

СТРАШНЫЕ СОЦСЕТИ

Зависимость детей от современных технологий преувеличена?

ФАГИ-БОРЦЫ

Надежда на победу над инфекциями, устойчивыми к лекарствам

ДРУГАЯ МЕДИЦИНА

Перспективы генетических технологий в России

В мире науки

SCIENTIFIC AMERICAN

Ежемесячный научно-информационный журнал

www.sci-ru.org

1/2 2020

12+

С НОВЫМ ГОДОМ!

КРИСТАЛЛЫ ВРЕМЕНИ

Новые экзотические состояния материи имеют повторяющуюся структуру, напоминающую часовой механизм

ПЛЮС

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ

Внутри первого в мире подземного детектора





**С.П. КАПИЦА
ГОВОРИЛ:**

**«Я НЕ ХОЧУ ЖИТЬ
ПРОШЛЫМ, ПОТОМУ
ЧТО У МЕНЯ
СЛИШКОМ МНОГО
ДЕЛ В НАСТОЯЩЕМ».**

**ДАВАЙТЕ
ПОСЛЕДУЕМ ЗАВЕТУ
СЕРГЕЯ ПЕТРОВИЧА
И СДЕЛАЕМ НАШЕ
НАСТОЯЩЕЕ
ДОБРЫМ,
СВЕТЛЫМ, МИРНЫМ
И ОСМЫСЛЕННЫМ.**

**С НОВЫМ ГОДОМ
И РОЖДЕСТВОМ,
ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!**

**СЧАСТЬЯ,
ЗДОРОВЬЯ,
БЛАГОПОЛУЧИЯ,
РАДОСТИ И ЛЮБВИ!**

«РАЗГОВОР С КАПИЦЕЙ».

АВТОР — ХУДОЖНИК ЕКАТЕРИНА ЛЕБЕДЕВА.

ПОРТРЕТ СОЗДАН ПО ТЕХНОЛОГИИ «ЛИЦЕВЫХ ПЯТЕН».

ОПИСАНИЕ КОНЦЕПЦИИ — В СТАТЬЕ «КОД ЛИЦА»

(«В МИРЕ НАУКИ / SCIENTIFIC AMERICAN», № 4, 2019).

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ



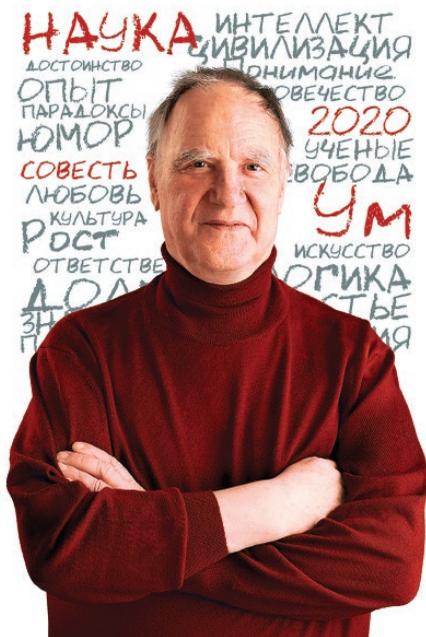
Сибирское отделение РАН



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. Фортов

Главный научный консультант:

президент РАН акад. А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

д.ф.-м.н. А.Е. Благов; акад. А.В. Смирнов; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин; акад. В.А. Ткачук

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина,
В.И. Сидорова, 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. Фортов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

А.Ш. Геворгян

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинин

Адрес редакции:

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

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

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:



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

Заказ № 0640

© 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.



24



104

Темы номера

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

Лучшая десятка технологий 2019 года 6
Итоги года по самым интересным и перспективным инновациям, способным изменить мир

ФИЗИКА

Кристаллы во времени 24
Фрэнк Вильчек
Состояния вещества, называемые временными кристаллами, демонстрируют такие же свойства симметрии во времени, как обычные кристаллы — в пространстве

МЕДИЦИНА

Академик Всеволод Ткачук: «Регенеративная медицина — это не новая технология, а другая медицина» 34
Ольга Беленицкая
Директор Института регенеративной медицины МГУ рассказывает о современном состоянии генетических технологий в мире и в России

ФИЛОСОФИЯ

Новое измерение в науке 42
Ольга Беленицкая
На вечные и актуальные вопросы философии отвечает директор Института философии РАН академик **Андрей Смирнов**

СОДЕРЖАНИЕ

Январь/февраль 2020

ФИЗИКА

Назад в будущее 50
Наталья Лескова
Директор НИЦ «Курчатовский институт» **Александр Благов** — о реализации национальной программы синхротронных и нейтронных исследований

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Природа после войны 58
Рэйчел Ньюер
После 50 лет войны Колумбия хочет создать экономику на основе биоразнообразия ее природы

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Священные рощи 68
Мадхав Гаджил
Сельские жители в Индии возрождают древнюю традицию, поскольку это дает им экологическую выгоду

ТЕХНОЛОГИИ

Детки в порядке 80
Лидия Дэнцурт
Согласно последним данным, нет оснований так сильно беспокоиться по поводу пагубности влияния социальных сетей на психическое здоровье



58



150



98

МЕДИЦИНА

Фаговая терапия на пороге?

Чарльз Шмидт

Метод лечения времен Первой мировой войны возвращается для борьбы с мультирезистентными инфекционными заболеваниями

ЭВОЛЮЦИЯ

Певчая победа

Кейт Вонг

Открытие необычной хромосомы в половых клетках певчих птиц помогает объяснить фантастическое разнообразие этой группы пернатых

АСТРОФИЗИКА

Центр гравитации

Ли Биллингс

Вскоре в Японии должна заработать первая крупная гравитационно-волновая обсерватория под землей

АСТРОНОМИЯ

Зоркий глаз

Белинда Уилкс

После 20 лет работы на орбите Рентгеновская обсерватория «Чандра» по-прежнему раскрывает секреты космоса



112

ФИЗИКА

Побег из черной дыры

120

Стивен Гиддингс

Согласно квантовой механике, информация должна уходить из черных дыр. Свежие наблюдения способны прояснить, как это происходит

ЭКОНОМИКА

Неизбежное казино

130

Брюс Богосян

Новый научный подход крайне точно описывает распределение материальных ценностей в современной экономике

98

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Огненные торнадо

140

Джейсон Фортотфер

Ученые близки к разгадке, где и когда образуются эти смертельные вихри

104

КЛИМАТ

Грядет суровая погода

150

Дженнифер Фрэнсис

Недавние стихийные бедствия показывают, как изменение климата зимой усиливает бури, а летом вызывает ливни, наводнения и аномальную жару

112

Разделы

От редакции

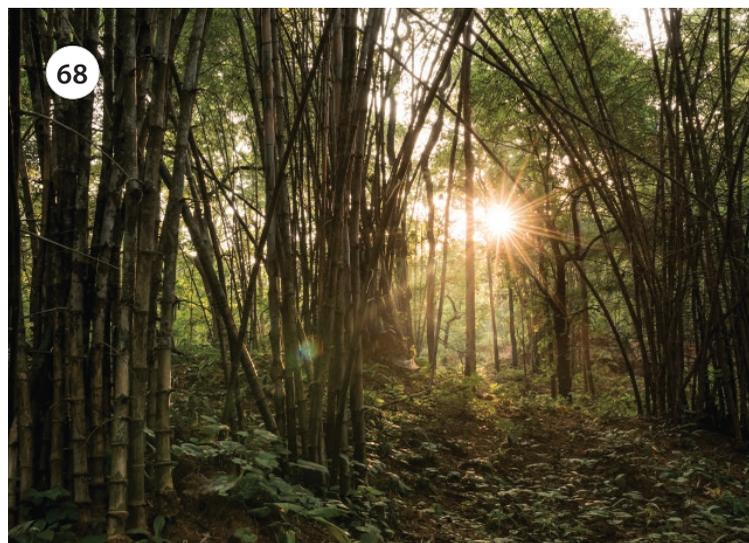
4

50, 100, 150 лет тому назад

97, 160



80



68



**Президент
Российской академии наук
Александр Сергеев
поздравляет читателей
журнала «В мире науки»,
академиков,
членов-корреспондентов,
профессоров РАН и всех
научных сотрудников
с Новым годом!**

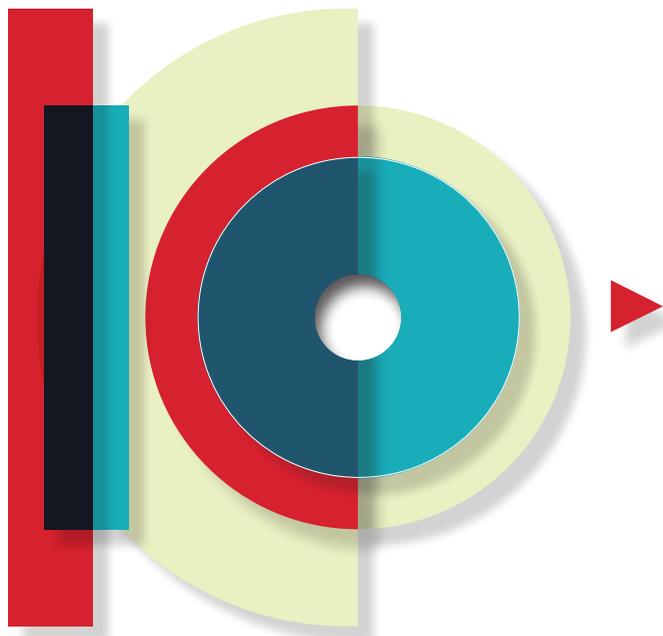
В прошедшем году было много важных событий. Мы успешно провели два общих собрания членов Российской академии наук. Первое было посвящено новой программе фундаментальных исследований, второе — выборам в академию наук. Выборы были честные и справедливые, наши ряды пополнились очень достойными новыми членами РАН. Этот итог показал, что наша академия как демократическая организация может самостоятельно решать важнейшие задачи по своему кадровому составу.

Большое внимание в прошедшем году мы уделили решению вопросов, связанных со стратегией научно-технологического развития страны, с новыми научно-техническими программами. Силами наших советов, координационного совета РАН мы отобрали много интересных проектов, которые в будущем году начнут финансироваться. И это не только фундаментальные исследования, это вклад в развитие и прикладных исследований, и нашей экономики. Нам очень важно, чтобы наука стала производительной силой экономики.

Еще одно важное событие — научная сессия «Фундаментальные проблемы развития современного российского общества», которая впервые в концентрированном виде представила научный взгляд на современную Россию представителей гуманитарных наук. Это стало своего рода обращением к обществу и власти о необходимости всеобщего признания важности науки в стране.

Мы обязательно выйдем на высокие темпы развития экономики, когда наука станет той ценностью, которая признается всем обществом. Именно этого я и хочу пожелать вам, дорогие читатели и коллеги, в наступившем году. Ведь если престиж науки возрастает, это отражается и на экономике, и на социальной жизни.

С Новым годом! Счастья, благополучия, крепкого здоровья и хорошего настроения вам и вашим близким!



ЛУЧШАЯ ДЕСЯТКА ТЕХНОЛОГИЙ 2019 ГОДА

Горизонты науки и техники

Главная статья номера «Лучшая десятка технологий 2019 года» представляет изобретения, которые, по мнению редакции *Scientific American*, когда-нибудь станут такими же привычными, как интернет. Ежегодный перечень, публикуемый третий год подряд, составлен в сотрудничестве со Всемирным экономическим форумом (ВЭФ). В руководство координационного совета входит почетный редактор журнала *Scientific American* Мариэтт Ди Кристина. Были рассмотрены десятки предложений, отобранных редакционным советом журнала и сетью экспертов ВЭФ.

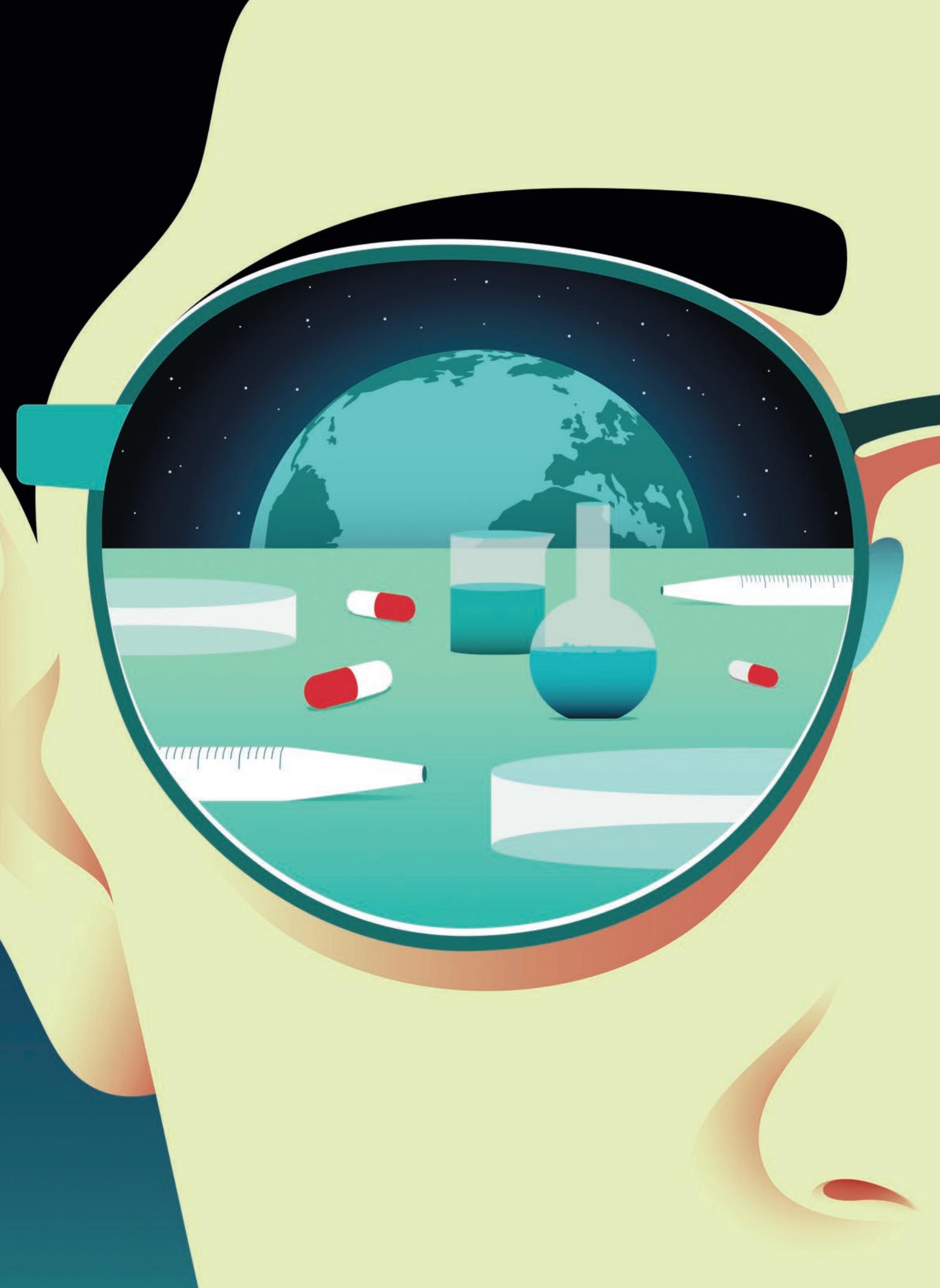
Если в обычных кристаллах рисунок структуры повторяется через регулярные интервалы в пространстве, структура временных кристаллов повторяется через регулярные интервалы во времени. Термин «временные кристаллы» ввел нобелевский лауреат, физик-теоретик Фрэнк Вильчек и создал в лаборатории их первые образцы. Возможно, эта область исследований приведет к беспрецедентно

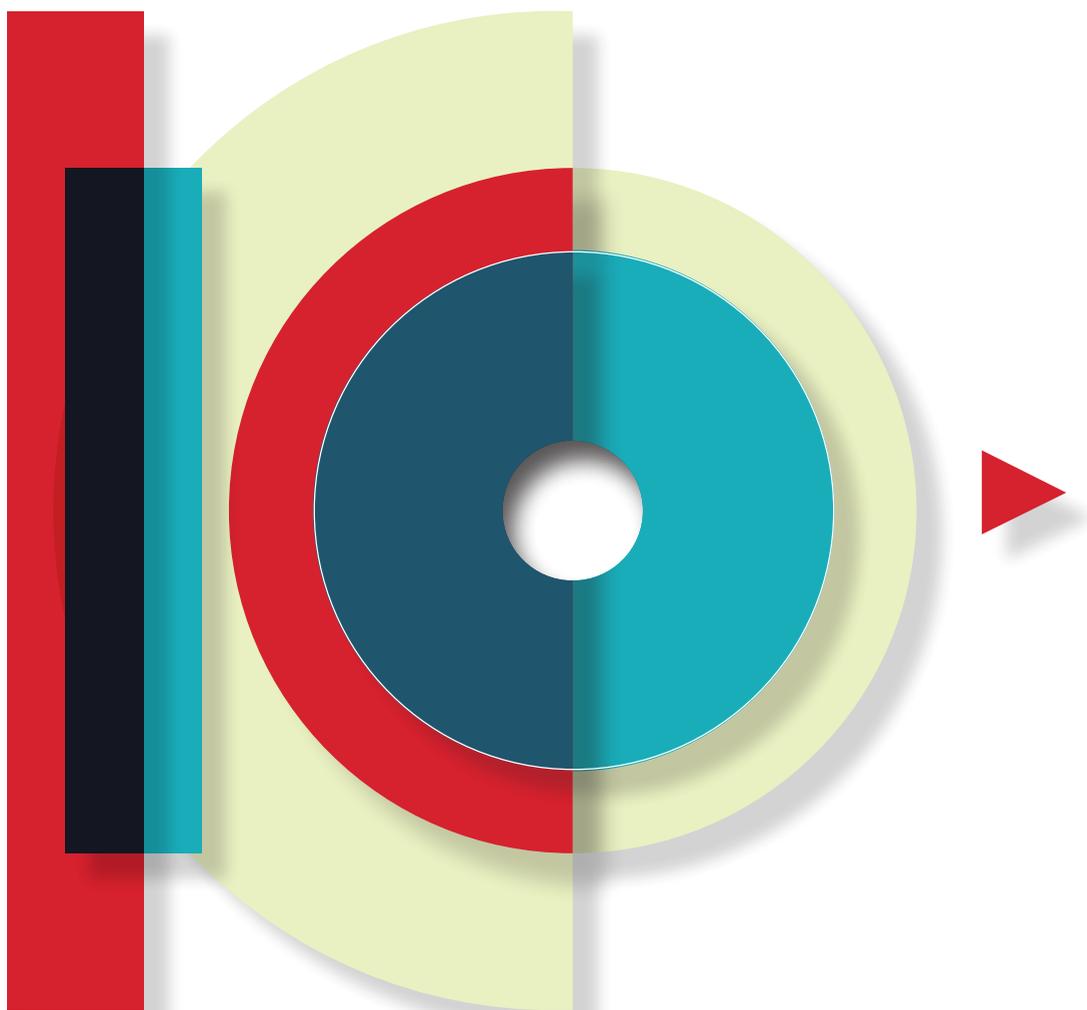
точным измерениям времени и расстояния. Подробности — в статье «Кристаллы во времени».

