать помощь с учетом возможной психологической травмы и без предвзвешенных в отношении большого веса. «У нас нет научно обоснованного способа лечения чрезмерного веса, который давал бы устойчивый результат, — говорит Стюртевант. — Если бы столь низкая эффективность была у какого-нибудь лекарства, врачи перестали бы его выписывать».

Мец сокрушается, что существует совсем мало исследований, в которых сравнивали бы «недиетические» способы лечения без предубеждения к весу и протоколы, нацеленные на похудение. В исследовании 2005 г. 78 женщин с ожирением случайным образом распределили либо в группу с диетой, либо в ту, где использовался протокол *Health at Every Size* («Здоровье в каждом размере»). Во второй группе с участниками говорили о принятии собственного тела, призывали к независимости самооценки от веса, обучали методам интуитивного питания и стратегиям поиска такой физической активности, которая приносила бы удовольствие. Те, кто придерживался диеты, потеряли вес, но затем восстановили его, они чаще бросали программу и отмечали меньше положительных изменений в здоровье, чем участники из второй группы. В исследовании 2018 г. обнаружилось, что протокол «Здоровье в каждом размере» помог участникам улучшить их психологическое состояние, физическую выносливость и общее качество жизни, даже если у них не снизился вес. Это обнадеживающие результаты, но Мец говорит, что нужно больше данных, чтобы лучше разобраться и доработать данный подход.

Мец часто ссылается на одно такое исследование: это анализ данных *NHANES*, опубликованный Эриком Мэтисоном (Eric Matheson), доцентом семейной медицины Медицинского университета Южной Каролины, и его коллегами. Они обнаружили, что жизненные привычки хорошо предсказывают смертность, потому что независимо от весовой категории люди живут дольше, если придерживаются здоровых привычек, в том числе не курят, умеренно употребляют алкоголь, съедают пять и более порций фруктов и овощей ежедневно, а также занимаются физкультурой 12 или более раз в месяц. «Если у вас ожирение, но вы ведете здоровый образ жизни, у вас не больше шансов умереть преждевременно, чем у человека с нормальным весом», — говорит Мэтисон.

Среди его данных есть некоторые неясности. Например, потребление большего количества овощей было связано с пониженной смертностью для людей с нормальным и избыточным весом, но не для людей с ожирением, тогда как регулярные физические упражнения, по-видимому, помогли людям с нормальным весом и ожирением, но не тем, у кого был избыточный вес. Мэтисон не знает, как это можно объяснить. Но одно из возможных объяснений в том, что сами классификации веса несколько произвольны, это признают даже ведущие исследователи веса. «При любом ИМТ люди могут иметь разное количество жира в организме или иметь такой размер из-за совершенно разных факторов или их сочетаний, — говорит Эллисон. — Их возраст, раса, пол и генетический фон — все это играет роль, когда мы пытаемся определить, как

их уровень ожирения отразится на здоровье. Сказать, что ожирение плохо, — это большое упрощение. Надо понимать, плохо для чего, для кого и когда».

Мец не уверена, что нашла лучший медицинский подход, но она каждый день наблюдает пациентов, которые убеждают, что она движется в правильном направлении. Во время приема Эрин Таун упоминает, что недавно она завершила лечение расстройства пищевого поведения. «Это прекрасно», — говорит Мец, расплываясь в теплой улыбке. Затем они немного говорят о питании Таун, и Мец вдумчиво выстраивает разговор, спрашивая: «Вы получаете от организма обратную связь, когда это съедаете?» — вместо того чтобы давать рекомендации, что есть, а что нет, как это сделал бы другой врач. Один из рисков такого подхода в том, что рассуждения о здоровых привычках все еще легко могут дать повод оценивать пациентов по их способности выполнять предписания врача, а разговоры о контроле размера порций и «изменении образа жизни» могут рассматриваться как замаскированный способ поощрения похудения. Но Мец решительно настроена продвигать только те изменения, которые поддерживают ее пациентов и дают явные преимущества независимо от того, снижается ли при этом вес или нет.

Позже Таун рассказала мне, что одной из самых больших проблем во время восстановления после расстройства пищевого поведения было принять, что ей не нужно контролировать свой вес. «Не знаю, удержусь ли я в небольшом размере. И это сложно, поскольку у меня сохранилось много остаточных травм от того, как ко мне относились, когда я была крупной» — говорит Таун. Но Мец помогла ей понять, что концентрация на размере, а не на здоровье привела к серьезным медицинским проблемам. «Наличие врача, который может настолько полно исключить тему веса из моего медицинского обслуживания, буквально изменило мою жизнь».

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Гиббс У. Ожирение: непомерно раздутая проблема? // *BMJ*, № 9, 2005.
- *Weight Science: Evaluating the Evidence for a Paradigm Shift*. Linda Bacon and Lucy Aphramor in *Nutrition Journal*, Vol. 10, Article No. 9; January 24, 2011.
- *How and Why Weight Stigma Drives the Obesity “Epidemic” and Harms Health*. A. Janet Tomiyama et al. in *BMC Medicine*, Vol. 16, Article No. 123; August 15, 2018.
- *An Evidence-Based Rationale for Adopting Weight-Inclusive Health Policy*. Jeffrey M. Hunger et al. in *Social Issues and Policy Review*, Vol. 14, No. 1, pages 73–107; January 2020.

ЭВОЛЮЦИЯ

УДИВИТЕЛЬНАЯ ИСТОРИЯ ПАЛЬЦЕВ

Недавние ископаемые находки указывают на то, что пальцы передних конечностей возникли задолго до того, как позвоночные выбрались из воды и колонизировали сушу

Ришар Клютье и Джон Лонг



Элпистостега Уотсона (*Elpistostege watsoni*) — древняя рыба, обитавшая на планете 375 млн лет назад и состоявшая в близком родстве с четвероногими позвоночными. В ее грудных плавниках находились пальцевые кости, поддерживавшие вес тела на речном дне и суше.

ОБ АВТОРАХ

Ришар Клутье (Richard Cloutier) — профессор-исследователь в области эволюционной биологии в Квебекском университете в Римуски (Канада). Научные интересы — закономерности и механизмы эволюционного развития ранних позвоночных, а также современных рыб и амфибий. Девонскую фауну и палеоэкологию Национального парка Мигуаша он изучает уже более 30 лет.



Джон Лонг (John A. Long) — профессор палеонтологии в Университете Флиндерса (Южная Австралия). Изучает раннюю эволюцию позвоночных (включая девонские окаменелости рыб, найденные в геологической формации Гугоу в Западной Австралии). В 2020 г. Лонг получил престижную премию Фонда Джима Беттисона и Хелен Джеймс за научную и литературную деятельность на протяжении жизни.



Наша кисть — ладонь и пять отходящих от нее пальцев — гибкая и прочная конструкция, позволяющая человеку играть на пианино, орудовать молотком и нежно прикоснуться. Кисти — самые подвижные части нашего тела; с их помощью мы выполняем большинство повседневных задач от одевания и вождения автомобиля до стряпни и отправки СМС-сообщений. Но эволюционное происхождение кисти (особенно ранние стадии ее формирования) и по сей день во многом остается для ученых загадкой. Кроме человека кисти имеют и другие четвероногие позвоночные (тетраподы). Их кисти обычно называются лапами и сильно отличаются внешним видом и функциями от кистей человека. У птиц и рукокрылых (например, летучих мышей) кисти преобразованы в крылья, а у китов и тюленей — в плавники и ласты. Но схема строения кисти у всех этих животных практически одинакова.

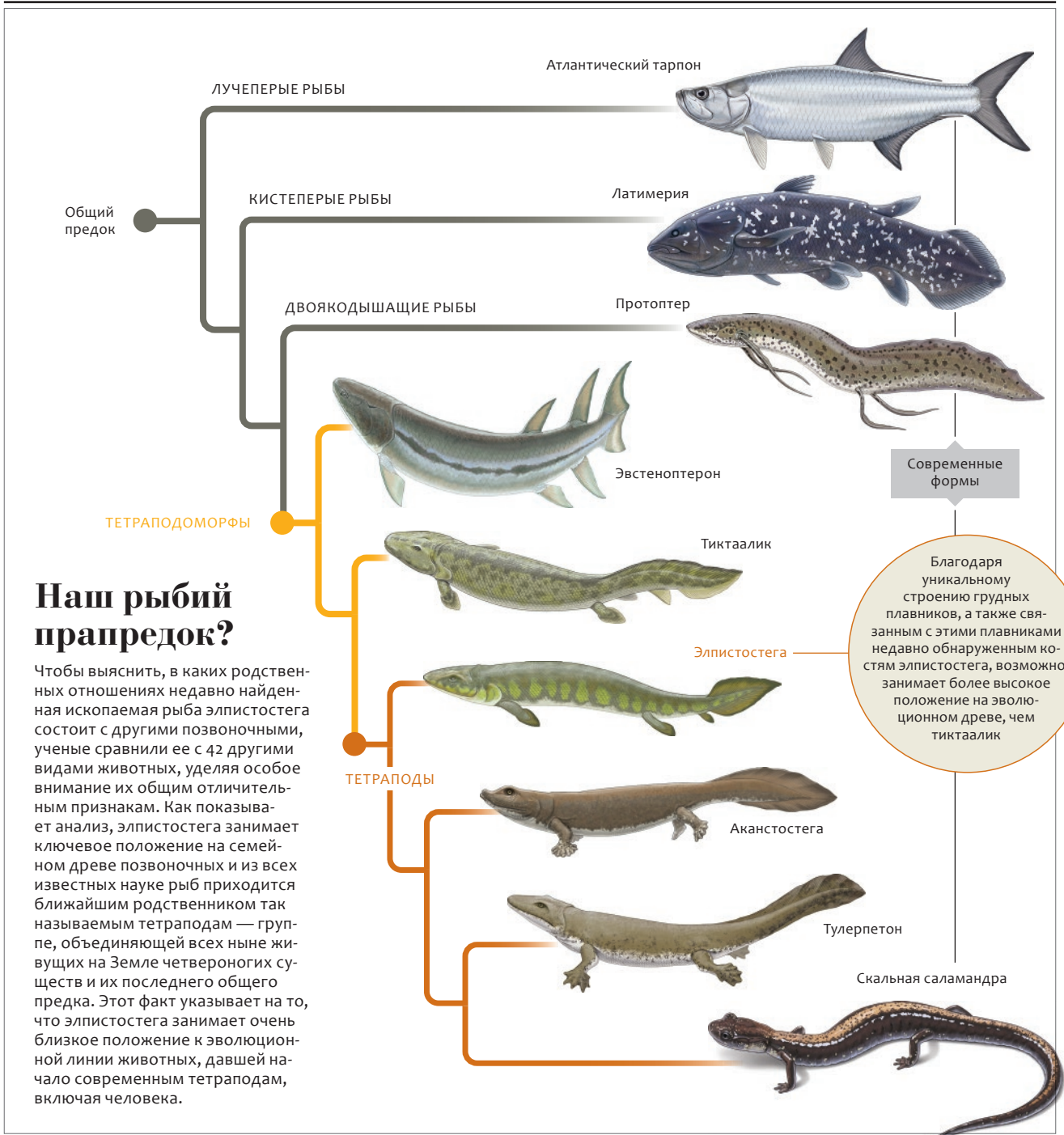
По поводу этого сходства Чарлз Дарвин писал в 1859 г. в своей книге «Происхождение видов»: «Что может быть любопытнее того обстоятельства, что пригодная для хватания рука человека, роющая лапа крота, нога лошади, ласт дельфина и крыло летучей мыши построены по одному и тому же образцу и состоят из одних и тех же костей, одинаковым образом расположенных друг относительно друга?»

Дарвин предложил этому феномену весьма изящное объяснение: кисть у всех упомянутых животных устроена одинаково, потому что все они произошли от единого общего предка, обладавшего пятипалыми конечностями. За более чем 160 лет, истекших со времени выдвижения Дарвином его

революционной гипотезы, биологи-эволюционисты пытались подтвердить ее истинность с помощью палеонтологических, генетических и эмбриологических данных. Их усилия помогли установить общность происхождения от рыб наземных четвероногих позвоночных и показали, что кости, образующие кисть человеческой руки, имеются также у лягушек, птиц и китов. Кроме того, они идентифицировали некоторые гены, контролирующие развитие кистей, крыльев, ластов и прочих вариантов дистальных отделов конечностей позвоночных. Но первая глава этой истории, посвященная чудесному превращению костей плавников ископаемых рыб в пять и запястье, изложена

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Вопрос об эволюционном превращении плавников древних рыб в конечности наземных позвоночных долгое время оставался малоизученным из-за недостатка окаменелостей, документирующих эту трансформацию.
- Недавняя находка полностью сохранившегося скелета ископаемой рыбы, жившей на Земле 375 млн лет назад, не только поможет ученым заполнить этот пробел, но и, возможно, прольет новый свет на эволюцию четвероногих животных.



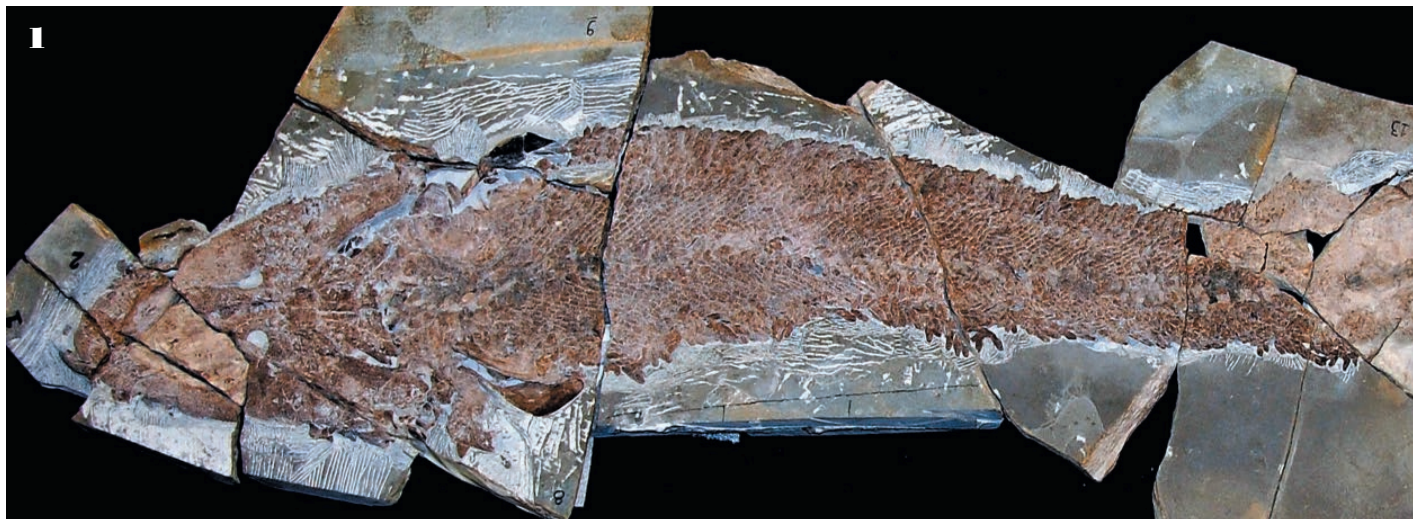
Наш рыбий прапредок?

Чтобы выяснить, в каких родственных отношениях недавно найденная ископаемая рыба элпистостега состоит с другими позвоночными, ученые сравнили ее с 42 другими видами животных, уделяя особое внимание их общим отличительным признакам. Как показывает анализ, элпистостега занимает ключевое положение на семейном древе позвоночных и из всех известных науке рыб приходится ближайшим родственником так называемым тетраподам — группе, объединяющей всех ныне живущих на Земле четвероногих существ и их последнего общего предка. Этот факт указывает на то, что элпистостега занимает очень близкое положение к эволюционной линии животных, давшей начало современным тетраподам, включая человека.

эволюционистами довольно невнятно. Главная причина — недостаток более или менее полно сохранившихся останков переходных форм позвоночных между рыбами, ведущими сугубо водный образ жизни, и сухопутными тетраподами.

В марте этого года мы обнаружили необычные ископаемые кости — полностью сохранившийся скелет древней рыбы, жившей на планете 375 млн лет назад и получившей название элпистостеги Уотсона (*Elpistostege watsoni*). Найденные окаменелости позволили нам в значительной мере

заполнить пробел в понимании эволюции конечностей позвоночных. В плавниках элпистостеги сохранились кости, сравнимые с костями, образующими пальцы человеческой руки, а это значит, что пальцы появились у позвоночных до того, как они выбрались из воды и стали жить на суше. Таким образом, это открытие опровергло традиционные представления о возникновении кисти и пролило новый свет на эволюционный взлет четвероногих позвоночных, ставший одним из важнейших событий в истории жизни на Земле.



Полный скелет ископаемой рыбы эллистостеги Уотсона, жившей на Земле около 375 млн лет назад (1), найден в Национальном парке Мигуаша (провинция Квебек, Канада) и отличается отличной сохранностью грудных плавников (2). В этих плавниках обнаружены кости, эквивалентные пальцевым костям (фалангам) человеческой руки.



Туманные гипотезы

До недавних пор представления биологов об эволюционной трансформации рыб в ранних четвероногих позвоночных базировались в основном на нескольких окаменелостях, рассматривавшихся как своего рода связующее звено между обеими группами животных. Одна из этих окаменелостей — найденный в Прибалтике скелет древней кистеперой рыбы пандерихта (*Panderichthys rhombolepis*), жившей на планете в средний и поздний девонский период (примерно 384–379 млн лет назад). Пандерихт обладал сильно удлинненными плечевыми костями и массивными лучевыми и локтевыми костями, а его череп очень напоминал строением череп четвероногих позвоночных. Благодаря этим признакам ученые относят пандерихта к отряду эллистостегалий — группе рыб, наиболее близкой к тетраподам.

В 2006 г. Нил Шубин (Neil Shubin) и его сотрудники из Чикагского университета сообщили о находке в Канадской Арктике еще одной ископаемой рыбы из группы эллистостегалий — тиктаалика (*Tiktaalik roseae*), обитавшего на Земле около

380 млн лет назад. Это существо напоминало тетраподов еще сильнее. Особенно продвинутым строением отличались грудные плавники, которые, по-видимому, служили рыбе опорой и могли сгибаться наподобие кисти. Тиктаалика сближало с тетраподами и строение черепа — сильно уплощенная мозговая коробка и удлинненная морда.

Эти и другие известные ископаемые останки рыб из отряда эллистостегалий заставляют предполагать, что целый ряд признаков, характерных для четвероногих позвоночных (включая пригодные для ползания по суше кости и суставы передних конечностей), на самом деле присутствовали еще у их рыбьих предков. Но пальцев у этих рыб, похоже, не было. Первоначальное предположение о том, что обнаруженные в плавниках пандерихта костные элементы представляют собой рудиментарные кости пальцев, впоследствии было опровергнуто. А в окаменелых грудных плавниках тиктаалика плохо сохранились концевые части, где, скорее всего, и можно было бы обнаружить кости пальцев, если они и в самом деле имелись у этого существа. Таким образом, ископаемые свидетельства,



имевшиеся вначале в распоряжении ученых, наводили на мысль, что процесс первоначальной трансформации плавников в передние конечности происходил в отсутствие пальцев и что, по-видимому, эти структуры появились гораздо позднее — уже после того, как тетраподы ступили на земную твердь.

Но научные истины не вырезаны из камня: по мере накопления знаний они меняются. Новые открытия порой заставляют ученых заново переписывать учебники. Одна из таких находок — недавно описанные нами окаменелости элпистостеги, обнаруженные в 2010 г. в Национальном парке Мигуаша (провинция Квебек, Канада), входящем в список природных объектов всемирного наследия ЮНЕСКО. Владелец этих ископаемых останков — не новый вид рыбы, а хорошо известный всем представитель группы элпистостегалий. Но на этот раз мы добыли великолепно, почти полностью сохранившийся скелет этого существа. И он заставил нас выдвинуть новую теорию происхождения пальцев и эволюции кисти — анатомической конструкции, которой обладают более 33,8 тыс. ныне обитающих на планете видов четвероногих позвоночных, включая человека.

Чтобы оценить роль элпистостеги в изменении наших представлений об эволюции кисти, полезно вспомнить некоторые факты из истории открытия этой рыбы. Летом 1937 г. два молодых британских палеонтолога исследовали скалы у залива Шалер на южном побережье полуострова Гаспе в Восточной Канаде. Томас Стэнли Уэстолл (Thomas Stanley Westoll) и Уильям Грэм-Смит (William Graham-Smith) вели поиск девонских окаменелостей, изобилием которых славилась эта местность. Большую помощь в этой работе ученым оказывали местные коллекционеры, иногда даже продававшие им ископаемые кости. Одна из окаменелостей, приобретенных у этих людей Уэстоллом, представляла собой маленькую фрагментарную черепную коробку некоего существа, которой суждено было

перевернуть все научные представления об эволюционном переходе между рыбами и тетраподами.

Как раз во времена Уэстолла и Грэма-Смита биологи заподозрили, что тетраподы произошли от так называемых лопастеперых (кистеперых) рыб — водных существ с сильными мясистыми плавниками (сегодня эта группа рыб представлена латимерией и двоякодышащими рыбами). Но в распоряжении ученых не было окаменелостей с промежуточными анатомическими признаками, подтверждающими эту связь. Похоже, черепная коробка, приобретенная Уэстоллом, вполне могла бы заполнить этот пробел. Учитывая строение этой костной структуры, ученый предположил, что она, вероятно, представляет собой череп некой девонской амфибии, которую так долго жаждали найти палеонтологи. Уэстолл назвал это ископаемое существо элпистостегой Уотсона (*Elpistostege watsoni*) и впервые описал его в 1938 г. в небольшом сообщении в журнале *Nature*, предположив, что оно представляет собой «идеальную переходную форму» между лопастеперыми рыбами и ранними тетраподами.

Заявление Уэстолла, основанное лишь на фрагменте черепа, было встречено другими палеонтологами скептически. Требовалось гораздо больше окаменелостей. И хотя с тех пор в скалы у залива Шалер — область, называемую сегодня Национальным парком Мигуаша, — хлынул для сбора ископаемых костей настоящий поток ученых со всей Европы и Америки, ни одного нового образца элпистостеги так и не было найдено.

Однако примерно через 30 лет после публикации Уэстолла в дело вмешался счастливый случай. Канадский охотник за окаменелостями Аллан Пэрент (Allan Parent) нашел в скалах Мигуаша лицевую часть черепа некоего существа. Пэрент добавил найденный образец к своей коллекции окаменелостей, где он незаметно и пролежал вплоть до ранней трагической смерти ее владельца. Но в 1983 г. брат Пэрента показал необычный фрагмент черепа директору парка Мигуаша Мариусу Арсену (Marius Arsenault), который в свою очередь привлек для его идентификации Ханса-Петера Шульце (Hans-Peter Schultze), выдающегося специалиста по ископаемым рыбам из Канзасского университета. Шульце сразу же понял огромную важность окаменелости: по характеру расположения и форме костей этот фрагмент черепа полностью соответствовал черепной коробке, найденной Уэстоллом, что указывало на принадлежность обеих окаменелостей одному и тому же виду животных.

Получив более подробную информацию об анатомии загадочного существа, ученые начали менять свои представления и о его идентичности. Особенности строения его морды наводили на мысль, что элпистостега была не амфибией, а сильно продвинутой в эволюционном плане лопастеперой рыбой. В своей статье,

опубликованной в 1985 г. и описывающей морду этого животного, Шульце и Арсено выдвинули предположение, что оно состояло в близком родстве с балтийской ископаемой рыбой пандерихтом. Кроме того, в этой статье ученые обсуждают и другую таинственную окаменелость — ископаемый образец с пятном из чешуй на коже и несколькими позвонками, который за несколько лет до того был обнаружен в скалах парка Мигуаша его главным биологом Марком Брассаром (Marc Brassard) и одним из авторов настоящей статьи (Ришаром Клутье). Учитывая особенности текстуры чешуи этого ископаемого существа, Шульце и Арсено также признали в нем эллипстостегу.

Идентификация окаменелости, обладающей чешуей и позвонками, в качестве эллипстостеги, имела важное научное значение: если на основании исследования двух других имевшихся в распоряжении ученых окаменелостей этой рыбы невозможно было сделать четкие выводы, то теперь палеонтологи получили ясное представление о ее происхождении. Ранее найденные черепная коробка и лицевая часть черепа рыбы были обнаружены в скалах, но ученые и понятия не имели, в каких слоях горной породы они залегали. Брассар и Клутье, напротив, зарегистрировали точное стратиграфическое местоположение добытого ими образца: он залегал на 90 м выше самых нижних слоев геологической формации Эскуминак.

В последующие годы Клутье и его сотрудники не раз наведывались в эту часть формации Эскуминак в поисках останков эллипстостеги, но все их усилия результатов не приносили. Тем не менее полученный ими геологический и ископаемый материал позволил начать работу по реконструкции места обитания животного — широкого протока в устье древней реки. Мало-помалу начал вырисовываться также общий облик и образ жизни эллипстостеги. Судя по всему, эта очень крупная рыба была суперхищником (то есть хищником высшего трофического уровня) и плавала в водах, где обитали еще примерно 20 других видов рыб.

Со временем эти палеонтологические данные приобретут новый смысл. Ранним вечером 4 августа 2010 г. во время патрулирования парка Мигуаша один из его смотрителей и натуралист Бенуа Кантен (Benoit Cantin) наткнулись на необычный фрагмент хвоста окаменевшей рыбы, покоившийся в нижних слоях формации Эскуминак у подножия прибрежных скал на расстоянии менее 250 м от музея парка. На следующее утро Кантен в компании еще двух натуралистов извлек из породы остальную часть животного. Эта ископаемая находка оказалась самой крупной окаменелостью, когда-либо обнаруженной в формации Эскуминак, и, похоже, самым ценным из всех найденных здесь ископаемых образцов — полностью сохранившемся скелетом эллипстостеги длиной 1,57 м.

Взгляд сквозь камень

Через несколько дней после этой находки рыбы натуралисты пригласили для ее исследования Клутье. Поскольку большая часть скелета по-прежнему находилась в горной породе, исследователи решили первым делом более подробно изучить ее с помощью компьютерной томографии (КТ). Эту работу Клутье поручил выполнить одной из своих бывших аспиранток, Изабель Бешар (Isabelle Béchar), которая воспользовалась для этой цели томографом, принадлежавшим Национальному институту научных исследований в Квебеке. Сканирование показало абсолютно полную сохранность образца: в нем присутствовали все скелетные кости. Но поскольку аппарат отличался не очень высоким разрешением, изучить внутреннюю структуру костей ученым не удалось. Для этого нужно было найти другой томограф с более высокой разрешающей способностью. А потому ученые решили отправить эллипстостегу в далекое путешествие за 3,9 тыс. км в Техасский университет в Остине, где с помощью рентгеновского компьютерного томографа высокого разрешения каждый кусочек ее окаменевшего тела мог быть просканирован с самой большой доступной в то время точностью.