Человека изучают многие науки — биология, антропология, психология и т.д., но только философия позволяет сформировать целостное представление о человеке, его месте в этом мире. О том, чем сегодня занимается эта наука, на какие вызовы времени готова ответить, рассказывает директор Института философии РАН академик А.В. Смирнов в статье «Новое измерение в науке».

Современные генетические технологии позволяют внедряться в биологическую природу человека. Генная терапия, редактирование генома, клонирование и т.д. вызывают огромное количество вопросов и споров: этичны ли такие манипуляции, не опасны ли они для человеческого рода. Читайте об этом в интервью с деканом факультета фундаментальной медицины, директором Института регенеративной медицины МГУ им. М.В. Ломоносова академиком В.А. Ткачуком. ■

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





СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

ЛУЧШАЯ ДЕСЯТКА ТЕХНОЛОГИЙ 2019 ГОДА

Инновационные решения,
способные изменить мир

В недалеком будущем

новые технологии, рассмотренные в этом репортаже, позволят виртуально перемещаться в дальние края и по-настоящему чувствовать рукопожатия и объятия других таких же виртуальных путешественников. Близок и тот день, когда обычным явлением станут роботы-гуманоиды (и анималоиды), предназначенные для общения с людьми; системы, позволяющие определить источник вспышки пищевых отравлений за несколько секунд; микроскопические линзы, которые откроют дорогу для миниатюрных камер и других устройств; прочные биоразлагаемые пластики, которые можно производить из не имеющих иного применения растительных отходов; системы хранения данных на основе ДНК, в которых будет надежно размещаться огромное количество информации; и многое другое.

Вместе с Всемирным экономическим форумом журнал *Scientific American* созвал международную руководящую группу из ведущих экспертов по технологиям, которая приступила к интенсивному процессу отбора десятки новых технологий 2019 г. Запросив рекомендации у специалистов по всему миру, руководящая группа провела оценку поступивших предложений в соответствии с рядом критериев. Способны ли предлагаемые технологии принести значительную пользу обществу и экономике? Могут ли они изменить традиционные способы действий? Находятся ли они на ранних стадиях разработки, но уже привлекают серьезный интерес исследовательских лабораторий, компаний и инвесторов? Велика ли вероятность, что эти технологии найдут широкое применение в последующие несколько лет? Запросив при необходимости дополнительную информацию, группа сформировала окончательный список в ходе четырех виртуальных встреч.

Надеемся, что вам понравится результат, и будем рады вашим откликам.

Мариэтт Ди Кристина и Бернард Мейерсон



ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

БИОПЛАСТИК ДЛЯ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ
РАСТВОРИТЕЛИ И ФЕРМЕНТЫ
ПРЕВРАЩАЮТ ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ
В БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПЛАСТИКИ
БОЛЕЕ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

Хавьер Гарсиа Мартинес

Наша цивилизация построена на пластике. Только в 2014 г. промышленность произвела 311 млн т, а к 2050 г., по оценкам ВЭФ, эта цифра увеличится втрое. Однако менее 15% от этого объема перерабатывается. Большую часть пластика сжигают, размещают на свалках или бросают в окружающей среде, где он может оставаться сотни лет, так как устойчив к микробному разложению. Пластиковый мусор, скапливающийся в океане, ведет к массе отрицательных последствий — от гибели животных, ошибочно принявших его за пищу, до выделения токсичных компонентов. Пластик даже может попасть в наш организм с загрязненной рыбой.

Биоразлагаемые пластики способны снизить остроту этих проблем и способствовать достижению целей «циклической» экономики, в которой пластик создают из биомассы, а потом вновь превращают в нее. Как и обычный пластик, получаемый из нефтепродуктов, биоразлагаемые пластики состоят из полимеров (длинноцепочечных молекул), из которых в жидком состоянии



растворителей, но исследователи продемонстрировали, что, применяя определенные ионные жидкости, безопасные для окружающей среды (состоящие преимущественно из ионов), можно выделить лигнин из древесины и древесных растений. Полученные с помощью генной инженерии ферменты, сходные с ферментами грибов и бактерий, способны расщепить растворенный лигнин на составные элементы.

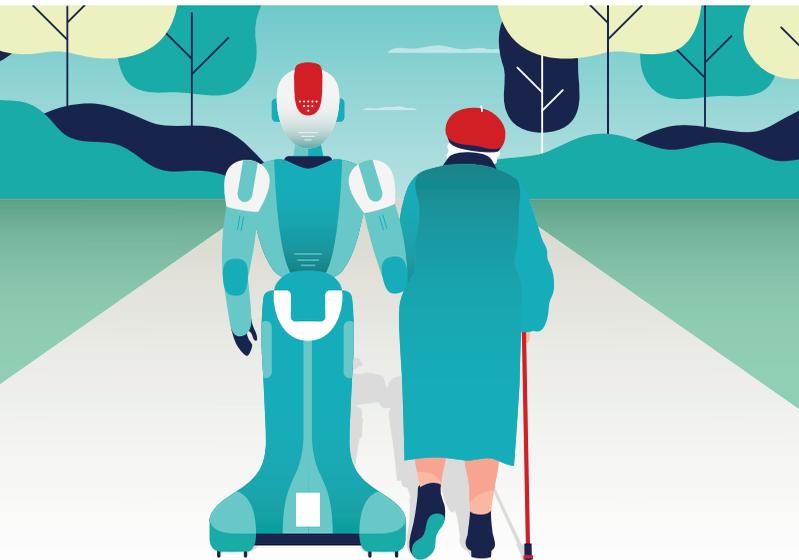
Компании используют эти разработ-

можно отливать разнообразные формы. Тем не менее современные биоразлагаемые пластики, преимущественно получаемые из кукурузы, сахарного тростника или отходов жиров и масел, как правило, не обладают механической прочностью и внешним видом стандартного пластика. Недавний прорыв в сфере производства пластика из целлюлозы и лигнина (сухого вещества из растений), возможно, позволит преодолеть эти недостатки. Кроме того, для окружающей среды благом служит то, что целлюлозу и лигнин можно получать из непищевых растений, таких как арундо тростниковый, выращиваемый на малоплодородных землях, непригодных для продовольственных культур, или из древесных отходов и побочных продуктов сельского хозяйства, не имеющих другого применения.

Целлюлоза, самый распространенный органический полимер на Земле, — основной компонент клеточной стенки растений; лигнин заполняет пространство в клеточных стенках, обеспечивая их прочность и жесткость. Для производства пластика из этих веществ сначала необходимо расщепить их на структурные элементы, или мономеры. Недавно исследователи нашли способы получения мономерных звеньев обоих веществ. Работа с лигнином особенно важна, поскольку в состав его мономеров входят ароматические кольца: такое химическое строение обеспечивает некоторым стандартным пластикам механическую прочность и другие желаемые свойства. Лигнин нерастворим в большинстве

ки. Например, *Chrysalix Technologies*, дочерняя компания Имперского колледжа Лондона, разработала процесс, в котором для выделения целлюлозы и лигнина из исходных материалов используются недорогие ионные жидкости. Финская биотехнологическая компания *MetGen Oy* производит ряд полученных методами генной инженерии ферментов, расщепляющих лигнин разного происхождения на необходимые компоненты, имеющие широкое применение. А компания *Mobius* (прежде называвшаяся *Grow Bioplastics*) разрабатывает пластиковые гранулы на основе лигнина для использования в биоразлагаемых цветочных горшках, мульче и других изделиях.

Необходимо преодолеть много препятствий, прежде чем новые виды пластика получат широкое распространение. Во-первых — высокая стоимость. Во-вторых, необходимо минимизировать объемы используемых земель и воды для производства: даже если лигнин получают только из отходов, для его превращения в пластик требуется вода. Как и в случае с любыми серьезными проблемами, для решения необходима реализация комплекса мер от разработки нормативных документов до добровольного изменения способов применения и ликвидации пластиков. Тем не менее новые методы производства биоразлагаемых пластиков представляют собой идеальный пример того, как безопасные для окружающей среды растворители и эффективные биокатализаторы могут способствовать внедрению принципов экономики замкнутого цикла в крупной отрасли. ■



ТЕХНИКА

СОЦИАЛЬНЫЕ РОБОТЫ

МЕХАНИЧЕСКИЕ ДРУЗЬЯ
И ПОМОЩНИКИ ВСЕ ГЛУБЖЕ
ПРОНИКАЮТ В НАШУ ЖИЗНЬ

Коринна Лэйтан и Джеффри Лин

В промышленности и медицине роботы каждый день выполняют операции по сборке, разборке и проверке изделий; они также ассистируют в хирургии и выдают лекарства по рецепту в аптеках. Ни эти, ни «социальные» роботы, которые предназначены для общения с людьми и установления эмоциональных связей, не ведут себя подобно Розе, горничной Джетсонов из мультфильма, или другим полюбившимся роботам из фантастических историй. И все же ожидается, что усовершенствованные социальные роботы станут более широко использоваться в ближайшие несколько лет. По-видимому, в этой отрасли наступил переломный момент: теперь роботы обладают такими возможностями для интерактивного общения и выполнения полезных задач, как никогда прежде.

Как и большинство роботов, социальные используют искусственный интеллект (ИИ) для принятия решений о том, как действовать, на основе информации, получаемой через камеры и другие сенсоры. Для создания роботов, способных реагировать подобно живым существам, использовались результаты исследований, в которых изучались проблемы формирования восприятия, основы социального и эмоционального интеллекта, а также способности людей делать выводы о мыслях и чувствах других. Достижения в области ИИ дали разработчикам возможность превращать данные психологии и нейробиологии в алгоритмы. Такие алгоритмы позволяют роботам распознавать голоса, лица и эмоции; интерпретировать речь и жесты; отвечать соответствующим образом

на сложные вербальные и невербальные сигналы; устанавливать зрительный контакт; вести беседу и адаптироваться к нуждам людей, извлекая уроки на основе ответной реакции, поощрений и критики.

Как следствие, социальные роботы выполняют все более разнообразные роли. Например, человекоподобный робот высотой 119 см, которого зовут Пеппер (продукт компании *SoftBank Robotics*), распознает лица и основные человеческие эмоции и участвует в беседе с помощью сенсорного экрана в его «груди». Около 15 тыс. Пепперов по всему миру оказывают такие услуги, как регистрация в гостинице, помогают клиентам в аэропортах и покупателям в магазинах и работают за кассой в закусочных. Роботы *Temi* (компания *Temi*, США) и *Loomo* (*Segway Robotics*) — это новое поколение персональных помощников, подобных *Amazon Echo* и *Google Home*, но мобильных и обеспечивающих новый уровень функциональности. Так, *Loomo* не только играет роль компаньона, но и может по команде превратиться в скутер для передвижения.

Социальные роботы особенно привлекательны в качестве помощников для пожилых людей, число которых в мире увеличивается. Терапевтический робот *PARO* (разработан японским Национальным институтом прогрессивной промышленной науки и технологий), выглядящий как симпатичный тюлень, предназначен для повышения активности и снижения стресса у людей, страдающих болезнью Альцгеймера, и других пациентов в учреждениях по уходу: робот откликается на свое имя, двигая головой, и просит его

погладить, издавая звуки. Робот *Mabu* (компания *Catalia Health*) заботится о здоровье пациентов, особенно пожилых, напоминая им о необходимости отправиться на прогулку, принять лекарства и позвонить родным. Социальные роботы также пользуются все большим спросом у потребителей в качестве игрушек. Первые попытки использовать социальное поведение в игрушках, таких как кукла *Baby Alive* компании *Hasbro* и собака-робот *AIBO* компании *Sony*, имели ограниченный успех. Но оба вида игрушек вновь возрождаются, и самая последняя версия *AIBO* обладает сложным голосом, распознает жесты, ее можно научить трюкам и у нее формируются новые модели поведения на основе прежних взаимодействий.

По оценкам, объем продаж потребительских роботов в 2018 г. достиг \$5,6 млрд, а к концу 2025 г., по прогнозам, рынок вырастет до \$19 млрд и ежегодно будет продаваться более 65 млн роботов. Такая тенденция может показаться неожиданной, если принимать во внимание тот факт, что множество хорошо финансируемых компаний по производству потребительских роботов, например *Jibo* и *Anki*, потерпели неудачу. Однако на замену исчезнувшим роботам выстроилось в очередь огромное количество новых устройств, включая *BUDDY* (компания *Blue Frog Robotics*) — мобильного робота с большими глазами, который играет в игры, а также выполняет функции персонального помощника и обеспечивает домашнюю автоматизацию и безопасность. ■



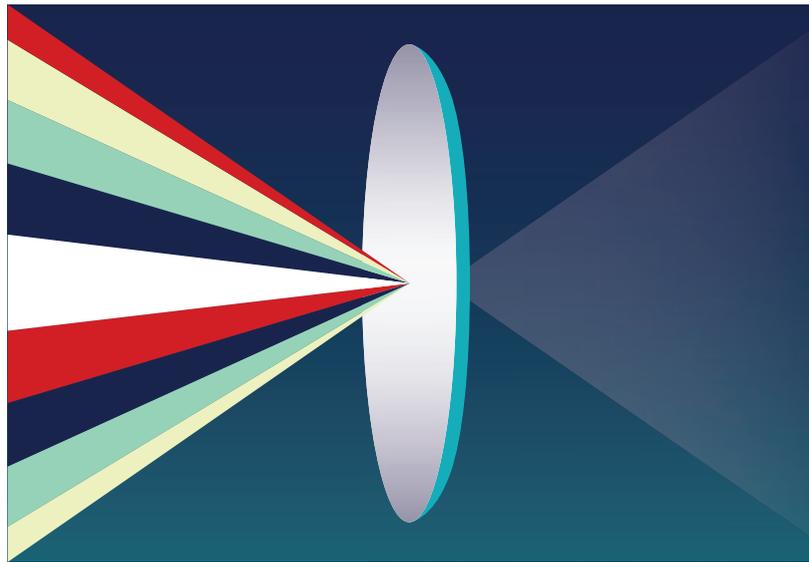
ТЕХНИКА

КРОШЕЧНЫЕ ЛИНЗЫ ДЛЯ МИНИАТЮРНЫХ УСТРОЙСТВ

ТОНКИЕ ПЛОСКИЕ МЕТАЛИНЗЫ МОГУТ
ЗАМЕНИТЬ ГРОМОЗДКОЕ СТЕКЛО ДЛЯ
МАНИПУЛИРОВАНИЯ СВЕТОМ

Альберто Москателли

В то время как телефоны, компьютеры и другая электроника становятся все меньше, их оптические элементы упорно «отказываются» уменьшаться. Особенно сложно сделать крошечные линзы с использованием традиционных методов обрезки и изгибания стекла, а для точной фокусировки света элементы в стеклянных линзах зачастую должны быть уложены определенным образом. Недавно инженерам удалось многое узнать о физике гораздо более мелкой и легкой альтернативы



стеклянным линзам, известной как металинзы. Использование таких линз предоставляет возможности для дальнейшей миниатюризации микроскопов и другой лабораторной техники, а также потребительских продуктов, таких как камеры, головные гарнитуры виртуальной реальности и оптические сенсоры для интернета вещей. Металинзы также могли бы улучшить функциональность оптических волокон.

Металинза состоит из плоской поверхности толщиной меньше микрометра, покрытой рядом наноструктур в виде столбиков или отверстий. Когда падающий свет попадает на эти элементы, многие его свойства меняются, в том числе поляризация, интенсивность, фаза и направление распространения. Исследователи могут точно располагать наноструктуры, для того чтобы гарантировать,

что свет, выходящий через металинзу, имеет выбранные характеристики. Более того, металинзы настолько тонкие, что их можно располагать одну поверх другой без значительного увеличения размера конечного изделия. Исследователи продемонстрировали оптические устройства, такие как спектрометры и поляриметры, сделанные из набора таких плоских поверхностей.

В 2018 г. ученые совершили серьезный прорыв: им удалось разрешить проблему хроматической аберрации. Когда белый свет проходит через обычную линзу, составляющие его лучи разной длины волны преломляются под разными углами и поэтому фокусируются на разных расстояниях от линзы. Для того чтобы нивелировать этот эффект, в наши дни инженерам приходится укладывать линзы слоями с очень точным совмещением. Теперь единственная металинза может сфокусировать волны разной длины в составе белого света в одной точке. Помимо «ахроматической», ученые разработали металинзы, корректирующие другие аберрации, такие как кома и астигматизм, вызывающие искажения и размытие изображения.

Использование металинз не только позволит уменьшить размер устройств, но и должно в конечном итоге снизить стоимость оптических компонентов, поскольку миниатюрные линзы можно выпускать на том же оборудовании, что уже используется в производстве

полупроводников. Благодаря этой особенности открывается заманчивая перспектива совместного производства оптических и электронных компонентов, скажем, световых сенсоров.

Однако на данный момент затраты все еще велики, поскольку трудно поместить наноразмерные объекты на чип сантиметрового размера. Необходимо обратить внимание и на другие ограничения. Пока металинзы не пропускают свет настолько же эффективно, как обычные линзы, — это важнейшая характеристика для тех областей, где требуются полноцветные изображения. Металинзы также слишком малы для того, чтобы захватывать большое количество света, следовательно, они не подходят, по крайней мере пока, для получения высококачественных фотографий.

Однако в скором времени крошечные линзы, вероятно, найдут применение в более маленьких и простых в изготовлении сенсорах, диагностических аппаратах, таких как устройства для эндоскопической визуализации, и оптоволоконках. Эти области потенциального применения металинз достаточно привлекательны, чтобы исследования получили поддержку правительственных агентств и таких компаний, как *Samsung* и *Google*. Ожидается, что по меньшей мере одна вновь образованная компания, *Metallenz*, выведет металинзы на рынок в ближайшие несколько лет. ■



МЕДИЦИНА И БИОТЕХНОЛОГИЯ

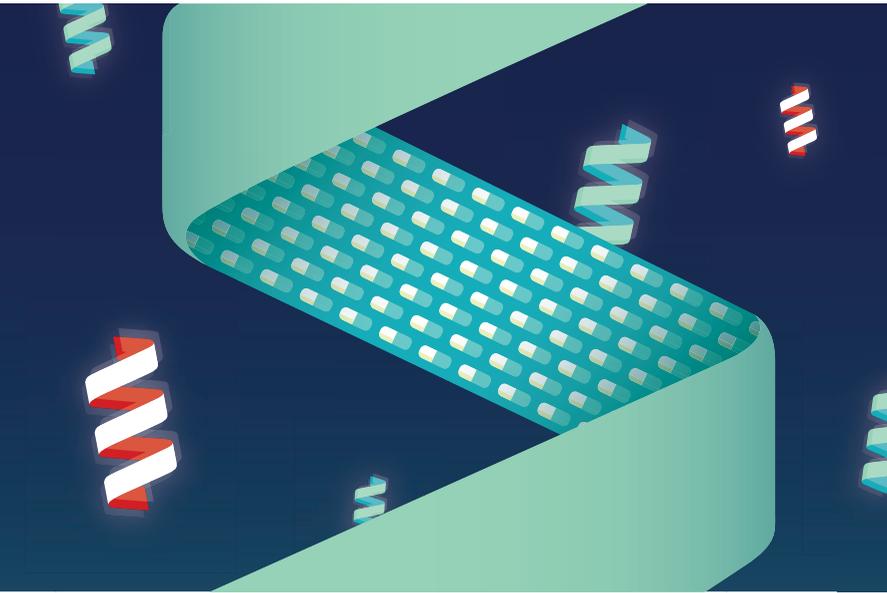
ВНУТРЕННЕ НЕУПОРЯДОЧЕННЫЕ БЕЛКИ КАК МИШЕНИ ДЛЯ ЛЕКАРСТВ

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ
РАКА И ДРУГИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Элизабет О'Дэй

Десятки лет назад ученые выявили особый класс белков, связанных с разными болезнями — от рака до нейродегенеративных заболеваний. Так называемые внутренне неупорядоченные белки (*intrinsically disordered proteins, IDP*) отличались от обычных внутриклеточных белков постоянной структурой и имели вид ансамблей из компонентов с постоянно меняющейся конфигурацией. Оказалось, что такая «свобода» позволяет *IDP* присоединять разные молекулы в критические моменты, например во время ответа клетки на стресс. Менее лабильные белки образуют связи с гораздо меньшим числом соединений. Если *IDP* функционируют неправильно, может развиваться заболевание.