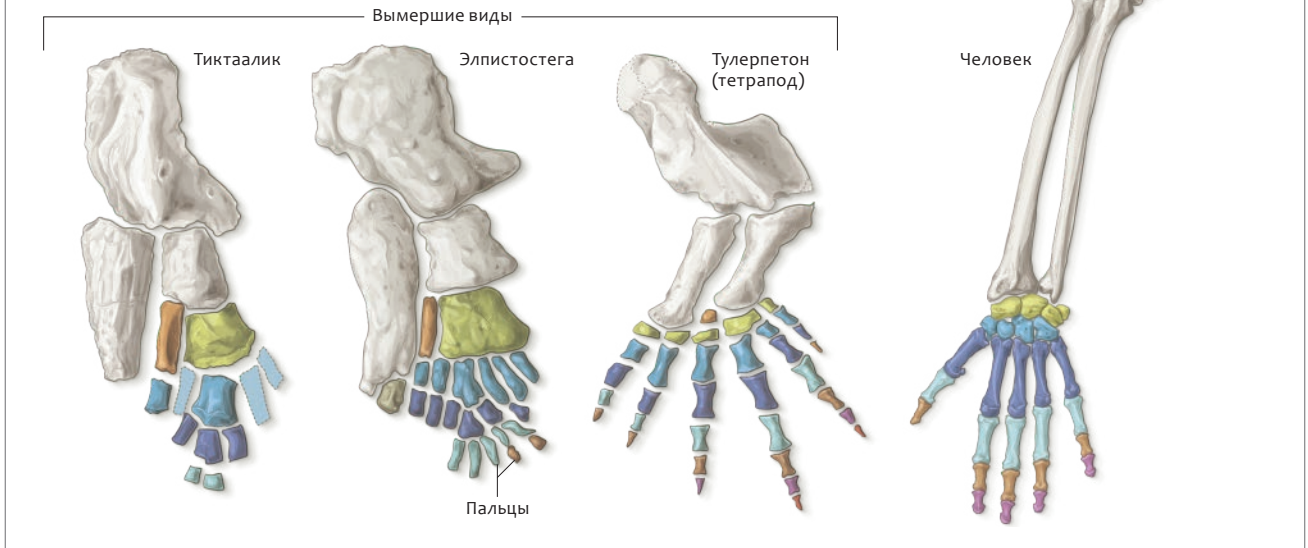
По завершении сканирования Клутье и его коллеги приступили к кропотливой работе по окончательному извлечению окаменелости из горной породы, тщательно отделяя ее кусочки от костей. Наконец через несколько месяцев из каменного плена во всей красе появились туловище и череп таинственной древней рыбы. Ископаемый образец выглядел поистине фантастически! Но особое волнение ученых вызывали грудные плавники — ведь до сих пор полностью сохранившегося грудного плавника эллипстостеги не видел ни один человек. В плавниках были хорошо различимы многочисленные скелетные элементы, окруженные чешуями. На первый взгляд, плавники эллипстостеги почти ничем не отличались от плавников тиктаалика, но в них имелось несколько дополнительных костей. Что они собой представляли?

В последующие годы Клутье и Бешар неоднократно знакомили других палеонтологов с предварительными результатами своего анализа скелета эллипстостеги на конференциях и симпозиумах. В 2014 г., после одной из таких презентаций, состоявшейся в Берлине в Обществе палеонтологии позвоночных, авторы настоящей статьи — Ришар Клутье и Джон Лонг — за кружкой пива решили изучать это необычное ископаемое существо совместными усилиями.

Лонг долгие годы посвятил исследованию девонских окаменелостей ископаемых рыб из геологической формации Гоугоу в Западной Австралии. Скелеты этих древних существ прекрасно сохранились до наших дней, а в некоторых образцах,

От плавника до руки

В течение долгих десятилетий ученые считали, что кисть (дистальный отдел верхней конечности) возникла у тетраподов как адаптация к наземному образу жизни: древнейшие из найденных палеонтологами костей кисти принадлежали ранним тетраподам (например, тулерпетону), а не близким к тетраподам рыбам (таким, например, как тиктаалик). В грудном плавнике эллипстостеги обнаружены кости, представляющие собой структурные элементы по меньшей мере двух (а, возможно, и всех пяти) пальцев кисти. Эти пальцевые кости гомологичны пальцевым костям (фалангам) кисти современных тетраподов (включая человека). Таким образом, можно полагать, что пальцы начали возникать у рыб еще в воде — до того как они выбрались на сушу и превратились здесь в четвероногих животных.



кроме того, окаменению подверглись даже мягкие ткани. Перед изучением этих окаменелостей Лонг и его коллеги первым делом традиционно помещали их в кислотные ванны для растворения известняковых пород. Сравнительно недавно ученые начали изучать анатомическую структуру окаменелостей с помощью томографов, синхротронных сканеров и прочих хитроумных аппаратов и только затем помещали их в кислотные ванны; это позволяет палеонтологам получать изображения мягких тканей образцов до разрушения их кислотой. Такой подход Лонг и его сотрудники применили и при изучении нового скелета эллипстостеги.

В 2014 г. Лонг приехал в лабораторию Клутье в Квебеке и начал обучать его сотрудников различным методам обработки цифровых данных, полученных при исследовании ископаемых рыб. Не все получалось у нас с первого раза, но в конечном итоге нам удалось добиться эффективного сочетания различных подходов, позволившего в «цифровом виде» вычленивать из скелета и детально анализировать каждую его косточку. Впоследствии эту работу продолжила Элис Клемент (Alice Clement) из Университета Флиндерса в Аделаиде и работавшие в нашей лаборатории студентки Роксани Ноэль (Roxanne Noël) и Венсан Руа (Vincent Roy).

Когда Клемент наконец приступила к сегментированию грудного плавника рыбы, мы едва могли сдерживать нетерпение. Ведь этот первый

полностью сохранившийся до наших дней грудной плавник рыбы из группы эллипстостегалий наверняка таил в себе важнейшую информацию об эволюционном превращении грудных плавников в передние конечности наземных животных. Предварительные результаты исследования нас не разочаровали. Они не только подтвердили первоначальные результаты, полученные Бешар при изучении окаменелости с помощью КТ и свидетельствовавшие о присутствии в плавнике эллипстостеги неких добавочных костей, но и показали их детальное строение. Теперь мы хорошо разглядели, что плавник ископаемой рыбы содержал необычную серию из многочисленных мелких, но плотно упакованных косточек. Обычно концевой отдел скелета грудного плавника содержит мелкие кости (радиалии), поддерживающие стержневидные кожные лучи. Кости, находившиеся в этой части плавника эллипстостеги, соответствовали по своему расположению радиалиям, но их многочисленность, а также расположение некоторых из них четко различимыми рядами наводило на мысль, что они представляют собой нечто иное. Мы заподозрили, что эти никогда прежде не виданные костные структуры, скрытые в грудных плавниках древней рыбы, на самом деле представляют собой пальцевые кости, напоминающие фаланги наземных четвероногих. Мы идентифицировали два пальца, каждый

из которых состоял из нескольких сочлененных друг с другом костей, а также три пальца, каждый образованный только одной костью.

Почему пальцевые кости грудных плавников эллипстостеги оказались нам более похожими на фаланги, чем кости, найденные ранее в грудных плавниках пандерихта? Предполагаемые пальцевые кости у пандерихта имеют неправильную форму, а кроме того, ни одна из них не образует суставов с другими костями пальцев (фалангами), что наблюдается, например, в человеческой кисти. Сравнивая загадочные кости грудных плавников пандерихта с пальцевыми костями эллипстостеги, мы склоняемся к мысли, что, скорее всего, они эквивалентны некоторым запястным костям тетраподов.

В воде и на суше

Изолировав грудные плавники и остальные кости грудного (плечевого) пояса, мы приступили к изучению внутренних структур черепа и черепной (мозговой) коробки. Эта работа позволила бы нам лучше понять не только анатомию эллипстостеги, но и ее родственные связи с другими ранними рыбами и тетраподами.

Чтобы определить место, занимаемое эллипстостегой на генеалогическом древе, нам нужно было сравнить эту рыбу с другими видами, обращая особое внимание на их общие отличительные признаки. Работая совместно с Майком Ли (Mike Lee), ведущим специалистом Университета Флиндерса по определению родственных связей между различными видами животных, мы провели филогенетический анализ 202 характерных признаков в общей сложности 43 видов позвоночных. Вообразите наше удивление, когда выяснилось, что эллипстостега, по-видимому, была связана более тесными родственными узлами с так называемыми кроновыми тетраподами — группой животных, включающей всех ныне живущих четвероногих позвоночных и их последнего общего предка, то есть знаменитого тиктаалика. Мы предположили, что эллипстостега поднялась на эволюционной лестнице на одну ступеньку выше тиктаалика благодаря уникальному строению грудных плавников и некоторым необычным чертам строения плечевого пояса (костей, связанных с этими плавниками).

Учитывая особенности скелета эллипстостеги и данные филогенетического анализа ее положения на эволюционном древе, можно реконструировать общий ход возникновения кисти четвероногих (включая человека). Наличие в грудных плавниках этой рыбы небольших рядов костей, идентифицированных нами в качестве пальцев, показывает, что они впервые появились в плавниках эволюционно продвинутых лопастеперых рыб еще в начале позднего девонского периода, более 380 млн лет назад. Не исключено, что эти структуры служили для поддержания веса тела рыб:

наличие многочисленных, расположенных в определенном порядке костей могло придавать гибкость наружной части плавника, необходимую для подталкивания рыбы вверх.

Но какую пользу могли извлекать рыбы из таких телодвижений? Ответ на этот вопрос дает череп эллипстостеги: в задней части ее головы имеется пара широких отверстий (дыхалец). Похожие крупные дыхальца имеются на голове и некоторых современных рыб. Долгое время функции этих отверстий оставались для ученых загадкой. Похоже, ее разгадал Джон Лонг, который в 2014 г. совместно с группой ихтиологов из Института океанографии Скриппса в Ла-Хойе, штат Калифорния, провел специальное исследование этого вопроса. Изучая функции дыхалец у ныне живущих нильских многоперов (*Polypterus bichir*), ученые показали, что эти структуры участвуют в дыхании рыб атмосферным воздухом. Если такой же цели служили и дыхальца эллипстостег, можно предположить, что грудные плавники помогали этим рыбам отталкиваться от дна, «подпрыгивать» на мелководьях рек и эстуариев, где они обитали, и на короткое время высовывать голову из воды, чтобы набрать в дыхальца немного атмосферного воздуха.

Среда обитания эллипстостег, однако, не ограничивалась водной стихией. Современные двоякодышащие рыбы и некоторые сомы способны в течение недолгого времени ползать по суше с помощью плавников. Не исключено, что на берег отваживались выползать и эллипстостеги, вооруженные подвижными и гораздо более мощными плавниками.

Картина проясняется...

Наша находка пальцевых костей у эллипстостеги не только изменила традиционные представления о том, когда плавники превратились в конечности четвероногих животных, но и способствовала лучшему пониманию генетических и онтогенетических изменений, обеспечивших эту трансформацию. Каких-нибудь несколько десятилетий назад ученым, интересовавшимся эволюцией плавников, сказать по этому поводу было почти нечего. В то время в их распоряжении было всего несколько образцов ископаемых рыб, плечевой пояс которых обнаруживал переходные признаки между плавниками и передними конечностями тетраподов, а все гипотезы об этой трансформации сводились к предположению о медленном и постепенном характере эволюционного развития кисти, предплечья и плеча. На самом же деле создается впечатление, что эволюционное превращение грудных плавников предковых рыб в кисти и запястья, напротив, произошло едва ли не в мгновение ока. Но возможно ли такое? Или же кажущаяся «внезапность» возникновения кисти и запястья — просто-напросто артефакт, связанный с неполной сохранностью ископаемых окаменелостей?

В знаковой статье, опубликованной в 1991 г., покойный биолог Питер Торогуд (Peter Thorogood) предположил, что кисть и запястье вполне могли возникнуть у позвоночных более-менее внезапно. Это предположение ученый основал на результатах сравнения эмбриологического развития рыб и тетраподов. У эмбрионов обеих этих групп животных, находящихся на ранних стадиях развития, формирование плавников или лап направляет структура, называемая апикальным эктодермальным гребнем (АЭГ). Расположенный на самом кончике зачатка плавника или лапы, АЭГ секретирует химические вещества, стимулирующие рост расположенной под ним ткани. У рыб АЭГ сохраняет активность лишь очень короткое время, а затем превращается в иной сигнальный центр — апикальную эктодермальную складку (АЭС), направляющую формирование плавниковых лучей. У четвероногих же АЭГ сохраняется у эмбриона гораздо дольше и гораздо дольше контролирует его развитие — по сути дела, он вообще не превращается в АЭС, а значит, плавниковые лучи у тетраподов не образуются вовсе. Зато у тетраподов имеется гораздо больше времени для развития зачатков костей, составляющих основу кисти. Таким образом, Торогуд предположил, что потеря эмбрионами четвероногих способности к формированию АЭС лишила их возможности образовывать лучи и другие структуры грудных плавников, но зато позволила обзавестись костями, необходимыми для развития пальцев и запястья.