Пока исследователям не удалось синтезировать лекарственные вещества, способные удалять *IDP* или регулировать их функционирование, и многие из них называют не поддающимися воздействию лекарств. Это связано с тем, что для большинства используемых сегодня лекарственных средств нужны мишени со стабильной структурой, а *IDP* не остаются



важные для клетки молекулы, такие как белки и РНК, а другие держат на расстоянии. Близкое расположение молекул облегчает протекание одних реакций, а разделение предотвращает другие. Ученые разработали новые мощные инструменты для манипуляций молекулами — *Corelets* и *CasDrop*, — позволяющие контролировать процесс формирования «капель». Используя эти и другие средства, ученые выяснили, что *IDP*, возможно, помогают контролировать сборку, функционирование и распад «капли».

Это важное открытие, поскольку во время формиро-

вания и распада безмембранной органеллы *IDP* взаимодействуют с различными молекулами и иногда в этот период принимают новые формы. Возможно, проще найти лекарства, которые будут обнаруживать такие конфигурации и связываться с ними, чем заниматься поиском соединений, способных атаковать *IDP* в их другом «обличье». Исследователи по всему миру предпринимают попытки идентифицировать связанные с «каплями» процессы.

Большой интерес вызывает также терапевтический потенциал *IDP*. Биотехнологическая компания *IDP Pharma* занимается созданием белка-ингибитора для лечения множественной миеломы и мелкоклеточного рака легкого. Специалисты *Graffinity Pharmaceuticals* (которая теперь стала дочерней компанией *NovoAlisX*) обнаружили малые молекулы, воздействующие на неупорядоченный тау-белок, который играет важную роль в патогенезе болезни Альцгеймера. *Cantabio Pharmaceuticals* занимается поиском малых молекул, стабилизирующих *IDP*, связанные с нейродегенеративными заболеваниями. А недавно созданная компания *Deupoint Therapeutics* проверяет гипотезу, которая состоит в том, что, поскольку безмембранные органеллы «собирают» молекулы вместе для ускорения реакций, такие «капли» и их внутренне неупорядоченные компоненты можно использовать в качестве мишеней для лекарств. Велика вероятность, что в следующие три-пять лет белки, которые когда-то называли «не поддающимися воздействию лекарств», окажутся в центре внимания фармакоиндустрии. ■

Этот список будет расти, особенно когда выяснится роль *IDP* в функционировании важнейших компонентов клетки — безмембранных органелл. Часто называемые «каплями» или «конденсатами», эти органеллы в нужное время сближают друг с другом жизненно

важные для клетки молекулы, такие как белки и РНК, а другие держат на расстоянии. Близкое расположение молекул облегчает протекание одних реакций, а разделение предотвращает другие. Ученые разработали новые мощные инструменты для манипуляций молекулами — *Corelets* и *CasDrop*, — позволяющие контролировать процесс формирования «капель». Используя эти и другие средства, ученые выяснили, что *IDP*, возможно, помогают контролировать сборку, функционирование и распад «капли».

Это важное открытие, поскольку во время формирования и распада безмембранной органеллы *IDP* взаимодействуют с различными молекулами и иногда в этот период принимают новые формы. Возможно, проще найти лекарства, которые будут обнаруживать такие конфигурации и связываться с ними, чем заниматься поиском соединений, способных атаковать *IDP* в их другом «обличье». Исследователи по всему миру предпринимают попытки идентифицировать связанные с «каплями» процессы.

Большой интерес вызывает также терапевтический потенциал *IDP*. Биотехнологическая компания *IDP Pharma* занимается созданием белка-ингибитора для лечения множественной миеломы и мелкоклеточного рака легкого. Специалисты *Graffinity Pharmaceuticals* (которая теперь стала дочерней компанией *NovoAlisX*) обнаружили малые молекулы, воздействующие на неупорядоченный тау-белок, который играет важную роль в патогенезе болезни Альцгеймера. *Cantabio Pharmaceuticals* занимается поиском малых молекул, стабилизирующих *IDP*, связанные с нейродегенеративными заболеваниями. А недавно созданная компания *Deupoint Therapeutics* проверяет гипотезу, которая состоит в том, что, поскольку безмембранные органеллы «собирают» молекулы вместе для ускорения реакций, такие «капли» и их внутренне неупорядоченные компоненты можно использовать в качестве мишеней для лекарств. Велика вероятность, что в следующие три-пять лет белки, которые когда-то называли «не поддающимися воздействию лекарств», окажутся в центре внимания фармакоиндустрии. ■



ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

«УМНЫЕ» УДОБРЕНИЯ МОГУТ УМЕНЬШИТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

НОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДОСТАВЛЯЮТ
ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА
ПО ТРЕБОВАНИЮ

Джефф Карбек

.....

Для того чтобы прокормить растущее население планеты, земледельцам необходимо увеличить урожайность культур. В этом может помочь более активное использование удобрений. Но стандартные варианты не всегда эффективны и зачастую наносят вред

окружающей среде. К счастью, теперь доступны более экологичные продукты — удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ, — которые становятся все более «умными».

Обычно фермеры вносят удобрения для сельскохозяйственных культур двумя способами. На поля распыляют аммиачные удобрения, мочевины или другие вещества, которые при взаимодействии с водой образуют усваиваемые соединения азота. В почву также добавляют гранулы карбоната калия (поташа) и других неорганических соединений для обеспечения растений калием, фосфором и другими элементами, тоже при реакции с водой. Однако в растения поступает относительно малое количество этих питательных веществ. Значительная часть азота попадает в атмосферу в виде парниковых газов, а фосфор оказывается в водоемах, зачастую вызывая бурный рост водорослей и других организмов. Напротив, использование препаратов с контролируемым высвобождением обеспечивает поступление гораздо большего объема питательных веществ в растения, что приводит к более высоким урожаям при меньшем количестве удобрений.

Уже некоторое время продаются препараты из класса удобрений с медленным высвобождением. Такие удобрения обычно состоят из крошечных капсул, наполненных соединениями, содержащими азот, фосфор и другие желаемые питательные вещества. Внешняя оболочка замедляет как скорость доступа воды для растворения внутреннего содержимого, так и скорость высвобождения конечных продуктов из капсулы. В результате питательные вещества выделяются постепенно, а не расточительным быстрым потоком, который не может эффективно абсорбироваться. В новых препаратах используют соединения, еще больше замедляющие поступление питательных веществ за счет торможения превращения исходных материалов, таких как мочевина, в необходимые для растений соединения.

Недавно были разработаны удобрения, более соответствующие описанию «с контролируемым высвобождением». Это стало возможно благодаря сложным материалам и способам производства, позволяющим «настраивать» оболочки так, что они меняют скорость высвобождения питательных веществ нужным образом в зависимости от изменения температуры, кислотности и влажности почвы. Сочетая разные типы соответствующих капсул, изготовитель может создавать удобрения, предназначенные для

нужд конкретных культур или условий выращивания. Некоторые компании, такие как *Haifa Group* и *ICL Specialty Fertilizers*, предлагают более точный контроль. Например, *Haifa Group* связывает скорость высвобождения питательных веществ исключительно с температурой: когда температура повышается, скорости роста растений и выделения в почву питательных веществ увеличиваются одновременно.

Несмотря на то что препараты с контролируемым высвобождением более эффективны, отрицательные стороны использования удобрений не исключаются полностью. Такие удобрения по-прежнему содержат аммиак, мочевины и карбонат калия, а для их производства требуются большие затраты энергии, следовательно, вносится вклад в рост выбросов парниковых газов и изменение климата. Тем не менее этот эффект можно уменьшить за счет использования более безопасных для окружающей среды источников азота и включения микроорганизмов, увеличивающих эффективность поглощения азота и фосфора растениями. Не существует данных о том, что материал, из которого состоят оболочки, наносит вред окружающей

среде, но такой риск необходимо оценивать каждый раз, когда новые вещества начинают применять в больших объемах.

Удобрения с контролируемым высвобождением — часть экологически безопасного подхода к ведению сельского хозяйства, который называется точным земледелием. При таком подходе повышается урожайность культур и минимизируется выход питательных веществ за счет сочетания анализа данных, искусственного интеллекта и различных сенсорных систем для определения точного количества удобрения и воды, необходимых растению в определенное время, и применения автономных устройств для доставки питательных веществ в заданных количествах в нужном месте. Однако установка точных систем стоит дорого, поэтому они, как правило, используются для земледелия в крупных масштабах. По сравнению с такими системами усовершенствованные удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ относительно недороги, и их применение могло бы стать основным способом, с помощью которого фермеры смогут безопасно для окружающей среды повысить урожайность культур. ■



ИНФОРМАТИКА

СОВМЕСТНОЕ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЕ

УЧАСТНИКИ ВИРТУАЛЬНЫХ ВСТРЕЧ БУДУТ ЧУВСТВОВАТЬ, БУДТО ОНИ ФИЗИЧЕСКИ НАХОДЯТСЯ РЯДОМ

Коринна Лэйтан и Эндрю Мэйнард

Представьте группу людей в разных частях света, спокойно общающихся так, будто они физически находятся вместе, вплоть до того что способны почувствовать прикосновение. Компоненты, которые сделают возможным такое «совместное телеприсутствие», могут

трансформировать способы нашей совместной работы и игр, при этом физическое местонахождение станет несущественным.

Приложения для видеосвязи, подобные *Skype* и *FaceTime*, превратили то, что когда-то относилось только к сфере бизнеса, в широкодоступные возможности для обычных потребителей, а глобальные многопользовательские онлайн-игры изменили способы общения людей через интернет. Точно так же совместное телеприсутствие может трансформировать особенности виртуального взаимодействия людей в деловой и обычной жизни. Медицинские учреждения смогут удаленно работать с пациентами так, будто они присутствуют в том же помещении. А друзья и члены семьи будут иметь возможность наслаждаться совместным времяпрепровождением, например собравшись в уютном доме или путешествуя по миру, даже если они в действительности находятся в разных местах.

Прогресс в нескольких областях сделал такую перспективу реальной. Технологии дополненной и виртуальной реальности уже становятся достаточно совершенными и доступными, чтобы получить широкое распространение. Телекоммуникационные компании внедряют сети 5G, достаточно быстрые, чтобы передавать массивы данных от совокупности

продвинутых сенсоров без задержки по времени. Новаторы совершенствуют технологии, позволяющие людям физически взаимодействовать, находясь в удаленных районах, в том числе тактильные сенсоры, благодаря которым становится возможным чувствовать, к чему прикасаются роботы-аватары. Для полного сенсорного погружения, которое предполагается при совместном телеприсутствии, потребуется значительно меньше время запыживания по сравнению с допустимым для видеозвонков — и иногда с этим трудно справиться даже 5G-сетям, — но алгоритмы ИИ, в частности прогнозирования, могли бы сделать временные разрывы незаметными для пользователя.

Несмотря на то что технология совместного телеприсутствия только начинает разви-

ваться, уже имеются все условия, чтобы в течение трех-пяти лет она стала трансформирующей мир. Например, *Microsoft* и другие компании уже инвестируют в разработки, которые, по прогнозам, к 2025 г. станут основой мультимиллиардной индустрии. А Фонд *XPRIZE* организовал конкурс *ANA Avatar XPRIZE* (спонсируемый компанией *All Nippon Airways*) с призом в \$10 млн для стимулирования развития технологий, которые будут «передавать чувства и действия, имитируя присутствие человека в удаленном месте в реальном времени, и сделают мир более взаимосвязанным». Ожидается, что, когда все компоненты будут объединены, в повседневной жизни и работе произойдут такие же серьезные изменения, как те, что были вызваны широким распространением смартфонов. ■



ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

УЛУЧШЕННЫЕ ОТСЛЕЖИВАНИЕ И УПАКОВКА ПРОДУКТОВ

СОЧЕТАНИЕ ДВУХ ТЕХНОЛОГИЙ
МОГЛО БЫ ЗНАЧИТЕЛЬНО ПОВЫСИТЬ
БЕЗОПАСНОСТЬ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

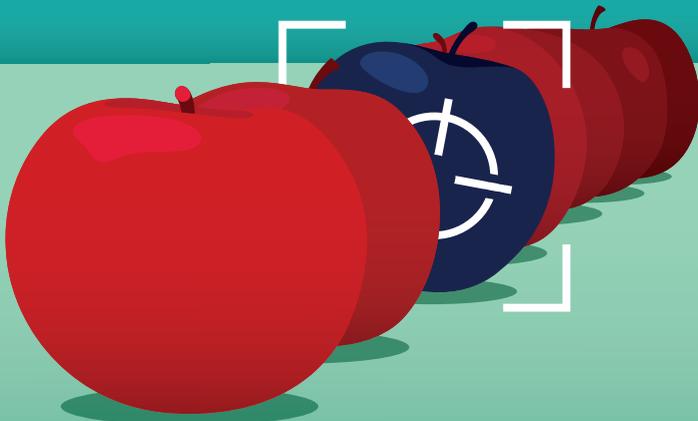
Рона Чандравати и Бернارد Мейерсон

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, ежегодно около 600 млн человек страдает от пищевых отравлений и 420 тыс. погибает. Когда происходит вспышка, исследователи могут потратить дни и недели на определение ее источника. За это время может заболеть еще больше людей, а огромные количества незараженных продуктов могут отбраковать вместе с испортившимися. Поиск источника может быть медленным из-за того, что пищевая продукция проходит сложный путь «от фермы до стола» и записи об этих путешествиях хранятся в местных системах, зачастую не связанных друг с другом.

Совместное использование двух технологий могло бы уменьшить как число пищевых отравлений, так и количество пищевых отходов. Во-первых, новаторское применение технологии блокчейна (более известной в сфере операций с виртуальной валютой) позволяет решить проблему отслеживания. Во-вторых, улучшенная упаковка пищевых продуктов предоставляет новые возможности определять, хранились ли продукты при надлежащих температурах и могли ли они начать портиться.

Блокчейн — децентрализованная система учета, в которой разделы записаны в цепочке из множества идентичных «реестров», хранящихся на компьютерах во многих местах. При такой избыточности фальсификация любого отдельного реестра становится бесполезной и создается высоконадежная запись транзакций. Облачная платформа на основе технологии блокчейн, *IBM Food Trust*, разработанная для пищевой промышленности, уже применяется многими поставщиками продуктов. (Один из авторов этой статьи, Бернارد Мейерсон, работал в *IBM*.)

Объединяя изготовителей и представителей оптовой и розничной торговли в общей системе на основе блокчейн-технологии, *Food Trust* создает заслуживающую доверия запись о пути конкретного продукта от одного до другого конца в цепочке поставок. В ходе теста с использованием такой технологии компания *Walmart* проследила происхождение «зараженного» продукта за несколько секунд; при стандартном сочетании цифровых и бумажных записей на это понадобилось бы несколько дней. Имея подобную возможность, розничные продавцы и рестораны могут исключить из обращения зараженный



Для того чтобы первым делом предотвратить пищевые отравления, исследовательские лаборатории и компании разрабатывают малые датчики, позволяющие проводить мониторинг качества и безопасности пищевой продукции на поддонах, в ящиках или в индивидуальной упаковке. Например, *Timestrip UK* и *Vitsab International* независимо друг от друга создали ярлычки-индикаторы, меняющие цвет, если продукт подвергался воздействию температур выше рекомендованных, а компания *Insignia Technologies* продает датчики, медленно меняющие цвет после вскрытия упаковки и указывающие, когда наступает время выбрасывать продукт. (Цвет меняется быстрее, если продукт не хранился при надлежащей температуре.) Разрабатываются также сенсоры, обнаруживающие газообразные побочные продукты гниения. Помимо предотвращения заболеваний, такие датчики могут снизить объем пищевых отходов, указывая, что продукт безопасен для употребления.

продукт практически немедленно и уничтожить имеющуюся в наличии продукцию, поступающую только из одного источника (скажем, от определенного производителя римского салата-латука), а не уничтожать все запасы конкретного продукта. Многие компании-гиганты, связанные с пищевой промышленностью, — *Walmart*, *Carrefour*, *Sam's Club*, *Albertsons Companies*, *Smithfield Foods*, *BeefChain*, *Wakefern Food* (ее дочерняя компания — *ShopRite*) и *Topco Associates* (организация, занимающаяся групповыми закупками) — присоединились к *IBM Food Trust*. Другие организации также внедряют технологию блокчейн для улучшения прослеживаемости.

Препятствием для повсеместного применения сенсоров служит их цена. Тем не менее необходимость гарантировать безопасность пищевых продуктов и снизить объем пищевых отходов способствует продвижению использования сенсоров и технологии блокчейн в пищевой промышленности. ■



ЭНЕРГЕТИКА

БОЛЕЕ БЕЗОПАСНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

УСТОЙЧИВОЕ К АВАРИЯМ ТОПЛИВО И НОВЫЕ РЕАКТОРЫ СПОСОБНЫ СДЕЛАТЬ ВОЗМОЖНЫМ ВОЗРОЖДЕНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Марк Фишетти

Контроль выбросов углекислого газа в атмосферу потребует сочетания разных технологий получения энергии, в том числе и таких, где используются ядерные реакторы, которые не выступают источником CO_2 , но считаются опасными из-за нескольких крупных аварий. Такой риск можно значительно снизить.

В промышленных ядерных реакторах используется одно и то же топливо в течение десятков лет. Мелкие гранулы диоксида урана уложены в длинные цилиндрические стержни из циркониевого сплава. Цирконий позволяет нейтронам, образующимся в результате деления ядер в гранулах, легко проходить сквозь множество стержней, погруженных в воду внутри активной зоны реактора, обеспечивая самоподдерживающуюся цепную реакцию деления ядер с выделением тепла.

Проблема в том, что если цирконий перегревается, он может вступать в реакцию с водой с выделением водорода, способного взорваться. Такой сценарий реализовался в двух

крупнейших авариях: в 1979 г. на АЭС «Три-Майл Айленд» в США возникла угроза взрыва и произошло частичное расплавление реактора, а в 2011 г. произошли взрывы и утечка радиации на АЭС «Фукусима» в Японии. (Чернобыльская авария 1986 г. была вызвана ошибками при эксплуатации реактора.)

Производители энергии, такие как *Westinghouse Electric Company* и *Framatome*, ускоренными темпами разрабатывают так называемое устойчивое к авариям (толерантное) топливо, вероятность перегрева которого мала, а если даже так происходит, то в результате водород не образуется или образуется в очень малых количествах. В некоторых вариантах используются защитные покрытия циркониевой оболочки для снижения вероятности реакций. В других цирконий и даже диоксид урана заменяются различными материалами. Новые варианты топлива можно поместить в существующие реакторы без серьезных модификаций, поэтому его можно было бы постепенно внедрять в 2020-х гг. Начавшиеся тщательные реакторные испытания должны доказать успешность применения такого топлива, чтобы получить одобрение регуляторов. Кроме того, благодаря новому топливу эксплуатация электростанций может стать более эффективной и атомная энергия станет более конкурентоспособной. Это серьезная мотивация для производителей и электроэнергетических компаний, поскольку природный газ, солнечная и ветровая энергия стоят меньше.

Несмотря на то что в США развитие атомной энергетики останавливается, а в Германии и во многих других странах постепенно прекращается, Россия и Китай активно продолжают строительство. Эти рынки могут стать выгодными для производителей нового топлива.

Россия также применяет другие меры по обеспечению безопасности атомной энергетики: на недавно построенных АЭС на территории страны и за границей госкорпорация «Росатом» использует новые «пассивные» системы безопасности, способные подавить перегревание реактора, даже если электро-снабжение станции прекратилось и активная циркуляция охладителя невозможна. *Westinghouse* и другие компании в своих усовершенствованных разработках также используют элементы пассивных систем безопасности.

Производители атомной энергии проводят эксперименты с моделями реакторов «четвертого поколения», в которых для передачи тепла, выделяющегося в результате деления ядер, вместо воды используются жидкий натрий или расплав солей и таким образом

исключается возможность выделения опасного водорода. Сообщается, что Китай в 2019 г. был намерен подключить к своей энергетической системе демонстрационный гелий-охлаждаемый реактор.

В США отсутствие политической воли в вопросе о постоянном геологическом хранилище глубокого заложения для отработанного ядерного топлива долгое время служило препятствием для развития отрасли. Возможно, настроения меняются. Удивительно, но более десятка американских законодателей недавно предложили меры для повторного запуска процедуры лицензирования хранилища «Юкка-Маунтин» в Неваде, с 1986 г. активно рекламируемого в качестве основного места для захоронения ядерных отходов. Тем временем сенатор от Аляски Лиза Мурковски (*Lisa Murkowski*) выступает за использование очень малых, модульных реакторов, разрабатываемых Национальной лабораторией Айдахо. («Росатом» тоже производит малые реакторы.) А группа западных штатов заключила предварительное соглашение с компанией *NuScale Power* из Орегона на установку десятка модульных реакторов. Улучшенное топливо и все большее распространение малых реакторов могут сыграть важную роль в возрождении атомной энергетики. ■



МЕДИЦИНА И БИОТЕХНОЛОГИЯ

ДНК-ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ

СИСТЕМУ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ АДАПТИРУЮТ ДЛЯ ОПЕРИРОВАНИЯ БОЛЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ ДАННЫХ

Сан Юн Лу

Согласно данным компании-разработчика программного обеспечения *Domo*, в 2018 г. каждую минуту *Google* обрабатывал 3,88 млн поисковых запросов, люди просматривали

4,33 млн видеороликов на *YouTube*, отправляли 159 362 760 сообщений по электронной почте, размещали 473 тыс. сообщений в *Twitter* и 49 тыс. фотографий в *Instagram*. По оценкам, к 2020 г. по всему миру будет создаваться по 1,7 Мб информации в секунду на одного человека, и эта цифра превращается в примерно 418 зеттабайт в год (418 млрд жестких дисков емкостью 1 Тб) при условии, что численность населения планеты составляет 7,8 млрд человек. Магнитные и оптические системы хранения данных, на которых в настоящее время размещен этот объем нулей и единиц, прослужат в лучшем случае не больше 100 лет. Кроме того, работающие центры обработки данных потребляют огромное количество энергии. Словом, перед нами встает серьезная проблема с хранением данных, которая со временем будет только усугубляться.

Сегодня успешно разрабатывается альтернатива жестким дискам: накопитель на основе ДНК — длинной биомолекулы, состоящей из нуклеотидов А, Т, С и G. Этот генетический материал содержит всю информацию о живых организмах. Данные можно хранить в последовательности этих «букв», превратив ДНК в новую форму информационных технологий. Уже сейчас ДНК легко секвенируют (считывают), синтезируют (записывают) и безошибочно копируют. Эта макромолекула невероятно стабильна, как показало секвенирование всего генома лошади, жившей более 500 тыс. лет назад. И хранение ДНК не требует больших затрат энергии.

Но что поражает больше всего — так это информационная емкость ДНК: в ней размещено огромное количество данных с плотностью, намного превосходящей таковую в электронных устройствах. Например, согласно расчетам Джорджа Черча (George Church) с коллегами из Гарвардского университета, опубликованным в 2016 г. в *Nature Materials*, простая бактерия *Escherichia coli* обладает плотностью размещения информации около 10^{19} бит на 1 см^3 . При такой плотности куб ДНК со стороной примерно в 1 м вполне удовлетворял бы современной ежегодной потребности в хранении данных со всего мира.

Перспектива создания накопителей на основе ДНК существует не только в теории. Так, в 2017 г. группа под руководством Джорджа Черча в Гарварде использовала CRISPR-технологии редактирования ДНК для записи изображений человеческой руки на основе генома *E. coli*, которые были считаны с точностью, превышающей 90%. Исследователи из Вашингтонского университета и *Microsoft Research* разработали полностью автоматизированную

систему для записи, хранения и чтения данных, закодированных в ДНК. Ряд компаний, в том числе *Microsoft* и *Twist Bioscience*, работают над продвижением технологии хранения информации на основе ДНК.

Тем временем ДНК уже используется для манипулирования данными, но другим способом. Речь идет о тех исследователях, кто старается разобраться с огромными объемами информации. Недавние успехи в секвенировании ДНК позволяют одновременно считывать миллиарды нуклеотидных последовательностей. Получив такую возможность, ученые могут применить штрихкодирование (использовать последовательности ДНК в качестве молекулярных идентификационных «меток») для отслеживания результатов экспериментов. Использование ДНК-штрихкодирования значительно ускоряет исследования в таких

Широкому внедрению накопителей информации на основе ДНК пока препятствуют высокие издержки и низкая скорость считывания и записи генетической информации

областях, как химическая инженерия, материаловедение и нанотехнологии. Например, сотрудники лаборатории Джеймса Далмана (James E. Dahlman) в Технологическом институте Джорджии могут быстро определить, какая генная терапия более безопасна; другие исследователи пытаются выяснить, как преодолеть резистентность к лекарствам и предотвратить образование метастазов при онкологических заболеваниях.

К проблемам, препятствующим широкому внедрению накопителей информации на основе ДНК, относятся, в частности, высокие издержки и низкая скорость считывания и записи генетической информации. Эти проблемы необходимо решить, чтобы такой способ хранения информации мог конкурировать со способами, основанными на электронных накопителях. Даже если ДНК не станет повсеместно распространенным носителем для хранения данных, почти наверняка она найдет применение как генератор информации в совершенно иных масштабах и для длительного хранения определенных видов данных. ■



ЭНЕРГЕТИКА

АККУМУЛИРОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ

ПРЕПЯТСТВИЯ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ НАЧИНАЮТ ИСЧЕЗАТЬ

Андреа Томпсон

Способы получения электричества во всем мире быстро меняются. Эта тенденция связана и с растущей необходимостью снижения выбросов парниковых газов от энергетических систем, и с резким удешевлением технологий, использующих энергию ветра и солнца. Согласно данным Управления по информации в области энергетики (EIA), за прошедшее десятилетие объемы электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников, в США выросли вдвое, в основном за счет солнечных и ветровых энергетических установок. По прогнозу EIA, сделанному в январе 2019 г., доля в электроэнергетике различных возобновляемых источников энергии (за исключением использующих энергию воды) быстро вырастет в следующие два года. Однако неустойчивый характер таких источников означает, что электростанциям необходим способ хранения энергии на случай, когда солнце не светит и не дует ветер. Такая необходимость повышает интерес к технологиям аккумулирования энергии, в частности к литий-ионным аккумуляторам, которые в конечном итоге должны сыграть не последнюю роль в энергосистеме.

В США основным средством для аккумулирования энергии в больших масштабах

десятилетиями служили гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), в основе функционирования которых лежит простой процесс с использованием бассейнов, расположенных на разной высоте. Для аккумулирования энергии вода насосами закачивается в верхний бассейн, а когда эта энергия становится нужна, воду спускают в нижний бассейн, пропуская ее через турбину. По данным Министерства энергетики, в настоящее время в США на ГАЭС приходится 95% энергии, аккумулируемой в промышленных масштабах. Однако с увеличением эффективности и надежности и снижением издержек производства литий-ионных аккумуляторов объемы их применения резко возросли. По оценкам, на литий-ионные аккумуляторы в США приходится 80% электроэнергии, запасаемой в промышленных масштабах в виде батарей: количество резко выросло с нескольких мегаватт десятилетие назад до 866 МВт к февралю 2019 г., сообщает EIA. Согласно результатам анализа, проведенного *Bloomberg New Energy Finance* в марте 2019 г., стоимость электроэнергии от таких аккумуляторов с 2012 г. упала на 76%, поэтому они почти могут составить конкуренцию электростанциям, работающим на природном газе и запускаемым при высокой потребности в электроэнергии. К настоящему времени, хотя аккумуляторы применяются преимущественно для кратковременного быстрого регулирования и поддержания уровня мощности, энергосистемы в нескольких штатах, в том числе во Флориде и Калифорнии, используют литий-ионные аккумуляторы, способные проработать от двух до четырех часов. По проведенной ранее оценке фирмы *Wood Mackenzie*, занимающейся исследованиями в области энергетики, в 2019 г. рынок систем накопления электроэнергии должен был увеличиться вдвое по сравнению с 2018 г., а в 2020 г. — втрое по сравнению с 2019 г.

По мнению экспертов, литий-ионные технологии, вероятно, станут доминирующими в ближайшие пять-десять лет, а дальнейшее усовершенствование приведет к появлению батарей, ресурса которых хватит на четыре-восемь часов — достаточно долгое время, чтобы, например, переключить системы с использованием солнечной энергии на вечерний пик нагрузки.

Однако для того чтобы возобновляемые источники энергии и системы накопления использовались при генерации электроэнергии в базовом режиме нагрузки, понадобятся системы аккумулирования с длительным временем хранения, следовательно, литий-ионные батареи уже не подойдут. Потенциальных

кандидатов много: от других высокотехнологичных решений, например жидкостных аккумуляторов, в которых циркулируют жидкие электролиты, и водородных топливных элементов, до более простых концепций, таких как ГАЭС и гравитационные накопители. Электроэнергия от ГАЭС дешева, но для их строительства требуются большие затраты, к тому же ГАЭС можно использовать только в определенной местности. Настолько же проста концепция гравитационных накопителей, принцип действия которых заключается в аккумулировании энергии при подъеме тяжелого блока, который затем опускают, приводя в движение турбину для генерации электричества. Несмотря на то что несколько компаний работают над этой проблемой и привлекли инвестиции, идея пока не получила распространения. Другие возможные варианты все еще находятся в стадии разработки: необходимо, чтобы они были достаточно надежны, эффективны и более конкурентоспособны по сравнению с литий-ионными аккумуляторами. По данным EIA, в США к концу 2017 г. были введены в эксплуатацию только три системы накопления энергии в промышленных масштабах на базе жидкостных батарей, а водородные системы остаются на стадии демонстрации. Правительство США финансирует

ряд работ в этой сфере, в частности через Агентство передовых исследований в области энергетики (ARPA-E), но больше всего в подобные технологии и в целом в системы накопления электроэнергии инвестируют Китай и Южная Корея, которые также активизировали исследования в сфере аккумулирования энергии.

Неясно, будет ли и дальше снижаться стоимость аккумулирования энергии и насколько. Тем не менее обязательства правительств (включая и местные администрации в США) добиться производства электроэнергии без выбросов CO₂ будут служить постоянным стимулом для внедрения все большего числа систем аккумулирования энергии. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Данкер К., Кривацки Р. Контролируемый хаос в белковом царстве // ВМН, № 8, 2011.
- Фэйрли П. Создание «умных» сетей электропередачи // ВМН, № 8–9, 2018.
- Маккаллум Р. Переделать реактор // ВМН, № 7, 2019.
- Далман Д. Все данные мира в одном яйце // ВМН, № 8–9, 2019.
- The Top 10 Emerging Technologies of 2018. Scientific American and World Economic Forum, December 2018.

УЧАСТНИКИ РУКОВОДЯЩЕЙ ГРУППЫ ПО НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Мариэтт Ди Кристина (Mariette DiChristina) — председатель руководящей группы, декан Колледжа связи Бостонского университета, почетный редактор журнала *Scientific American*.

Бернард Мейерсон (Bernard S. Meyerson) — заместитель председателя руководящей группы, почетный руководитель отдела инноваций в компании *IBM*, член Национальной инженерной академии США, обладатель ряда наград за работы в области физики, инженерии и бизнеса. В 2014–2016 гг. — председатель Метасовета ВЭФ по новым технологиям; в 2016–2018 гг. — председатель Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области передовых материалов. Он продолжает участвовать в некоторых программах ВЭФ, таких как «Будущее производства в США» и «Целевые инновации: укрепление продовольственных систем с помощью технологий».

Джефф Карбек (Jeff Carbeck) — основатель нескольких компаний, генеральный директор компании *IOEQS*, объединяющей независимых ведущих консультантов и специалистов

из отдельных отраслей для того, чтобы помочь организациям повысить производительность и эффективность. В 2016–2018 гг. работал в Глобальном совете ВЭФ по вопросам будущего в области передовых материалов, соучредитель компании *MC10*, выбранной ВЭФ «Пионером технологий».

Рона Чандравати (Rona Chandrawati) — старший преподаватель и глава лаборатории «Нанотехнология для продовольствия и медицины» в Университете Нового Южного Уэльса в Австралии; занимается разработкой колориметрических наносенсоров для диагностики заболеваний, обеспечения безопасности пищевых продуктов и мониторинга окружающей среды. Рона вошла в число «Молодых ученых ВЭФ — 2018», работала в Глобальном совете ВЭФ по вопросам будущего в области биотехнологий, член Сети экспертов ВЭФ.

Сет Флетчер (Seth Fletcher) — руководитель отдела редакции журнала *Scientific American*, автор книги «Тень Эйнштейна» (*Einstein's Shadow*).

Хавьер Гарсиа Мартинес (Javier Garcia Martinez) — профессор неорганической химии и руководитель Лаборатории молекулярной нанотехнологии Университета Аликанте в Испании; сооснователь компании *Rive Technology*, член исполнительного комитета ИЮПАК, входит в список «Молодые мировые лидеры» ВЭФ и в состав Сети экспертов ВЭФ. Автор книг, в том числе «Нанотехнологии для решения проблем энергетики» (*Nanotechnology for Energy Challenge*) и «Химический элемент: вклад химии в наше общее будущее» (*The Chemical Element: Chemistry's Contribution to Our Global Future*).

Хироаки Китано (Hiroaki Kitano) — эксперт по искусственному интеллекту и системной биологии, президент и исполнительный директор *Sony Computer Science Laboratories* и глава Института системной биологии в Токио. В 2016–2019 гг. работал в нескольких Глобальных советах ВЭФ по вопросам будущего, в том числе в Совете по искусственному интеллекту и робототехнике.

Коринна Лэйтан (Corinna E. Lathan) — сооснователь и генеральный директор *AnthroTropolis*, научно-исследовательской компании в области биомедицинской инженерии, которая занимается созданием продуктов в сфере цифровой медицины, переносных устройств, робототехники и технологий дополненной реальности; член совета директоров *PTC*, компании-провайдера интернета вещей и платформ дополненной реальности. Лэйтан входит в список «Молодые мировые лидеры» и «Пионер технологий» ВЭФ. В 2016–2018 гг. была председателем Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области расширения возможностей человека, в настоящее время член Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области здорового долголетия и расширения возможностей человека.

Джеффри Лин (Geoffrey Ling) — полковник армии США в отставке, профессор неврологии Военно-медицинского университета и Университета Джона Хопкинса; партнер в компании *Ling and Associates*; временно занимает должность заместителя руководителя исследований в области нейробиологии Медицинского центра *Inova Fairfax*; эксперт в области разработки технологий и перехода к промышленному производству. Занимал руководящие должности в Управлении перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (*DARPA*) и в Управлении по научно-технической политике Белого

дома (при администрации Барака Обамы), входил в состав Совета ВЭФ по нейротехнологиям (2016–2018).

Эндрю Мэйнард (Andrew Maynard) — руководитель лаборатории по оценке риска инноваций Университета штата Аризона, автор книги «Кино из будущего: технология и мораль научно-фантастических фильмов» (*Films from the Future: The Technology and Morality of Sci-Fi Movies*). Его работа посвящена проблемам ответственного подхода к разработке и использованию новых технологий. В настоящее время Эндрю работает в Глобальном совете ВЭФ по вопросам будущего в области гибкого управления.

Элизабет О'Дэй (Elizabeth O'Day) — основатель и генеральный директор компании прецизионной медицины *Olaris Therapeutics* в Кеймбридже, штат Массачусетс; сопредседатель Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области биотехнологий. О'Дэй — основатель компаний *Lizzard Fashion* и *Projecto Chispa*, программы «Женщины в науке и технологиях» и сети *PhiSB*.

Сан Юп Ли (Sang Yup Lee) — почетный профессор химической и биомолекулярной инженерии Корейского института науки и технологий (*KAIST*), ректор институтов *KAIST*; сопредседатель Глобального совета ВЭФ по вопросам будущего в области биотехнологий с 2016 г.; обладатель более 630 патентов.

ПРИГЛАШЕННЫЕ АВТОРЫ

Марк Фишетти (Mark Fischetti) — старший редактор журнала *Scientific American*, освещает вопросы устойчивого развития.

Альберто Москателли (Alberto Moscatelli) — старший редактор журнала *Nature Nanotechnology*; рассматривает рукописи на разные темы, в том числе в сфере нанофотоники; имеет степень Колумбийского университета в области фотохимии.

Андреа Томпсон (Andrea Thompson) — помощник редактора журнала *Scientific American*, освещает проблемы устойчивого развития.