Открытие тиктаалика — первой ископаемой рыбы, имевшей не только рыбы эквиваленты наших костей передних конечностей и некоторых проксимальных запястных костей, но и кости дистальной части плавников, соответствующие нашим дистальным запястным костям, — дало новый толчок исследованиям генетических и онтогенетических механизмов трансформации плавников в конечности. Ученым хотелось выяснить, какие кости плавников предковых рыб эволюционировали в запястье и пястные кости и какие гены были ответственны за формирование этой новой морфологии. По-видимому, в этом процессе принимали участие гены семейства *Hox*, которые, как хорошо известно, заставляют различные области эмбриона превращаться в голову, хвост и другие отделы тела.

В 2007 г. Зерина Йохансон (Zerina Johanson) и ее коллеги из лондонского Музея естественной истории изучали активность одного из этих генов, *HoxD13*, у австралийского рогозуба — современной двоякодышащей рыбы, приходящейся одной из наиболее близких родственниц тетраподам из ныне живущих. Как показали предыдущие исследования, *HoxD13* активен у тетраподов в период формирования конечностей, когда образуются пальцы и запястье. Сотрудники Йохансон

обнаружили, что у рогозуба этот ген активен во время развития радиальных костей в плавниках. Но если при развитии конечности четвероного животного *HoxD13* обнаруживает две фазы активности — раннюю, связанную с развитием плеча и предплечья, и позднюю, связанную с развитием пальцев и запястья, то, похоже, при развитии рогозуба этот ген имеет лишь один интервал активности, соответствующий второй (поздней) фазе его активности в формирующейся конечности четвероного животного. Это исследование наводит на мысль, что пальцевые кости тетрапод эволюционировали из радиальных костей рыбьего плавника. Но запястье и кисть не могли возникнуть параллельно — ведь, как предположил Торогуд, двоякодышащие и прочие ныне живущие и ископаемые лопастеперые рыбы обладают радиалиями (запястными костями), но лишены пальцев. По всей видимости, в далеком прошлом должны были произойти два важных эволюционных события — одно из них породило пальцы, а другое — запястья.

Эллипстостега запутывает эту историю еще сильнее. Ее строение заставляет предполагать, что, вопреки утверждению Йохансон, не все радиалии двоякодышащих и других лопастеперых рыб — это эквиваленты пальцев. На самом деле пальцевым костям гомологичны лишь самые дистальные радиалии, а проксимальные радиалии гомологичны костям запястья и длинным костям пясти (ладони). Кроме того, анатомия этой рыбы заставляет предполагать, что в процессе трансформации плавника в кисть произошло еще одно событие. Поскольку у нее имеются как кости пальцев и запястья, так и плавниковые лучи, можно думать, что утрата плавниковых лучей должна была составлять особый этап в эволюции кисти.

Анатомическое состояние грудных плавников и пальцев, описанное нами у эллипстостеги, указывает на то, что мы еще очень далеки от полного понимания генетических и онтогенетических механизмов, управлявших этой эволюцией. Тем не менее наличие прекрасно сохранившегося скелета этой рыбы и проводимые сегодня его многочисленные исследования вселяют надежду на то, что тайна превращения рыбьих плавников в «настоящие» пятипалые конечности, с помощью которых тетраподы покорили сушу планеты, будет окончательно раскрыта в самом скором времени. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Клэк Д. Трудный путь на сушу // ВМН, № 3, 2006.
- Fish Fingers: Digit Homologues in Sarcopterygian Fish Fins. Zerina Johanson et al. in JEZ-B Molecular and Developmental Evolution, Vol. 308B, No. 6, pages 757–768; December 15, 2007.



АРХЕОЛОГИЯ

Как земледельцы завоевали Европу

Когда земледельцы встретились
с охотниками-собираателями,
вероятно, сформировалась
нарушившая равновесие
иерархия

Лаура Спинни



В европейских захоронениях доисторического периода иногда находят останки бережно уложенного на бок «господина» с одним или несколькими «рабами», вероятно, принесенными в жертву и брошенными в могилу

ОБ АВТОРЕ

Лаура Спинни (Laura Spinney) — писатель, научный журналист. Живет в Париже. Ее последняя книга — «Бледный всадник: испанский грипп 1918 г. и как он изменил мир» (*Pale Rider: The Spanish Flu of 1918 and How It Changed the World*, 2017).



Небольшие полукочевые племена охотников-собирателей были единственными людьми, странствовавшими в пышных зеленых лесах Европы 8 тыс. лет назад. В ходе археологических раскопок в пещерах и не только находят свидетельства их мезолитической технологии: орудия с кремневыми наконечниками, с помощью которых они ловили рыбу, охотились на оленей и туров (ныне вымерший вид быков) и собирали дикие растения. Недавно проведенные генетические исследования свидетельствуют о том, что у многих охотников-собирателей были темные волосы и голубые глаза, а несколько обнаруженных до настоящего времени скелетов указывают, что это были довольно высокие и мускулистые люди. Языки, на которых они говорили, пока остаются загадкой.

Три тысячелетия спустя леса, в которых жили охотники-собиратели, уступили место полям пшеницы и чечевицы. Континентом стали править земледельцы. Такой переход был очевиден даже для археологов XIX в., которые во время раскопок находили кости одомашненных животных, керамические сосуды с остатками зерна и, что наиболее интересно, могильники, загадки которых все еще разгадывают. Земледелие не только знаменовало переход к новой экономической модели, но также привело к появлению металлических орудий, нового рациона, новых форм использования земли и новых взаимоотношений людей с природой и друг с другом.

150 лет ученые спорили о том, принесли ли земледельцы с собой свою неолитическую культуру с Ближнего Востока в Европу или распространялись только их идеи. В начале 2000-х гг. генетики,

такие как Мартин Ричардс (Martin Richards), работавший тогда в Оксфордском университете, и другие, изучая закономерности изменчивости современных генов, представили неопровержимые доказательства того, что земледельцы действительно пришли в Европу: переправились через Эгейское море и Босфор и достигли Греции и Балканского полуострова соответственно. Оттуда они расселились на север и на запад. В начале 2000-х гг. Сванте Паабо (Svante Pääbo) из Института эволюционной антропологии Общества Макса Планка в Лейпциге и другие ученые научились извлекать и «читать» ДНК из древних человеческих останков. Эта технологическая революция дала возможность для беспрецедентного сотрудничества археологов и генетиков, которые спешно взялись за исследование ДНК индивидов, обнаруженных в доисторических поселениях охотников-собирателей и земледельцев.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Примерно 9 тыс. лет назад земледельцы с Ближнего Востока отправились в Европу в поисках новых земель для возделывания.
- Земледельцы перемещались вдоль побережья Средиземного моря и Дуная, встречаясь с охотниками-собирателями, жившими в густых лесах.
- Сначала земледельцы и охотники-собиратели занимались обменом или вступали в брачные отношения. Однако к 3000 г. до н.э. земледелие стало доминировать на континенте и в сообществах сформировалась иерархия.
- Данные генетического анализа говорят о том, что людей, в чьей родословной было больше охотников-собирателей, возможно, считали занимающими более низкое положение в обществе.

С 2014 г., когда археолог Кристина Гамба (Christina Gamba), работавшая на тот момент в дублинском Тринити-колледже, вместе с коллегами обнаружили кость охотника-собирателя в раннеземледельческой общине в Венгрии, начала проявляться изумительно сложная и многогранная картина взаимосвязей между коренными жителями Европы и переселенцами. В одних местах две группы смешивались после встречи, в других — веками, если не тысячелетиями, сохраняли дистанцию. Иногда земледельцы почитали своих предшественников, а в другие времена подчиняли и обращались с ними бесчеловечно. Тем не менее тенденция очевидна. Проходили десятилетия, численность земледельцев росла и они ассимилировали и замещали охотников-собирателей, оттесняя оставшихся на периферию как географически, так и социально. Более того, достигло кульминации движение к большому неравенству, по крайней мере в некоторых областях: тех людей, в чьей родословной было больше охотников-собирателей, в некоторых общинах, возможно, обращали в рабов и даже приносили в жертву, чтобы они сопровождали своего господина в загробной жизни.

Исход

Примерно 11,5 тыс. лет назад Европа и Ближний Восток освободились от покровов ледников. Климат постепенно становился более теплым, земля — более щедрой, и охотники-собиратели на территории так называемого Плодородного полумесяца (региона, включающего земли вокруг Евфрата, Тигра и Нила и восточное побережье Средиземного моря) постепенно переходили к оседлому образу жизни. Меньшую часть времени они посвящали охоте на диких козлов и кабанов и сбору диких злаков, а большую — уходу за одомашненными животными (овцами, козами) и растениями (пшеницей, горохом и чечевицей). О таком переходе стало известно благодаря археоботанике, в частности исследованиям древней пыльцы, и археозоологии, изучающей кости древних животных. Это были первые земледельцы, люди, говорившие на неизвестных языках (реликтом которых может быть баскский язык), пользовавшиеся каменными орудиями и около 9 тыс. лет назад отправившиеся в Европу в поисках новых земель для возделывания.

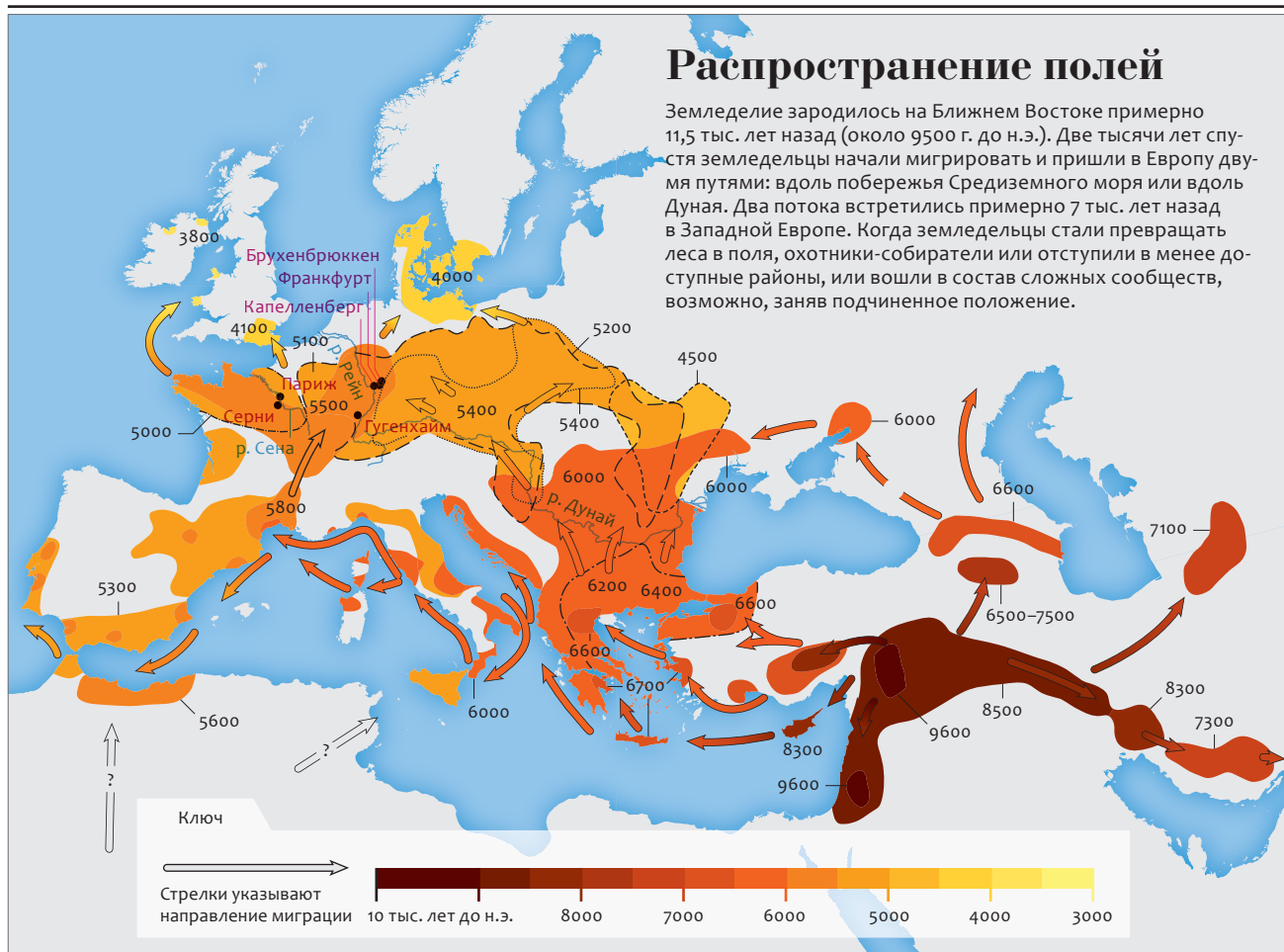
Земледельцы достигали нового континента двумя путями: переправлялись на лодках через Средиземное море или двигались пешком по берегам Дуная с Балкан в Центральную Европу. Радиоуглеродное датирование археологических памятников показало, что примерно 7,5 тыс. лет назад



Генетический анализ останков из захоронений в Гугенхайме, Франция, показывает, что у людей, просто сброшенных в могилу (1), в родословной, по всей вероятности, были охотники-собиратели — в отличие от тех, чьи тела аккуратно уложены (2)

дунайские земледельцы возводили поселения на Среднедунайской низменности (территория современной Венгрии, Словакии и Румынии). Там начала формироваться культура, которую археологи называют культурой линейно-ленточной керамики (LBK, акроним от немецкого *Linearbandkeramik*) из-за характерных спиральных орнаментов, которыми украшали керамические сосуды.

Быстро расселяясь на запад по плодородным равнинам на территории современной Германии, земледельцы — носители культуры LBK всего за несколько столетий, то есть около 7,3 тыс. лет назад, достигли Рейна. Детальный анализ эволюции стилей керамики наряду с радиоуглеродным датированием показывает, что колонизация проходила скачкообразно. «Земледельцы перемещались поэтапно, иногда уходя за сотни километров,



а затем заселяли земли между прежним местом обитания и новым», — говорит археолог Детлеф Гроненборн (Detlef Gronenborn) из Римско-германского центрального музея в Майнце. На определенном этапе расселявшиеся земледельцы научились выплавлять медь, и между земледельческими общинами возникла торговля ценными медными изделиями.

Земледельцы, перемещавшиеся по южному пути, поэтапно расселялись вдоль побережья Средиземного моря, от Италии до Франции, и далее, на Пиренейском полуострове. Достигнув побережья Франции примерно 7,8 тыс. лет назад, они мигрировали на север по направлению к Парижскому бассейну, равнине между Рейном и Атлантическим океаном, которая формирует своего рода замкнутое пространство на континенте. Именно там примерно 7 тыс. лет назад встретились два больших потока земледельцев. К тому времени их культуры до некоторой степени различались — они были разделены более 500 лет, — но они по-прежнему узнавали «своих». Произошло смешение, как биологическое, так и культурное.

Могильник возрастом около 7 тыс. лет рядом с Гюрги в южной части Парижского бассейна

предоставляет свидетельства такого смешения. Митохондриальная ДНК (мтДНК) наследуется по материнской линии, и в мтДНК около 50 человек, захороненных в этом могильнике, содержится примерно поровну генов земледельцев с юга и носителей культуры LBK. С территории Парижского бассейна эта смешанная популяция снова стала расселяться, распространяя культуру земледелия в каждом уголке континента.

Поля вытесняют леса

Первые земледельцы, вероятно, отправились в Европу вместе со своими семьями, как показывает исследование, проведенное в 2017 г. специалистом по эволюционной антропологии Эми Голдберг (Amy Goldberg), работавшей в то время в Стэнфордском университете, и ее коллегами. Ученые провели анализ X-хромосом 20 европейцев эпохи неолита. В отличие от Y-хромосомы, наследуемой только от отцов, X-хромосома может быть унаследована от каждого из родителей. Группа Голдберг сообщила, что 20 людей неолита унаследовали X-хромосомы от мужчин и женщин — представителей земледельцев примерно в равных долях. Другие исследователи пришли к выводу, что такие сообщества

SOURCES: RÖMISCH-GERMANISCHES ZENTRALMUSEUM AND INSTITUTE FOR ORIENTAL AND EUROPEAN ARCHAEOLOGY (migration); Map by Mapping Specialists, after Gronenborn/Forejörner/Over 2019 (ACZIMOREA)

были патрилокальными, то есть имущество передавалось по мужской линии, а женщины вступали в брак с мужчинами за пределами своей общины и жили с семьей мужа. Доказательствами мобильности женщин служат уровень изотопов стронция в их зубах, который отражает историю изменений рациона, а также керамические изделия земледельческих сообществ, в которых постоянно появляются новые, привнесенные извне, художественные элементы. Считается, что декорированием керамики занимались женщины, как в общинах земледельцев более поздних периодов.

В Европе в то время был чуть более влажный и теплый климат, чем в наши дни, и территория была покрыта густыми лесами. Как и всем иммигрантам, земледельцам, возможно, потребовалось какое-то время, чтобы адаптироваться к новой среде обитания, но постепенно они научились определять, какие растения и животные процветают в умеренном европейском климате. Земледельцы стали расчищать лес участок за участком и придавать ему структуру, используя древние техники лесоводства, такие как порослевое возобновление и обрезка. (При порослевом возобновлении дерево срубают до основания и затем позволяют расти множественным молодым побегам; при обрезке удаляют только верхние ветви.) Численность земледельцев начала расти. Когда на земельном участке уже больше не оставалось места, молодое поколение уходило и селилось, как им, наверное, казалось, в девственном лесу. «Возможно, переселенцы и понятия не имели о том, что посягают на чью-то территорию», — говорит Селин Бон (Céline Bon), палеонтолог из парижского Музея человека. Но именно так и было.

Рано или поздно земледельцы-иммигранты должны были встретиться с местными охотниками-собирателями, и это, наверное, было потрясением. Прошло примерно 40 тыс. лет с тех пор, как пути их общих предков, вышедших когда-то из Африки, разошлись, — достаточно много, чтобы появились физические, культурные и языковые различия. Сравнение генов древних земледельцев с генами современных европейцев показывает, что земледельцы были ниже западных охотников-собирателей, населявших большую часть континента. У них были темные волосы, карие глаза и, вероятно, более светлая кожа. Нет свидетельств того, что при первых встречах между двумя группами происходили столкновения с применением насилия, хотя археологическая летопись недостаточно полна, чтобы исключить такую возможность. И тем не менее в значительной части Европы охотники-собиратели вместе со своей мезолитической культурой просто исчезли из генетической и археологической летописей с момента появления земледельцев. Куда же они делись?

Десятилетиями археологи размышляли над вопросом: возможно ли, что из-за такого мощного притока чужаков охотники-собиратели ушли? Может быть, в холмистую местность, где почва менее плодородна и плохо подходит для земледелия, или вглубь лесов, где земледельцы вряд ли могли им помешать? «Вероятно, там существовали крупные зоны, где охотники-собиратели выжили, и не одно поколение, а в течение тысячи или двух тысяч лет после прихода земледельцев», — предполагает Рон Пинхази (Ron Pinhasi), археолог и антрополог из Венского университета.

Земледельцы ценили способы изготовления орудий, использовавшиеся охотниками-собирателями, особенно тонко обработанные наконечники стрел

Где-то охотники-собиратели должны были остаться, поскольку в геноме современных европейцев присутствуют их гены, а крупномасштабные европейские исследования древней ДНК выявили так называемое возрождение мезолита, которое началось 6,5 тыс. лет назад. Шло время, и в геноме земледельцев появлялось все больше и больше генов охотников-собирателей, но возрождение было не только генетическим. «Приблизительно в то же время мы вновь наблюдаем в археологической летописи появление мезолитических техник изготовления изделий», — говорит археолог Тома Перрен (Thomas Perrin) из Тулузского университета им. Жана Жореса. Самих охотников-собирателей уже не существовало, возможно, за исключением групп, скрывавшихся глубоко в лесах, но остались их гены и их технология.

К тому моменту, когда земледельцы вновь начали расселяться из центра в Парижском бассейне, это были не те же самые люди, что пришли из Венгрии или селились по берегам доисторической европейской Ривьеры, — в них уже было немного от древней Европы. И отсюда возникает вопрос: как происходили контакты между настолько несхожими людьми?

Калейдоскоп

Ответ таков: возможен целый калейдоскоп различных вариантов. Не существует явных генетических доказательств скрещивания между земледельцами и охотниками-собирателями во время продвижения по центральному европейскому пути до того, как носители культуры LBK достигли Рейна. И все же смешение групп иными способами происходило, возможно, с самого начала.



Кремневые наконечники стрел (1) из Капелленберга в Германии свидетельствуют о важности охоты в михельсбергской культуре. На стоянке рядом с Висбаденом нашли фрагменты глиняного сосуда с линейным орнаментом, характерным для земледельческой культуры LBK (на фото 2 показана копия).

Волнующим намеком на подобное взаимодействие стало обнаружение группой Кристины Гамбы кости охотника-собирателя в поселении земледельцев в Тисаселеш-Домахаза в Венгрии. Однако больше ничего нельзя было сказать об этом человеке. Был ли он членом этой общины? Заложником? Просто проходил через это поселение?

С появлением более поздних свидетельств картина стала проясняться. В Брухенбрюккене, к северу от Франкфурта, примерно 7,3 тыс. лет назад земледельцы и охотники-собиратели жили вместе в поселении, которое Гроненборн называет «мультикультурным». Похоже, охотники сначала пришли издалека с запада, чтобы обмениваться с земледельцами, ценившими способы изготовления орудий, использовавшиеся их предшественниками, особенно тонко обработанные каменные наконечники стрел. Возможно, некоторые охотники-собиратели переходили к оседлости и перенимали образ жизни земледельцев. Обмен в Брухенбрюккене и других поселениях был настолько плодотворным, говорит Гроненборн, что дальнейшее продвижение культуры земледелия на запад приостановилось на несколько столетий.

Может быть, даже встречались редкие исключения из правила об отсутствии скрещиваний между двумя группами на ранних этапах. Стоянка Брунн 2 в Австрии в лесистой речной долине недалеко от Вены датируется временем первого появления земледельцев — носителей культуры LBK в Центральной Европе, примерно 7,6 тыс. лет назад. Три захоронения на стоянке относятся приблизительно к тому же периоду. У двух человек из этих захоронений предками были только земледельцы, а у третьего родители относились к двум разным группам, земледельцам и охотникам. Все три тела лежат в положении, характерном для культуры LBK, —



на боку, согнутые, — но вместе с «охотником» захоронены шесть наконечников стрел.

В 1990 г., когда археологи начали раскопки на стоянке Брунн 2, они обнаружили тысячи разбросанных каменных фрагментов, а также керамические амфоры, глиняные флейты и статуэтки. Ученые пришли к выводу, что это место в каменном веке использовалось для совершения ритуалов или в качестве мастерской и обменного пункта, а может быть, и для того и для другого. По мнению работавшего в Брунне 2 Алексея Никитина, специалиста по палеогенетике из Университета Гранд-Валли в Аллендейле, штат Мичиган, если это было сакральное место, то захороненные там люди должны были обладать высоким статусом. Никитин считает, что этот археологический памятник свидетельствует о взаимовыгодном влиянии двух культур: «Иммигранты принесли с собой то, чего не было у местных обитателей, но местные обладали тем, чего не было у пришедших, — знанием ландшафта».

На южном пути расселения земледельцев подобное взаимодействие, по-видимому, с самого начала сопровождалось скрещиваниями. «В течение первых двух столетий с момента прихода первых земледельцев мы наблюдаем появление индивидов, у которых 55% генов — это гены охотников-собирателей», — говорит специалист по палеогенетике из Университета Бордо Маите Ривойа (Maïté Rivollat), соавтор генетического исследования человеческих останков, найденных в неолитических захоронениях на юге Франции (результаты были опубликованы в мае в *Science Advances*). Более того, наблюдая за распределением генов охотников-собирателей в геноме земледельцев, Ривойа с коллегами смогли сказать, что скрещивания происходили уже в течение жизни пяти или шести поколений, то есть, судя по всему, начались сразу же после высадки на европейском берегу первых земледельцев.

Любопытно, что места, где две группы, возможно, вступали в контакт, во Франции не найдены, хотя Тома Перрен и занимается их поиском. По мнению Перрена и других ученых, наиболее вероятное место, где охотники-собиратели и земледельцы могли оказаться в одно и то же время, — это грот дю Гардон, пещера в горах Юра к востоку от Лиона. В пещере жили, быстро сменив друг друга, неолитические земледельцы и мезолитические охотники, причем охотники пришли уже после земледельцев. «Учитывая небольшую промежуток времени, разделяющий две группы обитателей пещеры, можно заключить, что они по меньшей мере сосуществовали в этом регионе», — говорит Перрен.

Как же разобраться в таких несопоставимых данных? Полли Висснер (Polly Wiessner), антрополог из Университета Юты, долгое время занимающаяся изучением охотников-собирателей, считает, что в таких региональных вариациях нет ничего удивительного. В более поздний исторический период, когда земледельцы-иммигранты встречались с живущей на этой территории группой охотников-собирателей, отношения между ними зависели от экономических целей. «Если вновь прибывшие хотят захватить земли или ресурсы, они дегуманизируют местное население, — говорит Висснер. — Если же есть возможность для сотрудничества, тогда выход заключается в классификации отношений, чтобы облегчить взаимодействие». То есть следует назвать кого-то другом или торговым партнером.

Более поздняя колонизация земледельцами территорий, населенных охотниками-собирателями, также помогает объяснить, почему для возрождения мезолита — примерно спустя 1,5 тыс. лет после появления земледельцев в Европе — понадобилось так много времени. Когда земледельцы банту начали расселяться в Южной Африке 3 тыс. лет

назад, они встречались со скитающимися в лесах пигмеями, группами охотников-собирателей, от которых они отличались генетически настолько же, насколько от европейцев. «В течение долгого времени между банту и пигмеями существовали торговые взаимоотношения, но отсутствовали скрещивания», — рассказывает специалист по эволюционной генетике Льюис Кинтана-Мурси (Luis Quintana-Murci) из парижского Института Пастера, восстанавливающий по фрагментам общую историю этих двух групп с использованием древней ДНК.

Находки указывают на стратификацию общества, в котором мало ценили жизнь тех, кто занимал самое низкое положение

Когда же наконец спустя 2 тыс. лет после встречи этих двух групп начались скрещивания, именно женщины из племен пигмеев выходили замуж за банту и становились членами общины, где к ним относились (и сейчас относятся) как к занимающим более низкое социальное положение, низшему социально-экономическому классу, который также отличался физически. Кинтана-Мурси говорит: «У банту двойственное отношение к пигмеям: они обращаются с пигмеями как со слугами и в то же время немного их побаиваются. С точки зрения банту, пигмеи — это хозяева леса и некоторые из них обладают силой шаманов».

Почему же биологические барьеры все же рухнули? Никто не знает, говорит Кинтана-Мурси, но, вероятно, сначала исчезли некоторые социальные барьеры. Может быть, общины банту стали более богатыми и стратифицированными, и банту, занимавшие более низкое положение на социальной лестнице, обнаружили сходство с изолированными пигмеями.