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

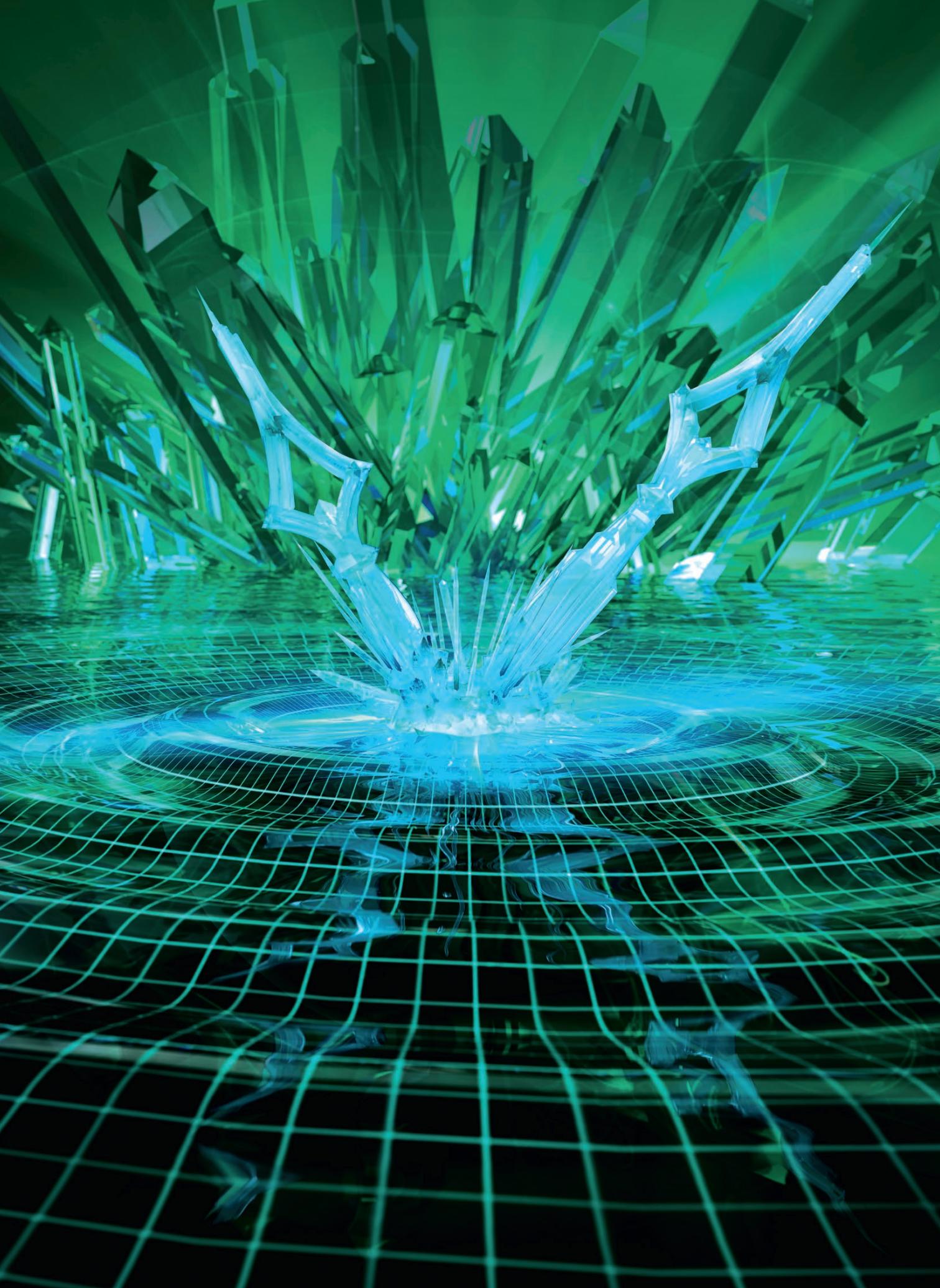
ФИЗИКА

КРИСТАЛЛЫ ВО ВРЕМЕНИ

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

Фрэнк Вильчек





ОБ АВТОРЕ

Фрэнк Вильчек (Frank Wilczek) — физик-теоретик из Массачусетского технологического института. Получил Нобелевскую премию 2004 г. за свои работы в области теории сильных взаимодействий, а в 2012 г. предложил концепцию временных кристаллов.



КРИСТАЛЛЫ

 — наиболее упорядоченное состояние материи в природе, внутри них атомы и молекулы выстроены в регулярные, повторяющиеся структуры и образуют твердые тела, которые стабильны и прочны — и часто красивы внешне.

Люди считали кристаллы восхитительными, привлекательными, часто даже драгоценными еще в те времена, когда современной науки не было и в помине. В XIX в. научные поиски с целью классификации форм кристаллов и попытки понять их воздействие на световой луч стали катализатором значительного прогресса в математике и физике. Затем, в XX в., изучение фундаментальных основ квантовой механики электронов в кристаллах привело непосредственно к появлению современной полупроводниковой электроники и в конечном итоге к смартфонам и интернету.

Следующий шаг в понимании кристаллов случился сейчас благодаря принципу, который возник из теории относительности Альберта Эйнштейна: пространство и время неразрывно связаны — и, самое главное, на равных основаниях. Таким образом, естественно задаться вопросом, действительно ли любой объект демонстрирует свойства во времени, аналогичные свойствам в пространстве. Исследуя этот вопрос, мы открыли «временные кристаллы». А новая концепция вместе с растущим классом новых материалов, которые соответствуют ей, привела к захватывающим догадкам в физике, а также возможности новых приложений, включая часы, которые точнее, чем любые из существующих ныне.

Симметрия

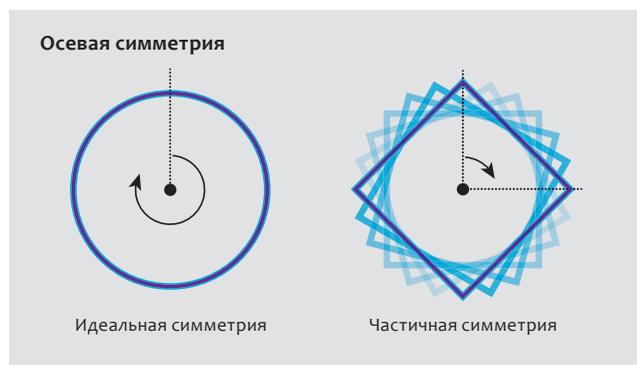
Прежде чем объяснить новую идею в целом, я должен прояснить, что именно включает в себя понятие «кристалл». Самый плодотворный для научных задач ответ содержится в двух глубоких понятиях: «симметрия» и «спонтанное нарушение симметрии». В широком общепотребительном смысле слово «симметрия» означает баланс, гармонию или даже справедливость. В физике и математике его значению присущ более точный характер. Мы говорим, что объект симметричен или имеет симметрию, если существует преобразование, которое могло бы его изменить, но не меняет.

Это определение на первый взгляд, возможно, покажется странным и абстрактным, поэтому

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Кристаллы — это упорядоченные состояния вещества, в которых расположение атомов приобретает вид повторяющейся структуры. На языке физики говорят, что они обладают «спонтанно нарушенной пространственной симметрией».
- Новое понятие «временные кристаллы» подразумевает состояние вещества, структура которого повторяется через установленные интервалы времени, а не пространства. Это системы, в которых спонтанно нарушается временная симметрия.
- Идея временных кристаллов впервые была предложена в 2012 г., а в 2017 г. ученые открыли первые новые материалы, полностью подходящие под эту категорию. Эти материалы и другие, которые последовали, таят обещание создать часы более точные, чем когда-либо.

давайте обратимся к простому примеру: рассмотрим окружность. Когда мы поворачиваем окружность вокруг ее центра на любой угол, визуально она остается той же самой, несмотря даже на то, что каждая ее точка могла переместиться, — у нее идеальная симметрия вращения. У квадрата тоже есть симметрия, но меньшая, чем у окружности, поскольку вам нужно будет повернуть квадрат на полные 90 градусов, прежде чем она восстановит свой первоначальный вид. Эти примеры показывают, что математическое понятие симметрии охватывает существенные стороны ее общепринятого значения, в то же время добавляя такое качество, как строгость.



Второе важное свойство этой формулировки симметрии состоит в том, что ее можно обобщить. Мы можем модифицировать эту идею таким образом, что она станет применима не только к геометрическим фигурам, но и, в более широком смысле, к физическим законам. Мы говорим, что тот или иной закон обладает симметрией, если мы можем изменить контекст, к которому этот закон применяется, не изменяя самого закона. Например, базовая аксиома специальной теории относительности говорит о том, что одни и те же физические законы применимы, когда мы рассматриваем мир с различных платформ, которые движутся с постоянными скоростями относительно друг друга. Таким образом, теория относительности требует, чтобы физические законы демонстрировали определенную симметрию — а именно симметрию относительно преобразований по изменению платформы (*инерциальной системы отсчета*. — Примеч. пер.), которые физики называют бустами (*в англоязычной литературе бустом, или лоренцевским бустом, называют преобразование Лоренца, при котором одна платформа движется относительно другой с постоянной скоростью вдоль оси X, а начала их пространственных координат в начальный момент времени совпадают*. — Примеч. пер.).

Другой класс преобразований важен в случае кристаллов, в том числе и временных кристаллов. Это очень простое и в то же время крайне важное

преобразование, называемое параллельным переносом или трансляционной симметрией. Если теория относительности утверждает, что одни и те же законы применимы для наблюдателей на движущихся платформах, то пространственная трансляционная симметрия утверждает, что одни и те же законы справедливы для наблюдателей на платформах в различных местах. Если вы переместите, или «транслируете», свою лабораторию из одного места в другое, то обнаружите, что одни и те же законы работают и на новом месте. Другими словами, пространственная трансляционная симметрия утверждает, что законы, которые мы открываем в каком-либо месте, применимы в любом другом.

Временная трансляционная симметрия выражает аналогичную идею, но в отношении не пространства, а времени. Она утверждает, что одни и те же законы, с которыми мы работаем сегодня, справедливы также для наблюдателей в прошлом и в будущем. Другими словами, законы, которые мы открываем в любой момент времени, применимы для любого момента времени. С учетом ее основополагающего значения временная трансляционная симметрия заслуживает более привлекательного и краткого названия. Поэтому здесь я буду называть ее «тау» и обозначать греческой буквой τ .

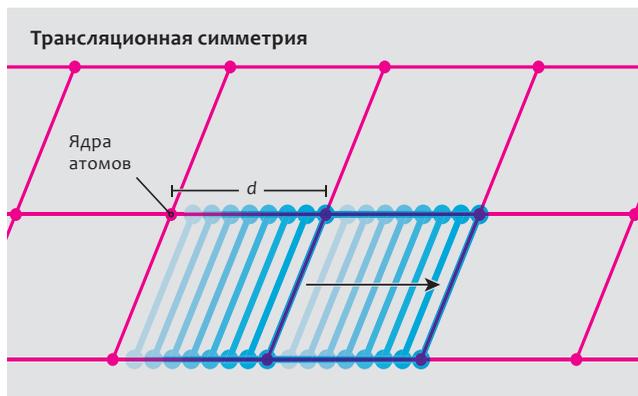
В отсутствие пространственной и временной трансляционной симметрии эксперименты, проведенные в различных местах и в разное время, нельзя было бы воспроизвести. В своей повседневной работе ученые считают эти виды симметрии само собой разумеющимися. Более того, наука, какой мы ее знаем, без них была бы невозможна. Но важно также подчеркнуть, что мы можем проверить пространственную и временную трансляционную симметрию эмпирическим путем. А именно — мы можем наблюдать, как ведут себя далекие астрономические объекты. Такие объекты, очевидно, расположены в различных местах, и благодаря конечной скорости света мы можем наблюдать сегодня, как они вели себя в прошлом. Астрономы весьма детализированно и с высокой точностью определили, что одни и те же законы на самом деле справедливы.

Нарушение симметрии

Несмотря на всю эстетику симметрии кристаллов, для физиков их определяющая характеристика — именно то, каким образом они утрачивают симметрию.

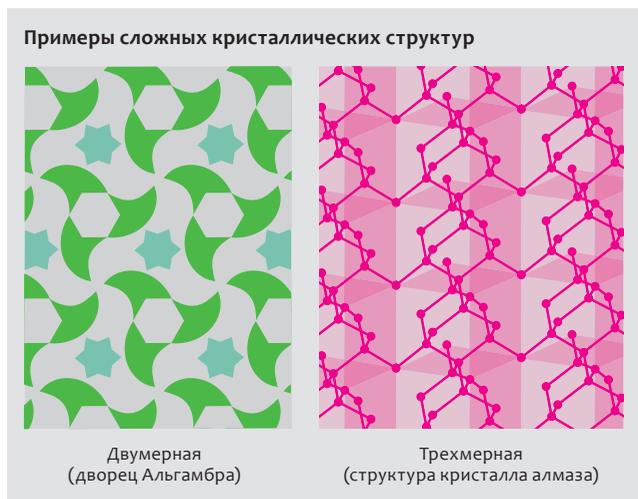
Рассмотрим в достаточной степени идеализированный кристалл. Он будет одномерным, и ядра его атомов будут расположены с регулярными интервалами вдоль прямой и удалены друг от друга на расстояние d . (Их координаты, следовательно, будут nd , где n — целое число.) Если мы сместим этот кристалл вправо на небольшое расстояние, он уже не будет выглядеть как прежде. Только после

того, как мы сместим его на расстояние, точно равное d , мы увидим такой же кристалл. Таким образом, наш идеализированный кристалл имеет меньшую степень пространственной трансляционной симметрии — аналогично тому, как квадрат имеет меньшую степень вращательной симметрии.



Физики говорят, что в кристалле трансляционная симметрия фундаментальных законов «нарушена», что приводит к меньшей степени трансляционной симметрии. Эта остаточная симметрия отражает сущность нашего кристалла. Действительно, если мы знаем, что симметрия кристалла допускает трансляции на величину, кратную расстоянию d , то мы знаем также, где расположить его атомы относительно друг друга.

Картины расположения атомов в кристаллах в двух и трех измерениях могут быть более сложными, и существует множество их разновидностей. Они могут проявлять частично вращательную и частично трансляционную симметрию. Художники XIV в., украшавшие дворец Альгамбра в Гранаде, открыли множество возможных форм двумерных кристаллов благодаря интуиции и экспериментам, а математики в XIX в. классифицировали возможные формы трехмерных кристаллов.



Летом 2011 г. я готовился читать этот изящный раздел математики как часть курса по использованию симметрии в физике. Я всегда стараюсь бросить свежий взгляд на материал лекции, которую собираюсь читать, и, если возможно, внести что-нибудь новое. И тогда мне пришло в голову, что можно обобщить классификацию потенциально реализуемых кристаллических решеток в трехмерном пространстве на кристаллические структуры в четырехмерном пространстве-времени.

Когда я упомянул об этом математическом направлении исследований Альфреду Шапире (Alfred Shapere), моему бывшему студенту, ставшему ценным сотрудником, который сегодня работает в Кентуккийском университете, он посоветовал мне рассмотреть два принципиальных физических вопроса, которые вывели меня к удивительному научному приключению. Вопрос первый: какие системы реального мира могли бы описывать кристаллы в пространстве-времени? Вопрос второй: смогут ли эти структуры привести нас к открытию необычных состояний материи?

Ответ на первый вопрос довольно прост. Если обычные кристаллы — это упорядоченное расположение объектов в пространстве, то пространственно-временные кристаллы — это упорядоченное расположение событий в пространстве-времени.

Как и в случае обычных кристаллов, мы можем получить некоторое представление о них, рассматривая одномерный случай, когда пространственно-временные кристаллы — просто временные кристаллы. Таким образом, мы ищем системы, чьи общие состояния повторяются с регулярными интервалами. Такие системы ошеломляюще знакомы. Например, Земля каждый день повторяет свою ориентацию в пространстве, а система «Земля — Солнце» повторяет свою конфигурацию с интервалом в год. Изобретатели и ученые на протяжении многих десятилетий разрабатывали системы, которые со все большей точностью повторяют свою конфигурацию через равные интервалы, для использования в часах. На смену маятниковым и пружинным пришли часы, основанные на колебаниях (в традиционном смысле) в кристалле, а их в конце концов заменили те, что основаны на колебаниях атомов. Атомные часы достигли невероятной точности, но есть важные причины увеличить ее еще больше — и, возможно, как мы увидим далее, временные кристаллы помогут в этом.

Некоторые хорошо знакомые системы реального мира также воплощают в себе структуры пространственно-временных кристаллов большей размерности. Например, структура, показанная здесь, может представлять собой плоскую звуковую волну, где высота поверхности показывает сжатие как функцию местоположения и времени. Более сложные картины пространственно-временного

кристалла, вероятно, трудно разглядеть в природе, но они могут быть интересной целью для художников и инженеров: представьте себе динамичную Альгамбру на стероидах.

Пространственно-временные кристаллы такого типа при этом просто переупаковывают известные явления под другой торговой маркой. Мы можем продвигаться на действительно новую территорию в физике, обдумывая второй вопрос Шапира. Чтобы это сделать, мы должны теперь привлечь сюда идею спонтанного нарушения симметрии.

Спонтанное нарушение симметрии

Когда жидкость или газ охлаждаются, превращаясь в кристалл, происходит нечто фундаментально замечательное: неожиданное растворение физических законов — кристалл демонстрирует меньшую степень симметрии, чем сами законы. Поскольку это уменьшение степени симметрии вызвано просто понижением температуры, без какого-либо вмешательства извне, мы можем сказать, что при образовании кристалла в материале пространственная трансляционная симметрия нарушается «спонтанно».

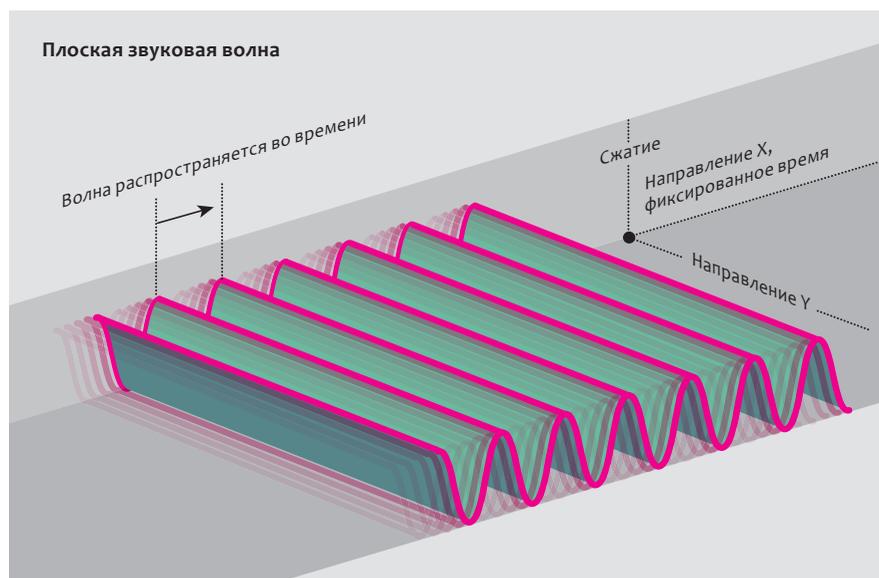
Важная черта кристаллизации — резкое изменение поведения системы, или, на техническом языке, резкий фазовый переход. Выше определенной критической температуры (которая зависит от химического состава системы и внешнего давления) у нас жидкость; ниже ее у нас кристалл — объекты с совершенно разными свойствами. Фазовый переход происходит предсказуемо и сопровождается выделением энергии (в виде тепла). Тот факт, что небольшое изменение окружающих условий заставляет вещество перестроиться в качественно иной материал, не менее примечателен из-за того, что хорошо всем знаком — как в случае воды и льда.