Есть ли основания для предположения, что подобное ослабление социальных барьеров предоставило возможность для смешения групп европейских древних земледельцев и охотников-собирателей? Трудно сказать, но вероятный ответ кроется в культуре Серни Парижского бассейна. Археологи долгое время рассматривали Серни как пережиток культуры линейно-ленточной керамики, который развивался просто за счет включения в *LBK* новых элементов. Если такая версия верна, то у носителей этой культуры обычаи земледельцев должны быть в крови, поскольку их предками были первые земледельцы Среднедунайской низменности. Тем не менее в захоронениях возрастом 6,7 тыс. лет умершие высокого статуса лежат на спине,

вытянутые во весь рост, а не в согнутом положении на боку, и вокруг них уложены орудия охоты и украшения, сделанные из рогов благородных оленей, бивни диких кабанов и когти хищных птиц. «Погребальные обряды обращены к иному миру, отличающемуся от их повседневной жизни, — говорит археолог Алин Тома (Aline Thomas) из Музея человека. — В этих погребениях присутствует ссылка на дикую природу, есть предметы, которые чаще ассоциируются с людьми эпохи мезолита».

Такие обряды заставили Алин Тома и Селин Бон задаться вопросом: кем же на самом деле были носители культуры Серни? Земледельцами, которые переняли и стали почитать характерные для эпохи мезолита обычаи, или недавно обращенными охотниками-собирающими, которые и не прекращали совершать свои обряды? Бон и Тома исследуют ДНК, выделенную из останков в захоронениях Серни, чтобы попытаться ответить на этот вопрос. К настоящему времени ученые проанализировали наследуемую по материнской линии мтДНК и обнаружили в ней гены представителей мезолитической культуры. Следовательно, в Серни женщины из групп охотников-собирающих приходили в общину и выходили замуж за местных мужчин. Такой наплыв может отражать положение дел и в других земледельческих общинах того времени, поскольку 6,7 тыс. лет назад уже наступил период возрождения мезолита — гены охотников-собирающих появились в геномах земледельцев. Поэтому неразрешенным остается следующий вопрос: кем были мужчины Серни? Сейчас исследователи занимаются анализом Y-хромосом и целых геномов из Серни в надежде установить происхождение этих людей.

Кем бы ни были носители культуры Серни, их погребения, по-видимому, представляют собой своего рода стоп-кадр возрождения мезолита в Европе. В течение нескольких сотен лет почти все жители Европы переняли культуру земледельцев, даже если их гены, а иногда и ритуалы, свидетельствуют о более сложной истории.

Зарождающаяся иерархия

Примерно 6,5 тыс. лет назад в Европе начался новый этап. До этого времени даже важных людей хоронили в отдельных погребениях в земле, как в Брунне 2. Теперь в некоторых регионах над погребальными камерами, куда помещали одного или двух человек, стали насыпать огромные курганы. Археологи полагают, что такие изменения свидетельствуют о важном социальном сдвиге, возможно, о рождении неравенства, так как земледельческие сообщества начали производить излишки и распределять их неравномерно. Если так, то в подобных сообществах находились люди, в чьей родословной было больше охотников-собирающих. Такие члены общины по-прежнему

могли внешне отличаться от своих соседей, чистокровных земледельцев, и их жизнь не всегда была счастливой.

Примером служит культура Михельсберг, датированная 4400 г. до н.э., которая зародилась, вероятно, в Парижском бассейне до начала расселения земледельцев на востоке, в Эльзасе и Германии. Носители михельсбергской культуры обустроивали свою территорию так, чтобы обеспечить защиту. В центре обычно находилось крупное укрепленное поселение, в котором насчитывалось до нескольких тысяч жителей. Центр был окружен районом с более мелкими, рассредоточенными поселениями, а за ним находилась «пограничная зона», как называлась ее Гроненборн, с еще менее редкими «колониями». Такая оборонительная модель, возможно, отражает напряженные отношения между соседними общинами, которые вступали в конфликты по мере роста численности населения.

Михельсбергские погребения свидетельствуют о стратификации общества. В некоторых археологических памятниках, например в Брухзаль-Ауэ рядом с Карлсруэ, умерший высокого статуса находится в традиционном для культуры LBK согнутом положении на боку вместе с другими людьми, брошенными, по-видимому поневоле, рядом с ним. Содержание изотопов стронция в зубах этих людей указывает, что рацион всех захороненных в одной могиле был одинаков — рацион земледельцев. Однако анализ их ДНК показывает, что у людей, находящихся рядом с центральной фигурой в захоронении, в родословной было намного больше охотников-собирающих по сравнению с человеком высокого статуса. Больше того, останки потомков охотников-собирающих часто находят в мусорных ямах или канавах. По мнению Детлефа Гроненборна, подобные находки указывают на то, что в обществе существовала дискриминация по социальному и биологическому признаку и жизнь тех, кто занимал самое низкое положение, ценили мало. Люди, которых беспорядочно сбросили в могилу человека, имевшего высокий статус, возможно, были рабами или пленниками, которых заставили присоединиться к их умершему господину. Гроненборн говорит: «Думаю, этих людей убили, чтобы захоронить в этих могилах».

В статье, опубликованной в 2017 г., группа ученых из Бордо сообщает о «возможных практиках человеческих жертвоприношений» на другой стоянке носителей михельсбергской культуры — Гугенхайм в Эльзасе. У некоторых из тех, чьи тела, по-видимому, сбросили в захоронение, были отрублены конечности, а на останках одного человека обнаружены следы ожогов: по-видимому, они стали жертвами ритуалов. Важно отметить следующее. Ученые секвенировали мтДНК из зубов 22 человек и обнаружили различия между индивидами, аккуратно уложенными в захоронении,

и теми, кого сбросили рядом в нетрадиционном положении. «Расположенные в нетрадиционной позе умершие унаследовали профиль мтДНК от охотников-собирателей, а находящиеся в традиционной позе — нет», — говорит Маите Ривойа. Поскольку выборка мала, а мтДНК дает информацию только о материнской линии, Ривойа предупреждает, что нельзя связывать обращение с этими людьми после смерти с их родословной. Однако, по его словам, полученные данные действительно указывают на стратификацию общества, в котором запрещались брачные отношения между представителями определенных страт.

Численность представителей михельбергской культуры достигла максимума около 5,7 тыс. лет назад, и тогда же наблюдался рост насилия, как отмечает Гроненборн. Жители соседних поселений постоянно нападали друг на друга и устраивали массовую бойню. Об этом свидетельствует постоянно совершенствуемые оборонительные сооружения и заброшенные поселения, а также простые захоронения, в которых находятся расчлененные человеческие останки. Гроненборн говорит: «Я представляю себе разрисованные лица, тела, разбросанные между деревьями, — картина, весьма напоминающая последние сцены фильма "Апокалипсис сегодня"». В Капелленберге, памятнике михельбергской культуры рядом с Франкфуртом, в тот период были построены и усилены укрепления (частично видимые в наши дни): ограда из частокола, а позднее — ров. Потом, около 5,5 тыс. лет назад, поселение, которое должны были защищать эти укрепления, по-видимому, было заброшено.

Апокалипсис?

Была ли тому причиной последняя, апокалиптическая бойня или через поселение прошла чума? Как говорит Гроненборн, установить это трудно. Почти через тысячу лет после того, как Капелленберг стал необитаем, туда пришли новые поселенцы и возвели два ритуальных кургана: из степи на своих повозках приехали носители ямной культуры. Факт, что их вклад в генофонд европейцев в виде X-хромосомы относительно мал (как в 2017 г. сообщил Голдберг), свидетельствует о том, что среди пришедших в Европу ямников значительно преобладали мужчины. Исследователи, в том числе археолог из Гетеборгского университета Кристиан Кристиансен (Kristian Kristiansen), обнаружили следы ДНК возбудителя чумы в останках зубов представителей ямной культуры и предположили в 2018 г., что скотоводы-ямники вызвали опустошение в земледельческих общинах, распространив в них чуму. Такое возможно, говорит Гроненборн, но археологические находки показывают, что к тому моменту, когда представители ямной культуры появились в Капелленберге, земледельческие общины в Центральной Европе уже на протяжении

тысячи лет приходили в упадок. Если численность земледельцев на самом деле сокращалась в течение этого времени, тогда должны быть другие причины, и, по мнению Гроненберга, одной из них были жестокие внутренние конфликты.

Возможно ли, что до появления новых иммигрантов последние охотники-собиратели вышли из своих укрытий, чтобы выбрать среди оставленного богатства земледельцев животных и когда-то яркие медные изделия и наслаждаться новой жизнью в качестве собирателей-пастухов? Такую теорию поддерживает, например, Алексей Никитин. Имеются указания на то, что охотники-собиратели все еще существовали. В 2013 г. группа под руководством специалиста по палеогенетике Рут Боллонджино (Ruth Bollongino), работавшей тогда в Университете Иоганна Гутенберга в Майнце, сообщила, что еще 5 тыс. лет назад и охотники-собиратели, и земледельцы, общее место захоронений которых найдено в пещере Блеттерхеле в Германии, сохраняли собственную культуру, унаследованную от предков.

Эта теория наряду с другими предположениями о том, что привело к концу неолита, в настоящее время проходит проверку по мере того, как специалисты по палеогенетике получают более детальную информацию о геномах обитателей разных регионов Европы и сопоставляют свои данные с находками археологов. Как бы то ни было, совершенно ясно, что, казалось бы, гомогенные (по сравнению с носителями ямной культуры) земледельческие общества имеют легендарное прошлое. С появлением носителей ямной культуры, возвестившим о начале бронзового века, все компоненты генетического наследия современных европейцев впервые оказались представлены на континенте. Генофонд современных жителей Европы — это трехкомпонентная смесь генов мезолитических охотников-собирателей, неолитических земледельцев и скотоводов бронзового века, носителей ямной культуры.

Приход земледельцев в Европу подтверждает то, что нам теперь известно о других периодах доисторической эпохи: люди всегда мигрировали, адаптировались, заимствовали и захватывали. Как выразился Алексей Никитин, «в человечестве нет ничего статичного». ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Кэмерон К. Как пленники изменили мир // ВМН, № 4, 2018.
- The Persistence of Hunting and Gathering: Neolithic Western Temperate and Central Europe. Detlef Gronenborn in The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Hunter-Gatherers. Edited by Vicki Cummings et al. Oxford University Press, 2014.
- Cheddar Man and Mesolithic Europeans: www.youtube.com/watch?v=0JuK-BApolc

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Ваш ПРОГНОЗ

Разрастающийся ураган над Канзасом

на 28 дней

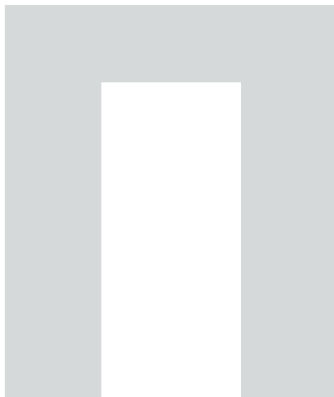
Метеорологам все лучше удается предсказать жару, холод, влажность и засуху на четыре недели вперед

Кэти Пиджен



ОБ АВТОРЕ

Кэти Пиджен (Kathy Region) — ассистент профессора на кафедре метеорологических, океанологических и геологических наук в Университете Джорджа Мейсона. Курирует проект *SubX*, в рамках которого делаются прогнозы на четыре недели, а также исследуется возможность климатических прогнозов на несколько лет.



Привет, *Google*, как там погода? Мы свыклись с мыслью, что можем принимать решения исходя из точных прогнозов погоды на следующие три, пять или семь дней. Семьи планируют пикники на ближайшие выходные. Фермеры укрывают цитрусовые деревья перед наступлением заморозков. Во время лесных пожаров экстренные службы эвакуируют поселки, находящиеся с подветренной стороны. Когда есть угроза сильных ливней, жители прибрежной зоны готовят мешки с песком, чтобы защитить свои дома и хозяйства.

Однако любые решения будет лучше принимать, если точный прогноз увеличится до трех или четырех недель. Зная о предстоящих в конце сезона заморозках, фермеры смогут определить, насколько безопасно начинать посевную ранней весной. Работники лыжных курортов повременят с заготовкой снега на склонах, если ожидается оттепель. В преддверии весенних наводнений можно будет сливать водные резервуары или наоборот — собирать воду, если прогнозируется засуха. И, конечно же, вы сможете выбрать тип отдыха, планируя отпуск в следующем месяце.

В последние годы метеорологи начали публиковать «субсезонные» прогнозы на три-четыре недели. Типовой прогноз на семь-десять дней отражает ежедневный диапазон температур, процентную вероятность осадков (снег, дождь) и ветровую обстановку. Субсезонный прогноз определяет, будет ли температура в определенный день выше или ниже средней, а влажность выше или ниже нормы, опираясь на историю наблюдений. Кроме того, прогнозируются опасные, экстремальные погодные явления. В этом случае область прогнозирования

покрывает большой временной промежуток между краткосрочными прогнозами и сезонной метеосводкой, которая охватывает масштабные явления — например, принесет ли тихоокеанское Эль-Ниньо жаркое лето в Северную Америку.

Качество субсезонных прогнозов улучшается. Например, комплекс моделирования погоды, известный под названием *SubX* («Субсезонный эксперимент»), над которым работаем я в Университете Джорджа Мейсона и мой коллега в Университете Майами, за несколько недель до событий 2018 г., известных как ураган «Майкл», с высокой точностью предсказал сильные осадки, а также свирепые морозы на Среднем Западе США в январе 2019 г. и жару на Аляске в июле того же года. Проект *SubX*, который стартовал три года назад, обрабатывает прогнозы семи главных климатических и геологических исследовательских центров в США и Канаде.