Твердость кристаллов — еще одно неожиданное свойство, которое отличает их от жидкостей и газов. На микроуровне твердость возникает потому, что организованная структура атомов в кристалле сохраняется на больших расстояниях и кристалл сопротивляется попыткам разрушить эту структуру.

Три свойства кристаллизации, которые мы только что рассмотрели, — меньшая степень симметрии, резкий фазовый переход и твердость — тесно связаны. Фундаментальный принцип, лежащий в основе всех трех свойств, заключается в том, что атомы «хотят» образовывать энергетически выгодные структуры. Различные варианты структуры — на научном жаргоне, различные фазы — могут одерживать победу при различных условиях (например, при различных температурах и давлениях). Когда эти условия изменяются, мы часто видим резкий фазовый переход. И поскольку формирование структуры требует коллективного воздействия на часть атомов, выигрывающий вариант будет принудительно применен ко всему материалу, который восстановится в его первоначальное состояние, если выбранная структура будет нарушена.

Поскольку спонтанное нарушение симметрии объединяет такой прекрасный пакет идей и крайне важных следствий, я чувствовал, что важно исследовать возможность того, что и тау-симметрия может нарушаться спонтанно. Когда я записывал эту идею, я объяснил ее суть своей жене Бетси Дивайн (Betsy Devine) так: «Это как кристалл, но во времени». Под впечатлением от моего воодушевления она любопытствовала: «Как ты это называешь?». — «Спонтанное нарушение временной трансляционной симметрии», — ответил я. — «Не годится, — возразила она. — Назови это временным кристаллом». Что я, естественно, и сделал. В 2012 г. я опубликовал две статьи, одну в соавторстве с Шапиром, в которых ввел это понятие. Итак, временной кристалл — это система, в которой спонтанно нарушается t -симметрия.

Кто-нибудь, возможно, удивится, почему потребовалось столько времени, чтобы объединить концепции t и спонтанного нарушения симметрии, учитывая тот факт, что к пониманию их по отдельности пришли уже много лет назад. Все потому, что t отличается от прочих видов симметрии кардинальным образом, и это делает вопрос о ее спонтанном нарушении намного тоньше. Разница возникает



из-за глубокой теоремы, доказанной Эмми Нетер в 1915 г. Теорема Эмми Нетер устанавливает связь между принципами симметрии и законами сохранения — она показывает, что для каждого вида симметрии существует соответствующая величина, которая сохраняется. В приложении к относящемуся к теме этой статьи теорема Нетер утверждает, что t практически эквивалентна сохранению энергии. И наоборот: когда система нарушает t , энергия не сохраняется и она перестает быть удобной характеристикой этой системы. (Точнее: без t вам уже больше нельзя будет получить подобную энергии независимую от времени величину, просуммировав вклады от различных частей системы.)

Легендарная рекламная кампания популяризировала девиз «Бриллианты вечны». Но в правильной атмосфере, если температура достаточно высока, алмаз сгорит, оставив после себя ничем не примечательный пепел

Обычное объяснение того, почему происходит спонтанное нарушение симметрии, состоит в том, что оно может быть энергетически выгодным. Если состояние с самой низкой энергией нарушает пространственную симметрию и энергия системы сохраняется, то состояние с нарушенной симметрией, будучи получено, сохранится. Например, именно так ученые объясняют обычную кристаллизацию.

Но объяснение, базирующееся на энергетических соображениях, не будет работать в случае нарушения t -симметрии, поскольку с нарушением t -симметрии утрачивается подходящая мера энергии. Эта очевидная трудность ставит возможность спонтанного нарушения t -симметрии и связанной с ним концепции временных кристаллов вне понятийного горизонта большинства физиков.

Существует, однако, более общий путь к спонтанному нарушению симметрии, который также применим к нарушению t -симметрии. Вместо спонтанного перестроения в состояние с меньшей энергией материал мог бы перестроиться в состояние, которое более стабильно по другим причинам. Например, упорядоченные структуры, простирающиеся

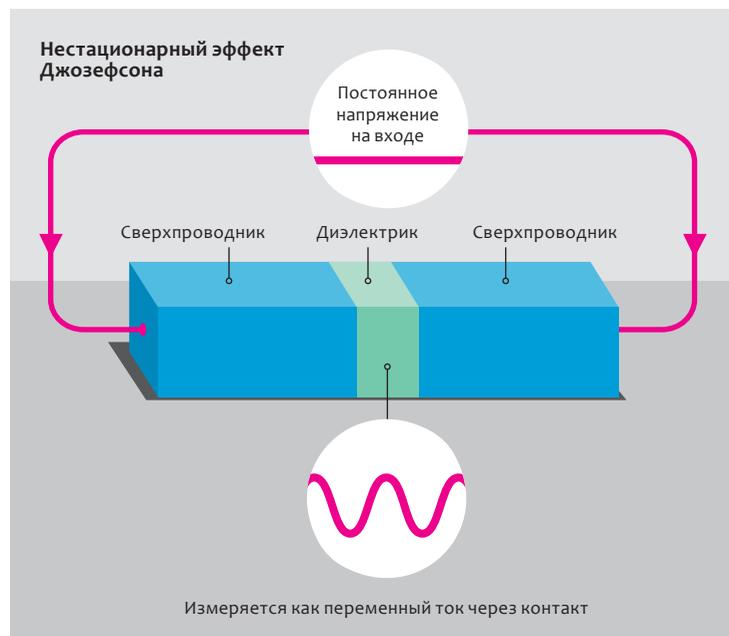
на большое расстояние в пространстве или времени и включающие в себя множество частиц, трудно разрушить, поскольку большая часть разрушающих сил действуют в малых, локальных масштабах. Таким образом, материал мог бы достичь большей стабильности, приобретя новую структуру, которая простиралась бы на больший масштаб, чем в своем предыдущем состоянии.

Безусловно, никакое обычное состояние материи не может противостоять всем дестабилизирующим факторам. Возьмите, например, алмаз. Легендарная рекламная кампания популяризировала девиз «Бриллианты вечны». Но в правильной атмосфере, если температура достаточно высока, алмаз сгорит, оставив после себя ничем не примечательный пепел. Если копнуть глубже, алмазы не представляют собой стабильное состояние углерода при обычных температурах и атмосферном давлении. Они рождаются при намного более высоких давлениях и, образовавшись, сохраняются в течение очень большого времени при обычных давлениях. Но физики путем расчета выяснили, что если ждать очень долго, то ваш бриллиант превратится в графит. Еще менее вероятно, но все-таки возможно, что квантовая флуктуация может превратить ваш бриллиант в крошечную черную дыру. Возможно также, что распад протонов алмаза вызовет его медленную эрозию. На практике то, что мы понимаем под словами «агрегатное состояние» вещества (такого, как алмаз), — это организация вещества, которая имеет приемлемую степень стабильности в значительном диапазоне внешних воздействий.

Старые и новые временные кристаллы

Нестационарный эффект Джозефсона — одна из жемчужин физики, и он служит прототипом для большого семейства временных кристаллов. Он появляется, когда мы прикладываем постоянное напряжение V (разница потенциальной энергии) к изолирующему контакту, разделяющему два сверхпроводящих материала (так называемый джозефсоновский контакт, названный в честь физика Брайана Джозефсона). В этом случае наблюдают, что переменный ток с частотой $2eV/\hbar$ течет через контакт, где e — заряд электрона, а \hbar — редуцированная постоянная Планка (или постоянная Планка — Дирака). Здесь, однако, физическая установка не изменяется во времени (другими словами, она не нарушает t), результирующее поведение системы не изменяется со временем. Идеальная трансляционная симметрия времени редуцируется до симметрии временной трансляции с периодом, кратным $\hbar/2eV$. Таким образом, нестационарный эффект Джозефсона служит воплощением фундаментального понятия временного кристалла. Тем не менее в некотором отношении он не идеален. Чтобы поддерживать напряжение, нужно как-то замкнуть цепь и подсоединить

батарею. Но цепи переменного тока имеют свойство рассеивать тепло, и батареи разряжаются. Более того, переменные токи способны излучать электромагнитные волны. По всем этим причинам контакты Джозефсона не идеально стабильны.



Используя различные усовершенствования (такие, как полностью сверхпроводящие цепи, хорошие конденсаторы вместо обычных батареек и экраны, чтобы не позволить излучению выйти наружу), можно существенно снизить влияние этих эффектов. А другие системы, в которых вместо сверхпроводников используются сверхтекучие жидкости или магниты, демонстрируют аналогичные эффекты, одновременно минимизируя эти проблемы. В своей последней работе Николай Прокофьев и Борис Свистунов предложили примеры почти идеальных установок, включая два пересекающихся потока сверхтекучей жидкости.

Углубленные размышления о нарушении τ -симметрии сфокусировали внимание на этих вопросах и привели к открытию новых примеров и к результативным экспериментам. Тем не менее, поскольку центральная физическая идея уже подробно рассмотрена в работе Джозефсона 1962 г., представляется уместным обозначить все это как «старые» временные кристаллы.

О «новых» временных кристаллах было заявлено в номере журнала *Nature* от 9 марта 2017 г., который вышел с роскошным образным рисунком временных кристаллов на обложке, а заголовок гласил «Временные кристаллы: первое наблюдение нового экзотического состояния вещества». В номере были опубликованы две независимые статьи об открытии. В одном эксперименте научная группа под руководством Кристофера Монро (Christopher

Monroe) из Мэрилендского университета в Колледж-Парке создала временной кристалл в сконструированной ими системе — цепи из ионов иттербия. В другой группа Михаила Лукина из Гарвардского университета реализовала временной кристалл в системе многих тысяч дефектов, называемых азотозамещенными вакансиями (или NV-центрами) в алмазе.

В обеих системах направление спина атомов (ионов иттербия в первом и алмазных дефектов во втором) изменялось с регулярной последовательностью и атомы периодически возвращались к своей первоначальной конфигурации. В эксперименте Монро ученые использовали лазеры, чтобы изменить на противоположное направление спинов ионов и скоррелировать в связанные «квантово перепутанные» состояния. В результате, однако, спины ионов начали осциллировать с частотой, равной лишь половине частоты лазерных импульсов. В проекте Лукина ученые использовали СВЧ-импульсы, чтобы изменять направление спинов дефектов в кристалле алмаза. Они наблюдали временные кристаллы в два и три раза длиннее времени между импульсами. Во всех этих экспериментах материалы получали внешнюю стимуляцию — лазерные или СВЧ-импульсы, — но они демонстрировали период, отличный от периода их стимуляции. Другими словами, они спонтанно нарушали временную симметрию.

Эти эксперименты породили в физике материалов направление, которое выросло в отдельную отрасль. Немало материалов, использующих такие же общие принципы (которые впоследствии получили название временных кристаллов Флоке) вышло на сцену с тех пор, и еще больше исследуются в настоящее время.

Существует важное отличие временных кристаллов Флоке от схожих явлений, открытых намного раньше. В частности, в 1831 г. Майкл Фарадей обнаружил, что когда он вертикально встряхивал пробирку с ртутью с периодом T , возникшее в результате течение показывало период $2T$. Но нарушение симметрии в системе Фарадея — и во многих других системах, исследованных впоследствии, до 2017 г., — не допускало четкого разделения между материалом и приводным механизмом (в данном случае акт встряхивания) и не выказывало признаков спонтанного нарушения симметрии. Не удавалось перекрыть перекачку энергии (или, что точнее, энтропии), которая излучалась в виде тепла, от приводного механизма в материал.

Фактически вся система, состоящая из вещества и приводного механизма, — чье поведение, как было отмечено, нельзя четко разделить — просто имеет меньшую степень симметрии, чем

Как сделать временной кристалл

Так же как атомы в обычном кристалле повторяют свою компоновку на протяжении определенного расстояния, временные кристаллы — это состояния вещества, которые повторяются через определенный период времени. Первые новые материалы, которые попадают в эту категорию, были открыты в 2017 г. двумя научными группами, одна под руководством Михаила Лукина из Гарвардского университета, а другая — Кристофера Монро из Мэрилендского университета в Колледж-Парке.

Обычный кристалл: повторение местоположения объектов



Расстояние →

Временной кристалл: повторение событий



Время →

Эксперимент Михаила Лукина

Группа Лукина создала временной кристалл, манипулируя спинами атомов в так называемых центрах азотозамещенных вакансий — атомах примесей в алмазной кристаллической решетке. Ученые периодически освещали алмаз импульсами лазера. Между импульсами спины продолжали взаимодействовать друг с другом. Вся система через определенные промежутки времени повторяла свою общую конфигурацию — но с периодом, отличающимся от периодов между импульсами лазера. Вернее, в системе установился свой собственный временной период с частотой, кратной частоте импульсов.

Время →

Импульс СВЧ

Взаимодействие

Импульс СВЧ



Ориентация спинов азотозамещенных вакансий в алмазе

Противоположная ориентация спинов

приводной механизм, рассматриваемый отдельно. В 2017 г., в отличие от этого, после короткого периода установления вещество перешло в стабильное состояние, в котором больше не обменивалось энергией или энтропией с приводным механизмом. Эта разница едва заметна, но с точки зрения физики крайне важна. Новые временные кристаллы Флоке представляют собой определенные состояния вещества, и они демонстрируют признаки спонтанного нарушения симметрии, в то время как более ранние примеры, хотя и чрезвычайно интересные сами по себе, — нет.

Аналогично вращение Земли и ее обращение вокруг Солнца — не временные кристаллы в этом смысле. Их впечатляющая степень стабильности обусловлена хорошим сохранением энергии и момента импульса. У них нет минимальных значений этих величин, поэтому предыдущие энергетические соображения, объясняющие стабильность, к ним неприменимы; у них нет также протяженной структуры. Но именно благодаря огромным энергиям и моменту импульса в этих системах, чтобы существенно изменить их состояние, требуется либо очень сильное возмущение, либо слабое возмущение, действующее в течение продолжительного времени. И действительно, такие эффекты, как приливы, гравитационное воздействие других планет и даже эволюция Солнца, почти не влияют на эти астрономические системы. Связанные с ними величины, такие как «сутки» и «год», строго говоря, время от времени требуют корректировки.

И наоборот — новые временные кристаллы демонстрируют сильную устойчивость и стабильность своих структур: характеристика, которая позволяет очень точно определять промежутки времени, что может стать ключом к более точным часам. Современные атомные часы демонстрируют чудеса точности, но у них нет гарантированной долговременной стабильности временных кристаллов. Менее громоздкие часы, основанные на новых состояниях материи, вероятно, позволят создать совершенные методы измерения расстояний и времени и найдут применение от более точной системы определения координат до новых способов обнаружения подземных полостей и месторождений минералов по их влиянию на гравитацию и даже для фиксации гравитационных волн. Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) финансирует исследование временных кристаллов, имея

в виду именно такие возможности.

Дао тау

Круг идей и экспериментов вокруг временных кристаллов и спонтанного нарушения τ -симметрии представляет собой предмет в его младенческом состоянии. Есть еще много открытых вопросов и направлений для развития. Одна из текущих задач — расширить реестр физических временных кристаллов, чтобы включить в него более крупные и более удобные образцы и реализовать более широкое множество пространственно-временных

структур как за счет разработки новых материалов для временных кристаллов, так и расширив поиск их в природе. Физики также заинтересованы в изучении и построении теории фазовых переходов, которые переводят вещество в эти состояния и обратно.

Другая задача — детально исследовать физические свойства временных кристаллов (и пространственно-временных кристаллов, в которых спонтанно нарушаются и пространственная симметрия, и t -симметрия). Здесь полупроводниковые кристаллы, упоминавшихся ранее, служат вдохновляющим примером. Какие еще открытия появятся, когда мы будем изучать, как кристаллы изменяют поведение электронов и света, двигающихся внутри них?

Открыв возможности существования состояний материи, которые включают в себя время, мы можем рассматривать не только временные кристаллы, но и временные квазикристаллы (материалы, которые хорошо упорядочены, но в которых нет повторяющейся структуры), временные жидкости (материалы, в которых плотность событий во времени постоянна, а период нет) и временные стекла (у которых структура, выглядящая абсолютно твердой, на самом деле демонстрирует небольшие отклонения). Ученые активно исследуют эти и другие возможности. Действительно, некоторые формы временных квазикристаллов и нечто вроде временной жидкости уже выявлены.

До сих пор мы рассматривали фазы вещества, которые задействовали t . Позвольте мне завершить свой рассказ двумя короткими замечаниями о космологии и о черных дырах, имеющими отношение к t .

Модель стационарной Вселенной была теоретической попыткой утвердить t в космологии. В этой модели, популярной в середине XX в., астрономы постулировали, что состояние или облик Вселенной в больших масштабах не зависит от времени — другими словами, она сохраняет временную симметрию. Хотя Вселенная все время расширяется, модель стационарной Вселенной постулировала, что материя постоянно образуется, позволяя средней плотности космоса оставаться постоянной. Но стационарная модель не выдержала проверки временем. Вместо этого астрономы накопили ошеломляющее количество данных, свидетельствующих, что 13,7 млрд лет назад, сразу же после Большого взрыва, Вселенная выглядела совсем по-другому, даже несмотря на то что действовали те же самые физические законы. В этом смысле t -симметрия нарушена (возможно, спонтанно) самой Вселенной как целым. Некоторые космологи предположили также, что наша Вселенная — циклическая или что она прошла через фазу быстрой осцилляции. Эти рассуждения, которые до сих пор таковыми и остаются, приводят нас к кругу идей о временных кристаллах.

Наконец, уравнения общей теории относительности, которые наилучшим образом отражают наши нынешние представления о структуре пространства-времени, базируются на концепции, что мы можем точно указать определенное расстояние между любыми двумя соседними точками. Эта простая идея, однако, как известно, была развенчана по крайней мере в условиях двух экстремальных состояний: когда мы экстраполируем космологию Большого взрыва на его начальные моменты, и внутри черных дыр. Везде в физике сингулярность уравнений, описывающих данное состояние материи, часто служит сигналом, что в системе происходит фазовый переход. Может ли быть так, что само пространство-время в экстремальных условиях высокого давления, высокой температуры или быстрого изменения отказывается от t ?