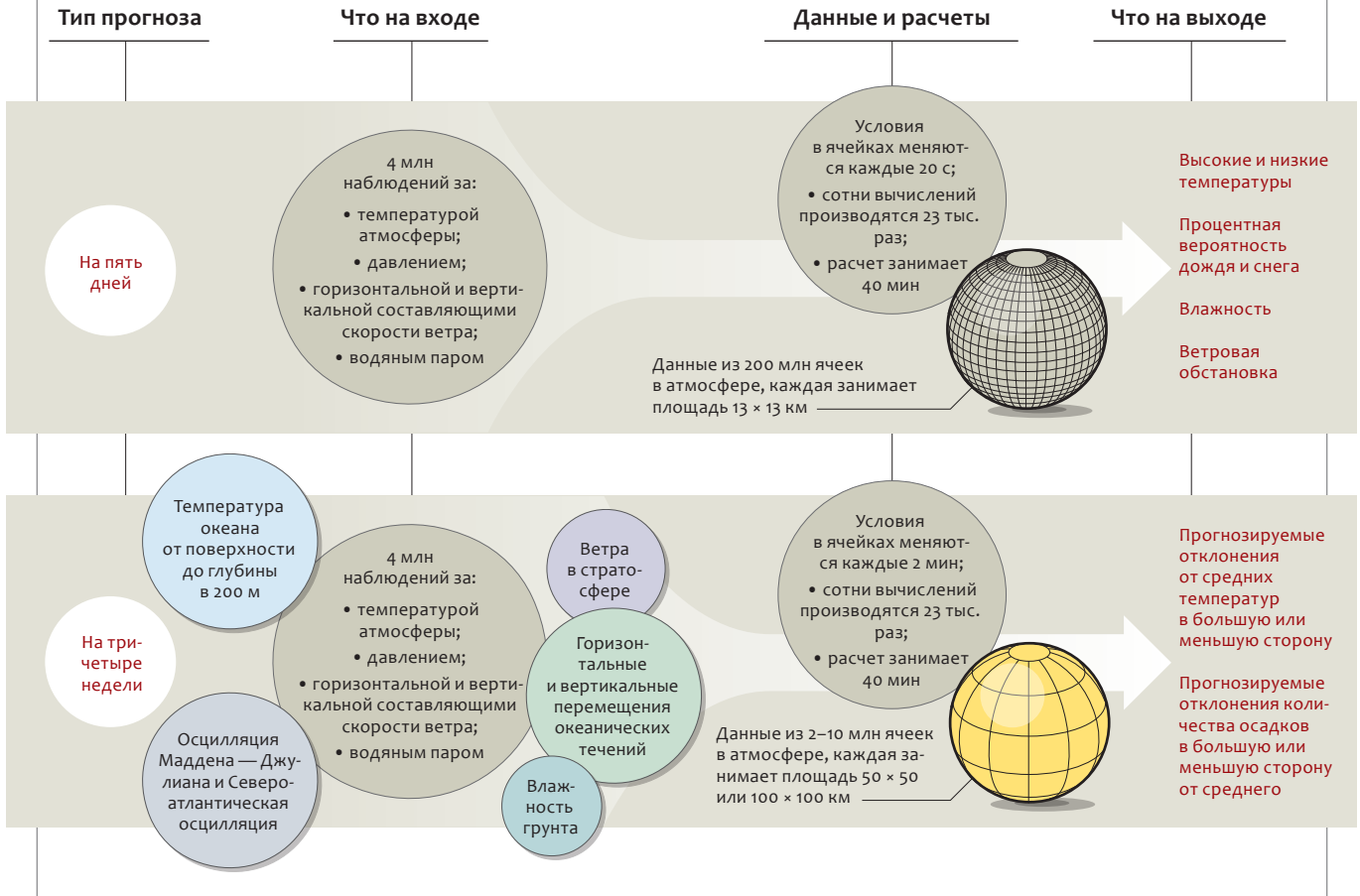
В качестве примера приведу случай: 27 февраля с помощью *SubX* я создала карты прогнозов для США, а с 21 по 27 марта — карты всего мира на временной интервал 23–29 дней. На востоке США карты предсказывали температуры выше

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Метеорологи делают все более точные прогнозы погоды на срок вплоть до четырех недель, в том числе благодаря суперкомпьютерам.
- Дальнейшее изучение таких глобальных климатических процессов, как осцилляция Маддена — Джулиана и Североатлантическая осцилляция, также необходимо.
- Прогноз на четыре недели, сделанный для этого номера, успешно предвидел температурные и осадочные аномалии в некоторых районах США, идя при этом вразрез с другими прогнозами.

Атмосфера на входе, прогноз на выходе

Для создания прогноза на три-четыре недели требуются большое количество данных и огромная вычислительная мощность, но исходные данные для расчета нужны такие же, как для прогноза на пять дней. Необходимы дополнительные сведения о климате глобального характера, но для удобства вычислений данные огрубляются.



климатической нормы, а на западе страны — ниже. Карты указывали на то, что вдоль Восточного побережья будут преобладать весенние погодные условия, а на западе долгая зима удержит свои позиции. В продолжение влажного февраля на юго-западе сохранится более влажная, чем обычно, погода. Несколько прогнозов попали точно в цель. Два дали промах.

Глобальные драйверы погоды

Прогнозы на семь-десять дней, на которые мы все полагаемся, основаны на компьютерных моделях, симулирующих изменения в атмосфере. С помощью математических уравнений делается приблизительная оценка того, как посекундно и день ото дня изменяются ветра, температура и влажность. Начиная с 50-х гг. XX в., когда появились первые модели, качество прогнозов неуклонно улучшается благодаря углублению научного понимания процессов и наращиванию компьютерных мощностей. В 1990 г. прогнозы с точностью в 80%

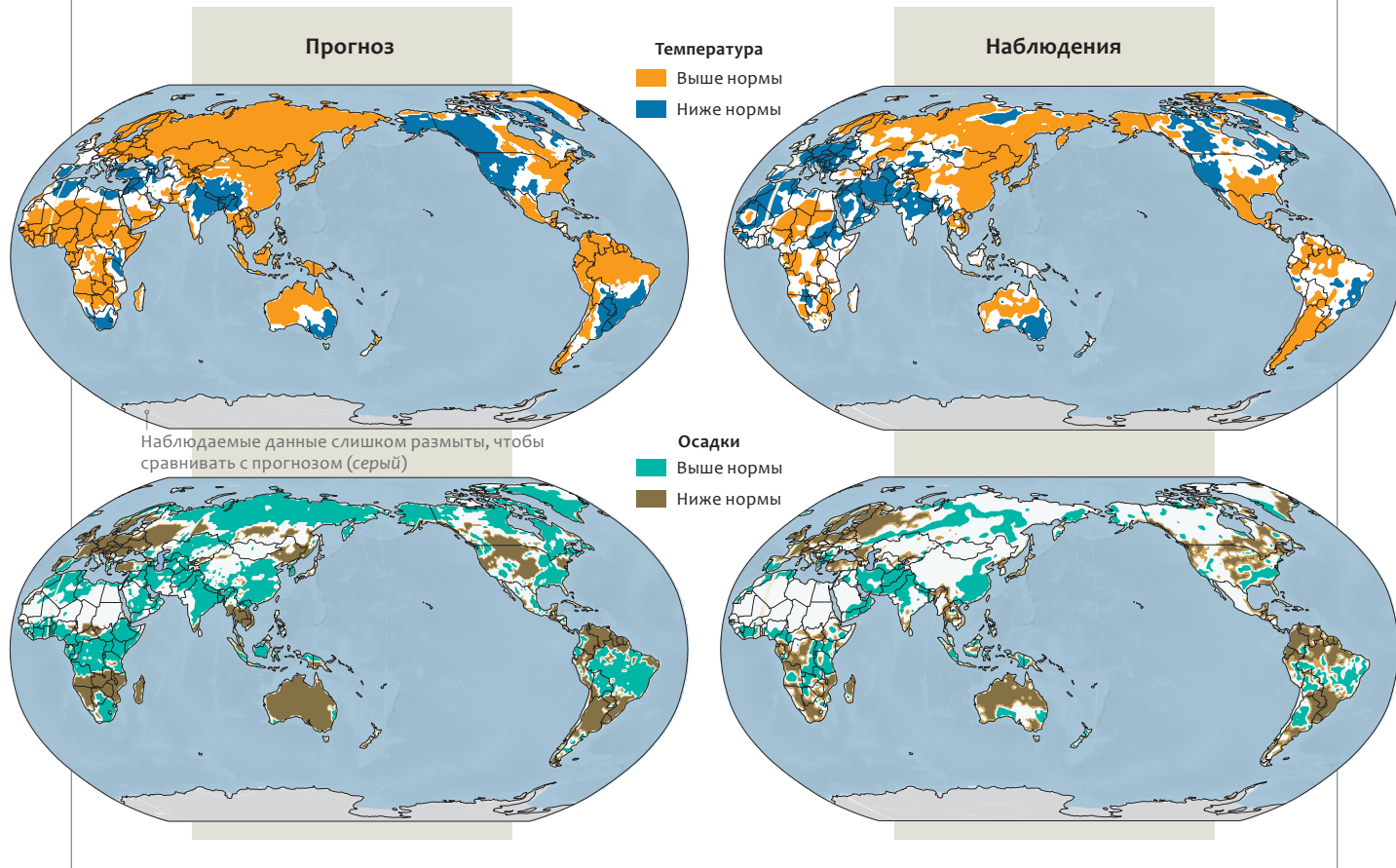
удавалось сделать не более чем на три дня. Сегодня прогнозы с такой точностью делаются на три, пять и семь дней.

Для составления метеопрогноза на три-четыре недели нужно учесть большое количество факторов. Как и в случае прогноза на семь дней, расчет начинают с текущей погоды. Каждый день огромные национальные метеорологические и космические службы по всему миру (в том числе Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA) и NASA) публикуют около миллиона наблюдений за температурой воздуха, атмосферным давлением, ветром и влажностью, произведенных с помощью метеорологических станций, самолетов и спутников. Ученые-метеорологи строят на основе этих данных модель для прогноза погоды.

Чтобы увеличить срок прогнозирования с семи дней до трех-четырех недель, ученым приходится учитывать дополнительные факторы, в том числе температуру океана и течения.

Температура и осадки на месяц вперед

27 февраля при помощи субсезонной модели SubX был сделан прогноз глобальной погоды на месяц вперед: на период с 21 по 27 марта. Полученные карты отображали соотношение прогнозируемых температуры и уровня осадков со средними значениями, наблюдавшимися с 1999 г. по 2015 г. Реальные синоптические карты в марте подтвердили верность прогнозов относительно засухи в Европе и Австралии. Подтвердились также ожидания холодной погоды на западе и теплой на востоке США, но на северо-востоке было не так жарко, как прогнозировалось. SubX в состоянии предвидеть, насколько погодные условия будут отличаться от нормы, но пока еще нет возможности определять точные значения.



Они анализируют состояние грунта: в течение нескольких жарких дней влага уходит из почвы, следовательно, уменьшаются испарения, падает влажность, что в свою очередь приводит к сокращению осадков, а это может привести к наступлению засухи. Ветра в стратосфере, на высоте примерно 10–48 км над поверхностью Земли (выше, чем летают самолеты), также принимаются в расчет. Эти ветра влияют на силу и расположение струйных течений, которые в целом ответственны за перемещение штормов в Северном полушарии с запада на восток и определяют, где могут возникнуть экстремальные температуры.

Субсезонная модель должна учитывать глобальные климатические явления и погодные аномалии. Одно из таких явлений — осцилляция Маддена — Джулиана, огромный массив из облаков дождя и ветра, который берет свое начало в тропической части Индийского и Тихого океанов

и несколько месяцев движется вокруг земного шара с запада на восток. Это явление происходит от четырех до шести раз в году, иногда последовательно, а иногда эпизодически. Осцилляция оказывает влияние на ветра, на расположение центров низкого и высокого атмосферного давления, а также на возникновение атмосферных фронтов во многих регионах планеты. Например, от нее во многом зависит, на какую часть Северной Америки прольются ливни, имеющие форму атмосферных рек — узких полос интенсивных осадков, которые тянутся из центра Тихого океана к западному побережью Северной Америки. Атмосферные реки нередко становятся причиной разрушительных наводнений, а иногда приносят долгожданную влагу. Кроме того, осцилляция Маддена — Джулиана может повысить или снизить градиент ветра в отдельных регионах, что в недельной перспективе влияет на расположение центров

образования циклонов. Этот фактор, по-видимому, способствовал удачному предсказанию урагана «Майкл» с помощью *SubX*.

Еще один фактор — это Североатлантическая осцилляция, устойчивая связка низкого и высокого атмосферного давления в северной части Атлантического океана. Она способна влиять на расположение струйного течения и полярного циклона, который может направить потоки ледяного воздуха из арктической области на северо-восток США и в Европу.

Ураган данных

Расчет субсезонного прогноза требует произвести так много операций с таким большим числом переменных, что это создает нагрузку даже на самые мощные суперкомпьютеры. Трехмерная атмосфера в модели поделена на множество небольших расчетных ячеек. Например, новейшая модель NOAA насчитывает около 200 млн ячеек. Ближайшие к поверхности Земли ячейки имеют основание в 13 км², достигая 50 м в высоту. Следующие ячейки «устанавливаются» сверху на нижние. Чем дальше от Земли находится ячейка, тем она выше. Самые высокие находятся в стратосфере, они достигают 700 м по вертикали. Решая уравнения, содержащие переменные температуры, давления, горизонтальной и вертикальной скорости ветра и влажности, модель предсказывает изменения, происходящие в ячейках каждые 20 с.

Наподобие пикселей на экране вашего телефона, которые вместе образуют картинку, ячейки отражают будущую погоду. Для составления прогноза на пять дней суперкомпьютер выполняет сотни операций, повторяя их 23 тыс. раз; гигантский суперкомпьютер задействует все 1,5 тыс. вычислительных ядер, и для такого расчета ему требуется 40 мин.

Метеорологам приходится находить баланс между доступным разрешением и разумным временем, требуемым для вычислений. Даже современные пятидневные прогнозы не учитывают некоторые факторы в ячейках, например отдельные облака, грозовые ливни и комплексное влияние ландшафтов — гор и береговых линий. Если увеличить четкость таким образом, чтобы основание ячеек составляло 6 км² (а именно столько нужно, чтобы в полной мере учесть эти факторы), формирование пятидневного прогноза займет более пяти часов. Метеорологам на местах нужно выдавать актуальную информацию, они не могут ждать так долго.

Чтобы создать реалистичную модель для четырехнедельного прогноза, которая совместит все дополнительные крупномасштабные факторы (такие, как осцилляция Маддена — Джулиана), нам приходится делать ячейки больше, одновременно уменьшая их количество с 200 млн до 2–10 млн в зависимости от модели. Увеличивая высоту

ячеек до 50–100 км, мы можем производить требуемое число расчетов теми же вычислительными мощностями, но в этом случае мы снижаем детализацию. Можно представить себе зернистое изображение с низким разрешением: общие черты различимы, но плохо видны подробности. Обширные территории с высокой температурой и дождями — это как силуэт человека, а конкретные ливни — черты его лица, которые сложно рассмотреть.

И все же наше понимание глобальных явлений углубилось, компьютеры стали достаточно производительными, а алгоритмы усложнились настолько, что модели с низким разрешением выдают картину, которая уже вызывает доверие у метеорологов.

Расчет субсезонного прогноза требует произвести так много операций с таким большим числом переменных, что это создает нагрузку даже на самые мощные суперкомпьютеры

Модели обучают другие модели

Каждую неделю семь метеоцентров, сотрудничающих с *SubX*, делают собственные прогнозы на период от 32 до 45 дней. Для этого они используют на несколько тысяч больше наблюдений, чем это необходимо для прогноза на семь дней. Группы наблюдателей направляют данные в центральную информационную базу, организованную международным исследовательским институтом климатологии и социологии при Колумбийском университете. *SubX* обрабатывает полученные данные на компьютерах в Университете Джорджа Мейсона. *SubX* — единственная научная группа, которая объединяет несколько моделей и выдает на их основании общедоступный прогноз. Европейский центр среднесрочных метеорологических прогнозов и еще десяток групп по всему миру строят прогнозы на основе единичных моделей. Проект *SubX* создает температурные карты, на которых температурные зоны отображены в сравнении со средним (в разрезе истории наблюдения) значением. По такому же принципу создаются карты осадков, учитывающие отклонения от зафиксированных норм. Совмещая семь полученных моделей, удастся, используя преимущества каждой модели и усредняя данные, получить гораздо более точный прогноз. Например, модели должны спрогнозировать облачность в отдельно взятых ячейках:

каждая модель делает это немного по-своему. Совмещение моделей позволяет сделать наиболее удачный прогноз. Для США прогноз *SubX* удачней самой лучшей индивидуальной модели в 60% случаев по температуре и в 81% по осадкам.

Ученые проекта *SubX* разрабатывают новые методики комбинирования моделей; мы также совершенствуем методики, опираясь на пройденный опыт. В течение года *SubX* произвел несколько расчетов на три-четыре недели, опираясь на исходные параметры, полученные с 1999 по 2015 г., создав, таким образом, базу данных объемом более 20 терабайт. Произведя расчет, мы каждый раз сравнивали полученные данные с реальными погодными условиями, которые фиксируются через три-четыре недели. Таким образом, нам удалось опытным путем изучить влияние различных погодных явлений.

В настоящее время мы используем совпадения и просчеты, которые выявили, чтобы улучшить работу моделей, в том числе то, как точно они отображают происходящее в стратосфере, осцилляцию Маддена — Джулиана, Североатлантическую осцилляцию и влияние этих явлений на погоду в различных регионах. Например, две научные группы из NOAA, которые занимаются моделированием и передают данные проекту *SubX*, усовершенствовали уравнения, описывающие облачность, дожди и грозы, чтобы точнее охарактеризовать осцилляцию Маддена — Джулиана. Затем они повторили эксперимент с ретроспективными прогнозами на три-четыре недели, и результаты оказались более точными.

Эксперимент (21–27 марта)

Итак, насколько удачным был прогноз для США, сделанный *SubX* 27 февраля на период с 21 по 27 марта? Созданные карты предвещали теплую погоду на востоке и прохладную на западе; вместе с тем ожидалась ранняя весна на Восточном побережье и дальнейшее преобладание зимних температур на Западном. На юго-востоке страны прогноз отмечал повышенную влажность.

На юго-востоке действительно наблюдалась нетипичная влажность. Предсказания дождей вкупе с таянием снегов и изначально высоким уровнем реки Миссисипи давали повод готовиться к наводнению в регионе. Действительно, 27 февраля в Новом Орлеане Миссисипи была близка к тому, чтобы выйти из берегов. Достигнув пиковой отметки 8 марта, уровень воды немного упал, но затем опять поднялся и к 12 апреля снова угрожал наводнением. Прогноз *SubX* был частично успешным потому, что сбылось предсказание высокой температуры воды в Мексиканском заливе, а это ключевой фактор для возникновения ливней на юго-востоке страны. Кроме того, *SubX* предсказал, что температура на Восточном побережье

опустится ниже нормы, а в Северной Калифорнии и прибрежной зоне Британской Колумбии будет суше обычного.

В целом, правильно определив нахождение зон высокого и низкого атмосферного давления, *SubX* успешно спрогнозировал низкую в сравнении с нормой влажность в Европе и относительно высокую температуру в Азии. Точный прогноз температуры воздуха в Австралии был сделан благодаря тому, что модель сумела определить регионы с преобладанием облачной или солнечной погоды, обусловленной осцилляцией Маддена — Джулиана.

SubX переоценил масштабы территорий в среднеатлантическом регионе США, на северо-западе страны и в долине реки Огайо, где наблюдались температуры выше средних. Прогноз страдал неточностями в части описания областей высокого и низкого давления. Кроме того, модель не смогла спрогнозировать высокую (относительно средних значений) влажность в Орегоне, хотя ливень, который прошел там 24–25 марта, и был кратковременным. Из семи отдельных моделей, интегрированных в *SubX* (мы создали их за неделю до этого дождя), большая часть не предвидела дождь. Даже недельный прогноз не смог выявить грозу, в результате которой пошел дождь. В атмосфере иногда возникают хаотические явления.

Для того чтобы субсезонный прогноз стал таким же качественным, как недельный, нам предстоит еще многое сделать, и, возможно, он никогда не будет совершенным. Но над этим в поте лица работает большая команда метеорологов. Каждую неделю я публикую глобальный прогноз на четыре недели, основанный на всех семи моделях, и дополнительно прогноз комбинированной модели *SubX*. Центр прогнозирования климата NOAA в свою очередь выпускает прогноз на три-четыре недели для США, опираясь на данные *SubX*. Возможно, лет через десять, мельком взглянув на экран телефона, чтобы посмотреть прогноз, вы увидите значок солнца или тучки в верхнем углу, а снизу надпись «Погода на 28 дней». ■

Перевод: Е.В. Аржевский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Мастерс Д. Струйное течение становится фатальным // В мире науки, № 2, 2015.
- Peter Bauer, Alan Thorpe and Gilbert Brunet in *Nature*, Vol. 525, pages 47–55; September 3, 2015.
- The Subseasonal Experiment (SubX): A Multimodel Subseasonal Prediction Experiment. Kathy Pegion et al. in *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 100, No. 10, pages 2043–2060; October 2019.

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

Могучие властелины лесов

История о том, как дубы стали властвовать в лесах Северного полушария планеты.

Оценивая жизнь

Валовой внутренний продукт (ВВП) — один из ключевых экономических показателей. Одержимость им привела к снижению уровня счастья, ухудшению здоровья и некорректной оценке состояния окружающей среды. По мнению ученых, пришло время заменить этот показатель.

Квантовый скачок

Поиск ответа на один из важнейших остающихся открытыми вопросов в физике: каким образом квантовое явление становится макроскопическим?

Дружелюбная эволюция

Естественный отбор наиболее дружелюбных и общительных особей позволил *Homo sapiens* одержать верх над неандертальцами и прочими видами людей и покорить планету.

Животные порознь

Лангусты, птицы и некоторые приматы обычно используют социальное дистанцирование, чтобы предотвратить заболевание, тогда как люди испытывают трудности с такой стратегией.

Проблема биомассы

Стратегические планы по сокращению двуокиси углерода предполагают большее количество деревьев, травянистой растительности и остатков сельскохозяйственных культур, чем можно сохранить на нашей планете.





СЕНТЯБРЬ 1970

Тихоокеанский тройник. Четырехнедельная тихоокеанская экспедиция исследовательского судна ВМС США *DeSteiguer* этой весной представила еще одно свидетельство того, что земная кора состоит из отдельных дрейфующих плит. Это морское

путешествие — пример того, как теория успешно предсказывает факт: если три океанические плиты разошлись, на дне моря появляется клиновидная зона с вершиной в месте их сопряжения. В 1968 г. Дэн Маккензи (Dan Peter McKenzie) и Джейсон Морган (William Jason Morgan) совместно опубликовали эту гипотезу, исходя из которой один из принстонских коллег Моргана, Кеннет Деффайес (Kenneth S. Deffeyes), вычислил размер и форму тройника — клина тройного сопряжения, который, как ожидалось, образовался в районе Галапагосских островов. Затем Деффайес возглавил экспедицию на *DeSteiguer* и собрал данные, подтвердившие правильность гипотезы Маккензи — Моргана.



СЕНТЯБРЬ 1920

Контроль над малярией. Среди необычных методов, применяемых, чтобы предотвратить вылупливание личинок комаров, — разбрызгивание струй керосина или тяжелого мазута. Опрыскивание производится с помощью ранцевых насосных распылителей или автоматических канистр-распылителей. Безусловно, дороговизна нефти — фактор, с которым приходится считаться, но в одном из небольших городков на Юге, в котором ведутся заготовки леса, расходы по такой обработке в пересчете на душу населения составили \$1,23. Помимо всего прочего, посещение врача для лечения от малярии там сократилось на 70% по сравнению с предыдущим годом.



СЕНТЯБРЬ 1870

Современные часы. На часовом заводе *Waltham* простые ручные механизмы, с помощью которых изготавливались детали часов, были объединены в одно целое так, что получились сотни новых машин стоимостью во много сотен тысяч долларов, и все они сплелись в один огромный механический организм.

Одна паровая машина посредством приводных валов передает свою мощность через целую анфиладу схожих рабочих помещений, в результате часы изготавливаются со скоростью один экземпляр за три минуты, причем все они одинаково хорошего качества, что раз и навсегда делает устаревшими все предыдущие методы их производства.

Изобретательский талант. Патентных поверенных часто привлекают для подготовки заявок женщины-изобретательницы. Мы можем сказать тем, кто не верит в способность женщин достичь чего-либо более серьезного, чем кекс или вышивка, что изобретения представительниц прекрасного пола, как правило, показывают практичность, удобство в применении и правильный выбор средств достижения определенной цели. Соответственно, они полностью равны изобретениям мужчин. ■



1870 г.: Часовой завод *Waltham* считался одним из самых передовых



Как мы делаем вещи

Долгое время человек планировал будущие потребности, создавая вещи. Промышленная революция, начавшаяся в 1760-е гг., заменила силу человеческих мышц силой ветра, воды и пара. С момента основания этого журнала в 1845 г. и в течение следующего столетия благодаря развитию физики и химии — и с помощью новых наук управления — создавались новые машины и источники энергии, увеличивалось количество производимых товаров и росли потребности в сырье. Электронные вычислительные машины появились в 1940-х гг., а к 1980-м гг. стали широко использоваться для управления станками. В предстоящие годы мы, возможно, приручим силы природы и будем использовать химические связи и биологические материалы, чтобы они работали на нас и за нас.

1982 г.: Компьютеры, появившиеся в 1940-х гг., получили сегодня широкое распространение во всех областях человеческой деятельности



ПРАВИТЕЛЬСТВО
МОСКВЫ



МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.В.ЛОМОНОСОВА



РОССИЙСКАЯ
АКАДЕМИЯ
НАУК

ВСЕРОССИЙСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ NAUKA

МОСКВА
9-11 / 17-18
ОКТАБРЯ

СМЕШАННЫЙ
ФОРМАТ
ПРОВЕДЕНИЯ



ВХОД СВОБОДНЫЙ
festivalnauki.ru

FUTURE OF PHYSICS

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

8/9 2020

12+

ТЕМНЕЙШИЕ ЧАСТИЦЫ // ГЕНЕТИКА В РОССИИ // ДОИСТОРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТИВ

ВНУТРИ КОРОНАВИРУСА

Все, что мы знаем
на данный момент
о COVID-19

ISSN 0208-0621



20008



9 770208 062001 >