В конечном счете концепция временного кристалла предоставляет шанс для прогресса: как теоретически — на основе понимания космологии и черных дыр с другой точки зрения, так и практически. Новые формы временных кристаллов, которые, скорее всего, будут открыты в предстоящие годы, должны приблизить нас к более точным часам, и они, возможно, будут иметь другие полезные свойства. В любом случае они интересны просто сами по себе и позволят расширить наши представления о том, как может быть организована материя. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Вилчек Ф. Энионы // ВМН, № 7, 1991.
- Classical Time Crystals. Alfred Shapere and Frank Wilczek in Physical Review Letters, Vol. 109, No. 16, Article No. 160402; October 2012.
- Quantum Time Crystals. Frank Wilczek in Physical Review Letters, Vol. 109, No. 16, Article No. 160401; October 2012.
- Observation of a Discrete Time Crystal. Jiehang Zhang et al. in Nature, Vol. 543, pages 217–220; March 9, 2017.
- Observation of Discrete Time-Crystalline Order in a Disordered Dipolar Many-Body System. Soonwon Choi et al. in Nature, Vol. 543, pages 221–225; March 9, 2017.
- Time Crystals: A Review. Krzysztof Sacha and Jakub Zakrzewski in Reports on Progress in Physics, Vol. 81, No. 1, Article No. 016401; January 2018.
- Time Crystals in Periodically Driven Systems. Norman Y. Yao and Chetan Nayak in Physics Today, Vol. 71, No. 9, pages 40–47; September 2018.



В геноме человека лишь 2% структуры ДНК ответственны за структуру молекул в нашем организме. Большая часть структуры ДНК содержит информацию, которую мы прочитали, но пока не поняли

Академик Всеволод Ткачук:

«РЕГЕНЕРАТИВНАЯ МЕДИЦИНА — ЭТО НЕ НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, А ДРУГАЯ МЕДИЦИНА»

Выращивание новых органов из стволовых клеток, генная терапия, редактирование генома, клонирование, генетически модифицированные организмы... Наверное, нет сегодня более горячих и актуальных тем, чем эти. В то же время трудно найти темы, которые бы сопровождались таким количеством мифов, как вышеперечисленные. Внести ясность в эту сложную и интересную проблематику мы попросили академика **Всеволода Арсеньевича Ткачука**, декана факультета фундаментальной медицины, директора Института регенеративной медицины МГУ им. М.В. Ломоносова.



Академик
В.А. Ткачук

— **Всеволод Арсеньевич, в этом году была утверждена Федеральная научно-техническая программа развития генетических технологий на 2019–2027 гг. Эта же тема возникла в связи с созданием научно-технологической долины «Воробьевы горы». Почему сейчас такой интерес к генетическим технологиям? Это только у нас или во всем мире?**

— Интерес к генетике был всегда и везде. Особый подъем был вызван в середине прошлого века открытием Уотсона — Крика, созданием модели двойной спирали ДНК и постулированием механизма передачи наследственной информации: один ген — один белок — один признак. Мы столетия думали, что на всей молекуле ДНК записана структура белков. Но оказалось, что все намного сложнее. В геноме человека лишь 2% структуры ДНК ответственны за структуру молекул в нашем организме. Большая часть структуры ДНК содержит информацию, которую мы прочитали, но пока не поняли.

— **Есть какие-то гипотезы?**

— Кто-то думает, что это память об эволюции, генетические архивы; кто-то — что это память о каких-то эпидемиях; а кто-то, в том числе я, считает, что основной процент этой нетранскрибируемой части ДНК содержит информацию о длинных регуляторных РНК и коротких микроРНК. Для микроРНК уже показано, что это маленькие, состоящие из 20–22 нуклеотидов молекулы, которые умеют перепрограммировать клетки, делать недифференцированную клетку

дифференцированной или же возвращать ее обратно к недифференцированному состоянию и даже перепрограммировать одни зрелые клетки в другие зрелые клетки. Это очень важное открытие, основополагающее для многих разделов биологии и медицины.

Существенно расширились возможности клонирования тканей человека. В арсенале науки появился также новый и весьма эффективный метод редактирования генома. С его помощью можно исправлять и устранять мутации, а можно вносить мутации в геном животного, бактерии, вируса, той или иной клетки человека. Есть вероятность таким образом узнать, какие структуры ДНК отвечают за определенные признаки. Появилась возможность изменять эти признаки, манипулируя структурой ДНК.

Программа развития генетических технологий — это очень серьезная поддержка генетических исследований. Три центра выиграли гранты, но я надеюсь, что поддержку будут давать и другим коллективам для проведения этих работ.

— **Научно-технологическую долину «Воробьевы горы» создают для этих исследований?**

— В том числе. Что касается технологической долины, все великие университеты мира создают себе такое инновационное окружение. И вот на территории МГУ выделена площадка, это десятки гектаров, на которой будут создаваться научно-производственные кластеры. Один из них биомедицинский, в котором мы тоже будем участвовать. Начнется строительство

лабораторий и офисов, чтобы привлечь бизнес, частные компании к сотрудничеству с университетом. Здесь надо научиться слышать друг друга. Ученый увлечен фундаментальной наукой, он не обязан думать, как реализовать получаемые знания в решении сиюминутных общественных потребностей. А бизнес знает рынок, потребности, но не знает, как может ответить на этот запрос. Нужно общаться, проводить совместные конференции, чтобы возникло взаимопонимание. На этой площадке будут некие предпочтения фирмам, которые займутся наукоемкой продукцией. Государство предусмотрело освобождение их от налогов. Я знаю, что есть студенты, которые нацелены на то, чтобы сразу после получения диплома найти хорошую работу, ездить на хорошей машине, носить «правильные» галстуки и часы. А есть студенты, которые настроены на какое-то романтическое действо, их цели на горизонте или за ним. Они занимаются чаще всего фундаментальными исследованиями, про которые никогда не знаешь, чем они закончатся. Не угадаешь, кому из ученых повезет, кому нет. Открытия приходят случайно, но не к случайным людям. Их надо увидеть, услышать. Мой покойный учитель, академик С.Е. Северин, говорил, что к каждому ученому хоть раз в жизни приходит удача. Надо терпеливо ждать ее, заниматься своим делом и «быть дома, когда она придет». Этим людям нужна государственная поддержка.

Такая комбинация специалистов и будет работать в пространстве технологической долины Московского государственного университета. Это очень хорошее решение, которое принято нашим ректором. В.А. Садовничий стал говорить об этом лет 15–20 назад. И сейчас наконец принят закон.

— Академия наук будет в этом участвовать?

— Да, разумеется. На самом деле мы — взаимопроницающие друг в друга организации. В МГУ работают несколько сотен академиков, членов-корреспондентов РАН. Только в этом году членами академии наук было избрано более 25 сотрудников МГУ. Это традиция, что первые лица науки приглашаются читать лекции в Московский университет. И поэтому мы едины, мы работаем вместе.

— Многие воспринимают регенеративную медицину как возможность регулярно менять себе органы, печатать их на 3D-принтере, бесконечно омолаживать организм. Что такое регенеративная медицина? Каковы ее возможности?

— Регенеративная медицина — это совершенно новое направление медицины. Это не новая технология в медицине, а другая медицина. Современная медицина нацелена на регуляцию живых клеток. Лекарства тормозят или ускоряют какие-то процессы в клетках, из которых состоит наш организм. А регенеративная медицина — это направление, которое предполагает выращивание органов и тканей, которые погибли или почему-либо не сформировались в организме. Она стала появляться в конце прошлого века и сейчас стремительно развивается. Есть такое явление — обновление нашего организма. Это очень мощный процесс. За время жизни тело человека производит десятки тонн клеток. Мы все вре-

Регенеративная медицина — современная область медицинской науки, ставящая своей целью выращивание утраченных или не сформировавшихся органов и тканей человека

мя обновляемся. И мы долго не знали, как управлять этим процессом. Есть десятки механизмов убийства клеток, эволюционно заложенные в каждый живой организм. Это специальные способы убирать старые клетки, взамен которых образуются новые. Здоровье, гармония, благополучие — это когда два этих процесса, гибель и образование клеток в организме, сбалансированы.

Только в последние десятилетия мы стали понимать, как запускаются процессы гибели клеток. Открылись также новые возможности регулировать образование клеток. В XIX в. считали, что клетки образуются только из зрелых клеток, то есть из материнской получают две дочерние, ее точные копии. И это верно. Но вот эти тонны клеток (лишь клеток крови за время жизни образуется 3 т) не могут возникнуть за счет деления только дифференцированных клеток. Есть биологический лимит — больше 50 раз зрелая клетка не может поделиться.

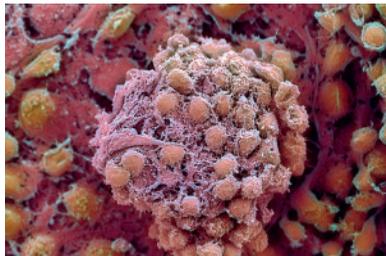
Но есть стволовые клетки — гематопоэтические, которые способны к неограни-

Стволовые и прогениторные клетки

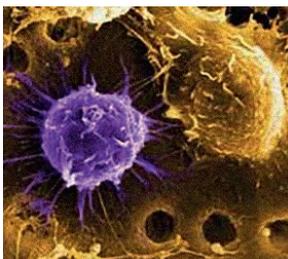
Стволовые и прогениторные клетки проявляют способность к самообновлению и дифференцированию во многие другие типы клеток (потентность).



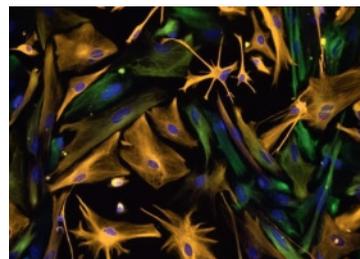
Тотипотентные клетки (зигота)



Плюрипотентные клетки (эмбриональные стволовые клетки)



Мультипотентные клетки (в пределах зародышевых листков)



Клетки-предшественники (в пределах определенной ткани)

ченному делению и дифференцированию в клетки крови, и мезенхимные, которые дают начало клеточным линиям мышечной, жировой, хрящевой и костной тканей. Это было открыто в России в начале и в середине прошлого века, что положило начало регенеративной медицине — стало возможным выращивать вне организма искусственные органы с их последующей имплантацией. Это перспективное направление, потому что всегда будет не хватать донорских тканей. Чем лучше будет справляться медицина с болезнями, чем дольше мы будем жить, тем больше нужно будет трансплантировать износившиеся, сломавшиеся в организме структуры.

С возрастом или во время болезни стволовые клетки расходуются. Их научились выделять из разных тканей, выращивать, размножать и возвращать обратно. Это началось еще в прошлом веке. И вот буквально в последние десятилетия выяснилось, что в организме одни зрелые клетки могут превращаться в другие. Понемногу мы стали понимать роль регуляторных РНК, которые

записаны на нетранскрибируемой части ДНК, и появилась новая возможность регулировать процессы репарации, регенерации, обновления клеток в теле человека. Есть перспектива появления новой терапии, которая будет направлена не только на регуляцию живых клеток, но и на выращивание новых клеток, тканей, структур в нашем организме.

— **Вы сказали, что эти открытия были сделаны в России...**

— Да. Русский ученый-гистолог, профессор Военно-медицинской академии А.А. Максимов в 1908 г. открыл гематопоэтические клетки, из которых образуются все другие клетки крови. Благодаря этому открытию, когда случилась чернобыльская катастрофа, в Советском Союзе очень эффективно применяли трансплантацию костного мозга. А это на самом деле была трансплантация гематопоэтической стволовой клетки, которая восстанавливает у реципиента всю иммунную систему, а также эритроциты, несущие кислород во все органы и ткани.

Еще один ученый-гистолог А.Я. Фриденштейн открыл в 1960-х гг. стволовые клетки, из которых образуются мышцы, жир, соединительная ткань, кости. Он скончался, так и не получив достойного признания. Прошло 15 лет, и он стал самым цитируемым ученым России.

— **А какие еще органы можно выращивать?**

— Можно выращивать сосуды, нервные волокна, кожу, другие ткани. Можно, например, мочевой пузырь, мочеточник. Пока не удается полностью воссоздать вне организма такие сложные структуры, как сердце, почки.

— **А мозг?**

— Там такая сложнейшая сеть межклеточных связей, что мы ее пока не понимаем, не можем и вырастить, разумеется. К сожалению, еще многие заболевания, такие как болезни Альцгеймера и Паркинсона, находятся на стадии экспериментальных попыток восстановить функцию за счет улучшения кровоснабжения, каких-то других приемов, а не восстановления структуры. Но цель регенеративной медицины — полностью восстановить структуру, сделать ее новой, обладающей теми же свойствами, той же функцией. Вот это сделать с головным мозгом пока не удастся. Но нервные окончания выращиваются. После трансплантации пальца или кисти руки можно ускорить прораствание нервных волокон, добиться полного функционирования этих конечностей.

В науке все развивается не по линейной траектории. Мы находимся в начале, а дальше возможен стремительный подъем. И если сейчас мы чего-то не можем, это не значит, что не сделаем этого через несколько лет. Регенеративная медицина — это серьезная, наукоемкая медицина. Сейчас заканчиваются тысячи клинических испытаний и в Соединенных Штатах, и в Японии, и в Китае. В России тоже ведутся такие исследования. Но это оружие очень серьезного калибра. Это может оказаться столь же опасно, сколь и эффективно.

Поэтому основное внимание сейчас сосредоточено на том, чтобы не навредить. То же самое — в случае редактирования генома. Мы можем исправить нужный ген, но не можем гарантировать, что при этом мы не вмешиваемся в геном где-то в другом месте и не сделаем того, чего не ожидали и что нежелательно. Мы не можем предсказать, что это совершенно безопасный метод, — как клеточная терапия, так и генная терапия, когда мы выращиваем ткани, восстанавливает функции. Это требует долголетних пре-клинических, клинических испытаний, чтобы удостовериться, что данное средство не только эффективно, но и безопасно.

— Что такое биомедицинские клеточные продукты? В ряде стран есть многоступенчатая система контроля, гарантирующая качество и безопасность применения клеточного продукта. Принятый в России закон «О биомедицинских клеточных продуктах» касается медицинской отрасли?

— Биомедицинскими клеточными продуктами у нас назвали средства клеточной терапии. Это те клетки, которые вводятся для восстановления какой-то структуры. Они могут быть аутологичными, взятыми из организма пациента. Когда человек болеет, стареет, стволовые клетки расходуются, их можно в сотни раз приумножить вне организма и вернуть в нужное место. Но в организме эти клетки могут изменить свой фенотип. Они имеют постоянную возможность превращаться в другие типы клеток. И это определяется не только их геномом, структурой генов, и не только эпигенетическими воздействиями, но еще и микроокружением клетки. Поэтому мы можем внести стволовую клетку, но мы не уверены, по соседству с какими клетками она окажется и какой росток она даст, во что она начнет превращаться. Нужно обезопасить ее превращение, например, в жировую клетку или хрящ, что

нежелательно, когда лечат мозг или сердце. Поэтому надо отработать технику дифференцировки, направленной в одну сторону, желаемую для нас. И только потом ввести в организм. Вот такой закон принят Государственной Думой, подписан президентом. Он предполагает, что терапевтические клетки должны проходить пре-клинические испытания на животных, а потом полноценные клинические испытания, как это делается с любыми новыми препаратами. Закон регламентирует, в каких условиях и кто может производить эти клеточные лечебные препараты.

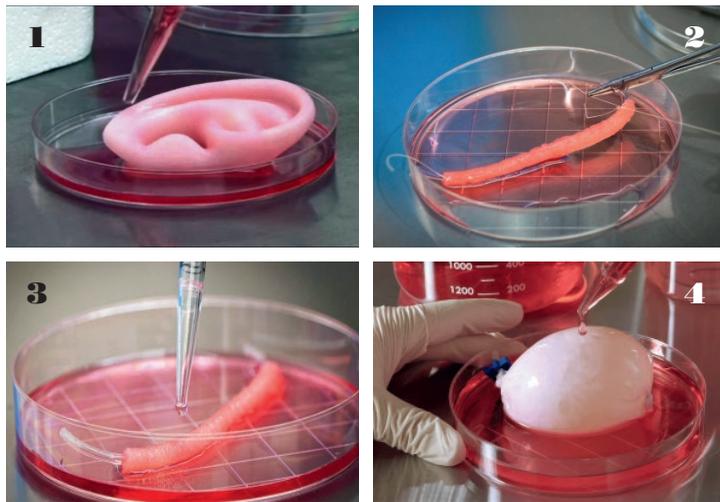
— Редактирование генома человека открывает невероятные перспективы, и это уже не остановить. Но этическая сторона такого вмешательства активно обсуждается в международных организациях. Мы недавно брали интервью у академика А.Г. Чучалина, который возглавляет комитет по биоэтике. Он говорил, что в мире неоднозначное отношение к редактированию генома. Как здесь быть?

— Я с глубочайшим почтением отношусь к А.Г. Чучалину, мы с ним многолетние друзья. В Минздраве я возглавляю комиссию по этике биомедицинских препаратов. Мы с ним встречаемся, обсуждаем возникающие проблемы, проводим конференции. Это междисциплинарная проблема. Кроме медиков и биологов в этой работе должны участвовать философы, социологи, журналисты и т.д. Должна быть договоренность между обществом и специалистами.

Что же касается конкретно редактирования генома, я уже говорил, что мы знаем, как исправить нужный ген, и это в ряде случаев резонно сделать. Но у человека нет опыта применения этого метода.

Основные направления регенеративной медицины

- Стволовые клетки человека можно выделить, приумножить и вернуть в пораженную ткань для ее репарации и восстановления функции — это клеточная терапия, самое современное в регенеративной медицине.
- Из стволовых и трансдифференцированных клеток можно создавать искусственные органы и ткани для трансплантации — это современное состояние тканевой инженерии.
- Будущее регенеративной медицины — это регуляция процессов гибели и обновления клеток в теле человека. Для создания подобного типа препаратов нужно установить физиологические механизмы регуляции гибели клеток, их дифференцировки и трансдифференцировки.



Из стволовых клеток можно создавать искусственные органы и ткани для трансплантации: хрящ, кость (1), мочеточник (2), уретру (3), мочевого пузыря (4)

Мы не знаем, что будет с человеком через 10–20 лет. Поэтому надо проводить исследования на животных. Если применять это в клинике, то только в том случае, когда других средств спасения нет, когда страдание так тяжело или смерть настолько неизбежна, что другого способа помочь уже не найти. Но в ближайшие десятилетия надо применять этот метод так, чтобы не затронуть половые клетки, чтобы не передать эти геномные изменения в следующие поколения.

— А как быть с генетическими заболеваниями?

— Кажется очевидным, что эта техника должна быть направлена на излечение генетических заболеваний. Но и здесь нужна осторожность. Великий физиолог И.П. Павлов еще 100 лет назад говорил, что болезни — это не наказание господне, это — лаборатория Создателя. Это формирование биоразнообразия, которое позволит выжить твоей семье, роду, племени, человечеству в каких-то других критических ситуациях. Поэтому нужно очень многое взвесить и принять решение с большой осторожностью, чтобы не навредить ни пациенту, ни нашему роду-племени. Вот такова моя позиция. Мне кажется, что все серьезные ученые относятся к этому взвешенно. Есть, конечно, некие увлеченные люди, которые готовы делать это хоть сейчас. На уровне изменения генома у человеческого эмбриона есть еще и этические и религиозные проблемы. Не думаю, что в нашей стране кто-либо готов решиться на подобную работу с эмбрионами. Это и небезопасно, и потребует договоренности в обществе, твердого

знания того, что мы можем себе позволить и чего мы не должны себе позволять.

— А международные соглашения должны быть заключены?

— Они должны быть, но у разных национальностей, религий свои особенности. Например, у христиан уже с момента зачатия эмбрион считается особью, с которой следует поступать по тем же правилам, по каким и с родившимся человеком. А у китайцев до рождения эмбрион — не особь, не личность. С ним можно экспериментировать. В иудаизме свое толкование эмбриона, в исламе иное. А у нас многоконфессиональное государство, и этически безупречный, всех устраивающий закон принять очень трудно. А как это сделать на международном уровне? Поэтому ЮНЕСКО, а академик А.Г. Чучалин представляет там нашу страну по биоэтике, разрабатывает единые принципы. Сейчас во всех странах между философами, религиозными деятелями, политиками, учеными достигнуто согласие о запрете клонирования человека. Наша страна тоже подписала эту конвенцию. Нельзя множить копии одного и того же человека, даже если он самый гениальный или красивый. Это плохо закончится для общества, для популяции, всего человечества. Мы не знаем, как эти клоны поведут себя спустя десятилетия. Даже обычные лекарственные препараты, которые мы употребляем при заболевании, имеют 20 лет отсрочки. Через 20 лет каждый препарат проверяется, и если обследование тысяч людей показало, что он укорачивает жизнь, препарат изымается директивным решением. Это делается во всем цивилизованном мире. А уж что будет с измененными генами, клонами или химерными организмами, нельзя предсказать. А если будет плохо, куда мы их денем?

В последние десятилетия в этой области произошли великие открытия. Мне кажется, уместно сравнить их с обнаружением радиации в начале XX в. Тогда она была открыта как некое полезное свойство материи, и даже какое-то время французские дамы пудрились радием, потому что кожа становилась чистой, но потом они страдали лучевой болезнью. Все, что человек открыл, он рано или поздно применяет. Остановить это нельзя, но нужна известная осторожность. Долг специалиста — предупреждать об этом общество.

— У нас в стране в 2016 г. запретили использовать ГМО — генно-модифицированные организмы, а сейчас собираются редактировать геном человека. В этом нет противоречия?

— Тут аналогия уместна. Я знаю, что это может не встретить понимания у тех, кто имеет твердую негативную точку зрения на ГМО, но вот в чем проблема: без генетически модифицированных растений людям не обойтись. Во всем мире правила относительно ГМО такие же, как для лекарственных препаратов. Если в магазине продают такую генно-модифицированную картошку, которая не гниет или долгоносик ее не ест, то она не вредна человеку, потому что ее проверили по таким же протоколам, как проверяются новые лекарственные препараты, и пришли к выводу, что вреда нет. В нашей стране, к сожалению, в 1990-е гг. не было условий для проведения подобных исследований. И многие люди испугались ГМО, причем справедливо. Надо следить за агротехникой. Есть нормы гербицидов, которые убьют все сорняки, но не убьют нужные нам растения. Однако если эти нормы значительно превышены, то избыток гербицида может накапливаться в пищевом продукте. Это уже не проблема генетиков, которые внесли эти гены. Никто никогда не доказал, что внесенный ген навредил человеку, употребившему этот продукт питания. Хотя это тоже надо каждый раз проверять. Я говорю об этом потому, что очень опасаясь, как бы и с применением генно-клеточных методов в медицине не произошло такое же недоразумение. Нужно просвещать об этих методах как специалистов-врачей, так и общество.

Сейчас в США родители платят за страховку детей сумму, которая учитывает их дожитие до 100 лет. Там говорят, что тот, кто родился в XXI в., будет жить 100 лет. Почему? Из-за регенеративной медицины. Появляется надежда на создание «запасных частей» для тела человека. Выращивание органов, тканей может дать такой же эффект продления жизни, как было с антибиотиками в середине прошлого века.

— Это ведь очень дорогие технологии?

— Сегодня дорогие.

— Не получится ли, что ими смогут пользоваться только богатейшие люди и таким образом произойдет своего рода селекция человечества?

— Ваши опасения совершенно резонны. Поэтому я говорю, что в этой области нужна общественная договоренность, чтобы это не создало социального напряжения. Нужно учитывать и возможности медицины, и готовность общества.

— Если удастся с помощью этой медицины избавиться от самых страшных болезней, от чего люди будут умирать?

— Если люди не будут умирать, это будет конец жизни на Земле. Надо освобождать пространство новым поколениям, а они должны эволюционировать с учетом изменяющихся условий на Земле. Это очевидно. Но, похоже, есть некая программа жизни, заложенная в нас. В Библии написано, что человек может жить 120 лет. Видимо, так и есть. В некоторых регионах живут старики, которым 110, 115 лет, но нет 200-летних. Наверное, есть какой-то временной лимит, когда в организме накапливаются дефекты, с которыми система обновления уже не может справиться. Может быть, медицина немного продлит этот лимит, но она не устранил его полностью.

Жизнь так устроена, что уход организма предусмотрен эволюцией. Помимо биологических часов к этому отбору, наверное, причастны и эпидемии, а может и социальные конфликты. Я не хочу размышлять на эту тему, мы много пока не знаем. Пока мы знаем только один лимитирующий жизнь закон: человеческая клетка способна делиться не более 50 раз, поскольку при каждом делении укорачивается ДНК, теряются жизненно важные гены.

— **Расскажите, пожалуйста, о конгрессе по регенеративной медицине, который сейчас проходит в МГУ.**

— Это четвертый конгресс. На него съехало больше 1,4 тыс. человек из всех крупных городов России. Приехали из 18 зарубежных стран — США, Англии, Франции, Китая, из стран СНГ — Казахстана, Беларуси, с Украины. Это очень горячая, актуальная и интересная научная область. Живое общение и разговор об удачах и неудачах не менее важны, чем просто информация о результатах. У нас здесь интересные доклады, конкурсы молодых ученых, мемориальные симпозиумы в память о тех, кто был в начале этой науки. Молодежь, которая идет в науку, должна их знать. Но и общество должно знать о нас. Ученых нельзя обижать. Никто не знает, из какого исследования вырастет что-то нужное и великое. Может быть, это станет спасением для человечества. Или это будущая слава нашей страны. Поэтому надо очень уважительно относиться к тем людям, которые трудятся в лабораториях и честно развивают свою науку. Вдохновляет то, что нас не единицы, а сотни. И делаются сейчас очень достойные работы мирового уровня, как это было и в прошлом веке. ■

Беседовала Ольга Беленицкая

ФИЛОСОФИЯ

НОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ В НАУКЕ

**«Не познается часть без познания целого,
поскольку часть измеряется целым»**

Николай Кузанский

Есть такие вопросы, на которые пытается ответить только одна научная дисциплина — философия. Познаваем ли окружающий мир? Что такое истина? Что первично — материя или сознание? В чем смысл жизни? Что такое «добро» и «зло»? И так далее.



Какие вопросы сегодня стоят перед философией? Нуждается ли в ней общество? Наука ли она? На эти и другие вопросы отвечает директор Института философии РАН академик **Андрей Вадимович Смирнов.**



Академик А.В. Смирнов

— Андрей Вадимович, вы по образованию востоковед. Почему вы стали заниматься философией? На какой вопрос искали ответ?

— Да, действительно, я по образованию арабист, но, как я понял сейчас, но, возможно, чувствовал уже тогда, — любой, кто всерьез занимается изучением культуры, в которой не вырос, если она существенно отлична от его собственной, должен, если хочет ее понять, а не просто поверхностно познакомиться, схватить ее как целое. Он должен понять ее основание, потому что культура — это «организм», который обладает единством. Это та самая «морфология культуры», как говорил Освальд Шпенглер. Это целостная форма, в которой разные аспекты, генетически не связанные друг с другом, тем не менее оказываются очень удачно друг к другу пригнаны.

Знаете, говорят — «органичный человек»? В нем одно соответствует другому. Вот так же и развитая большая культура, такая как арабская или арабо-мусульманская, которая существовала на протяжении веков. Исламу 1,4 тыс. лет, а до этого еще была арабская культура, которая дала миру великолепные образцы. Она, конечно, органична, это целостность. Чтобы ее понять, нужно дойти до самых оснований.

Востоковедное образование в России было и остается хорошим, и оно нацелено именно на такую целостность. Но все же для осознания целостности нужен философский подход. В конечном счете любой востоковед,

если всерьез занимается своим предметом, становится стихийным философом. Однако целостность культуры и ее основания нужно вывести на свет, чтобы понять, как она мыслит. Оказывается, что разговор об основаниях культуры — это на самом деле разговор об основаниях разума, разговор о философии сознания. Наверное, вот так эта дорога и привела меня к философии.

— То есть вы почувствовали тягу к философии еще в студенчестве?

— Видимо, да. Когда я был студентом, в проезде Художественного театра (сейчас Камергерский переулок) были книжные магазины, столь же тогда многочисленные, как сегодняшние кафе. И в одном из них на втором этаже продавались книги из серии «Философское наследие». Тогда вышел двухтомник Николая Кузанского. Он мне страшно понравился и стал моим любимым философом. Видимо, это была такая случайность, которая оказалась закономерной.



Освальд Шпенглер, немецкий философ, историк культуры, социальный мыслитель и публицист (1880–1936)

— В те времена, когда и вы, и я учились, философия определялась как «форма общественного сознания, направленная на выработку целостного взгляда на мир и на место в нем человека». Что такое философия сейчас? Какое место она занимает среди других наук?

— Я думаю, что разные философы по-разному ответят на этот вопрос. Как мне представляется, философия — действительно единственная форма общественного сознания, единственный способ отнестись к миру, который отвечает за целостность. Часто спрашивают: философия — это наука или нет? В наш век сциентистского мышления если что-то «не наука», то это как будто уже плохо. Но я убежден: философия — не наука, поскольку наука принципиально фрагментарна и догматична в том смысле, что никогда не задумывается о собственных основаниях.

Наука начинается тогда, когда из целостности мира вы вырезаете какой-то фрагмент и с ним работаете. Тогда вы задаете его онтологию, то есть говорите, что «на самом деле» существует, а чего существовать не может. Для науки это «дано», она это не обосновывает. Это «на самом деле» для каждой науки — свое. Для химии, например, «не существует» той реальности, которой занимается и которую измеряет социология или психология, а для этих наук — реальности химии.

Так вот, философия — единственный вид теоретической деятельности, который, во-первых, отвечает за целостность мира и, во-вторых, задумывается об обоснованности любых теоретических построений, выводит на свет первые основания и наук, и себя самой. В этом смысл философии и ее сила. Но в этом и ее в каком-то смысле слабость, потому что достижения любой науки могут быть превращены в технологию. Собственно, мы верим в теоретическую силу науки, потому что очарованы технологиями. Мы живем в мире технологий, и все они возможны только благодаря науке. Философия же не дает никаких технологий. Хотя сегодня, опять же, повинуясь моде, часто говорят: «технологии управления обществом» — или даже чуть ли не «управления человеком». Ужасно, когда общество и человека низводят до неживой субстанции, которой можно технологично управлять. Настоящая философия, конечно, этого не делает.

Философия занята сама собой в том смысле, что она занимается основаниями нашего мышления и нашего образа мыслей.



Николай Кузанский, крупнейший немецкий мыслитель XV в., философ, теолог, ученый-энциклопедист, математик (1401–1461)

Это кажется очень абстрактным и вроде бы нужным только философии, но на самом деле это необходимо и всем людям. Вы видите, что происходит в мире: лавинообразное нарастание конфликтов и какое-то совершенно иррациональное противостояние, потеря представления об общих ценностях — то есть утрата той самой целостности, которая была как-то выстроена, по крайней мере на европейском пространстве или даже больше, в течение XIX и XX вв.

Думаю, роль философии здесь существенна. Особенно для нашей страны после тех страшных, с моей точки зрения, событий — двух переворотов 1917 и 1991 гг., которые мы пережили с полной сменой мировоззрения, ориентиров, строя, названия страны, ее границ и т.д. То есть все, что могло измениться в жизни человека, поменялось на протяжении всего лишь одного века два раза.

— Я как раз хотела спросить, **отрефлексировано ли в отечественной философской мысли крушение марксизма-ленинизма как некогда единственно верного учения?**

— Если брать отдельных мыслителей, то, конечно, они дают свои ответы. Но я бы не сказал, что есть какое-то общее русло ответа на этот вопрос, что достигнуто какое-то согласие по вопросу о том, что делать дальше. Главное ведь — не крушение, потому что крушение, о котором вы говорите, произошло в головах философов задолго до того, как было закреплено в нашей политике. А вот вопрос о том, что делать дальше, пока не имеет общего ответа.

Мне кажется, надо начать даже не с ответов, а с систематизации вопросов. То есть выстроить общую площадку, на которой можно разговаривать, оставив в стороне всякого рода партийные пристрастия. Ведь у нас очень пестрый спектр общественного мнения: и западники, и почвенники, и монархисты, и патриоты, и светская



В.С. Степин, советский и российский философ и организатор науки, специалист в области теории познания, философии и методологии науки, философии культуры, истории наук (1934–2018)

интеллигенция, и клерикалы и т.д. Часто, к сожалению, позиции бывают несовместимыми, причем до всякой аргументации. Я думаю, что нам надо научиться не просто заявлять свой ответ, а его аргументировать и слушать оппонента. Строить разговор не как некую заявку: «Вот я сказал, хотите — соглашайтесь, или я не буду с вами разговаривать», — а как способность говорить на заданную тему, общую для всех нас.

Неправильно говорить, что в советское время не было философии. Хорошая, настоящая философия была. Но она часто уходила из публичного в частное пространство, пряталась в узких семинарах единомышленников. И нам надо снова привыкать к общему разговору не только с единомышленниками, но и с несогласными, понять, что вся пестрота наших мнений и позиций — это «мы», не кто-то другой. Научиться включать, а не исключать.

— А есть ли запрос со стороны общества, власти на философское осмысление прошлого, настоящего, будущего?

— Иногда он слышится, если говорить о власти. Особенно когда наблюдаются какие-то кризисные явления. Вот после 2014 г. такие запросы звучали из МИД. Но они как-то забываются, потому что у нас не привыкли к тому, что есть разные масштабы ответов. Есть, скажем, политический ответ, политическое реагирование — очень короткомасштабное. Это текущее реагирование на текущие вызовы. Естественно, оно должно быть — это понятно, но есть и философское реагирование, более долговременное. И от философии нельзя ждать сиюминутных рецептов, это разговор на перспективу. Но этим и отличается тактика от стратегии. Стратегия строится так, что не сразу видны тактические преимущества. Мне кажется, что и у общества, и у тех, кто принимают решения, пока нет особой склонности к стратегии. И поэтому, может быть, и нет такого явного запроса на философию.

— Я вижу у вас на полке книгу, посвященную академику В.С. Степину, ушедшему от нас в прошлом году. Он дважды был гостем С.П. Капицы в программе «Очевидное — невероятное». Одна из передач была посвящена вызовам времени. А какие вызовы времени ощущаете вы как философ?

— Вспомните времена холодной войны, когда был Советский Союз. Что против нас выдвигалось? Международное право, которое олицетворял собой Запад, в то время как коммунистические страны, говорили нам, действуют вразрез с международным правом. А сегодня разве этот правовой дискурс в ходу у наших западных друзей? Нет, конечно. Сегодня говорят не о праве, а о правилах поведения — кто себя хорошо ведет, кто плохо. Россия «должна изменить свое поведение», говорят нам. А кто будет определять, какое поведение хорошее, а какое дурное? В результате того, что мир перестал быть биполярным, мы переживаем очень опасный, мне кажется, период, когда возможна узурпация права на истину со всеми вытекающими последствиями. Сегодня США ведут себя как тоталитарный диктатор, не утруждающий себя аргументами и не обременяющий себя совестью. Так теряются и право, и возможность взаимопонимания.

И что дальше? Дальше логика раскручивания этого противостояния ведет непонятно куда. Мы же видим, что происходит: фактически разрушена система контроля вооружения. Неважно, кто виноват, Россия или НАТО, но это происходит и никто это не останавливает. Самое плохое — что эта эскалация и это нагнетание приобретают свою внутреннюю логику и инерцию.

— Сейчас много разговоров о той опасности, которую несет для нашей жизни цифровизация...

— Может быть, я старомоден, но я не склонен преувеличивать значение цифровизации. Знаете, первый компьютер появился у меня в 1990 г., когда они еще были редкостью. Помню, он стоил тогда столько же, сколько автомобиль «Москвич»! Сейчас в это трудно поверить. И вся эта цифровизация развивалась на моих глазах. Я не считаю, что это явление, которое часто преподносится как чуть ли не главная опасность нашего времени, действительно столь существенно. Ведь одновременно произошло многое другое, что не имеет никакого отношения к цифровизации.

Вспоминаю свое детство: у нас был полон двор детей, и они играли все вместе.

Была какая-то общая жизнь. Сейчас дворы пусты — неужто в результате цифровизации?

Или возьмите полное разрушение методических основ школьного воспитания и образования, или же превращение образования в «услугу», или же ЕГЭ, который лишил школьников способности связно мыслить, обобщать и аргументировать, — мы же знаем все это, поскольку постоянно имеем дело со студентами. Утрата методики школьного образования, ЕГЭ и болонская система нанесли нашему образованию, интеллектуальному уровню целого поколения куда больший урон, чем вся пресловутая цифровизация. Создается такое впечатление, что раздувание «опасностей цифровизации» нужно только для того, чтобы отвлечь внимание от действительно пагубных и проводимых конкретными людьми в нашей стране «реформ».

Другое дело, что благодаря цифровизации мы все оказались под колпаком. Антиутопия Джорджа Оруэлла «1984» осуществилась, но совершенно неожиданным образом. Мы сами носим с собой в кармане (ну или у нас на столе стоит) прибор, с помощью которого за нами следят те, кому надо.

В то же время появилась возможность работать с тем, что обозначается термином «большие данные». Это другой способ получения знания об обществе в том смысле, что можно, как говорит академик А.А. Гусейнов, дойти до каждого индивидуального человека и вместе с тем все это обобщить, то есть получить общие знания.

Или же доступность информации. Это потрясающая вещь, когда, во-первых, можно, находясь дома, получить почти все, что угодно, отовсюду. Во-вторых — возможность поиска. Это то, чего не было до цифровизации. Благодаря базам данных сегодня любой человек может работать с огромными массивами текстов так, как раньше могли единицы, обладавшие какой-то уникальной памятью.

С другой стороны, когда мы росли, нужно было гоняться за знаниями, искать книги. А сейчас, мне кажется, люди, скорее, стараются оградиться от этого потока информации. Так что, конечно, все меняется. Но это не что-то фатальное, как иногда представляют, как будто мы, люди, — это песчинки, а на нас накатило цунами цифровизации и мы ничего не можем сделать. Ничего подобного.

— Мир меняется стремительно, а что происходит с человеком, его личностью? Нейролингвист Т.В. Черниговская говорит, что пришла новая реальность, мы оказались в другом типе цивилизации. Некоторые ученые считают, что цифровая цивилизация — это своего рода антропологический вызов и что мозг человека меняется в цифровом пространстве.

В том, чтобы говорить о сознании на языке нейронауки, есть, конечно, определенное очарование: вы идете, как Ахиллес за черепахой в апории Зенона, но черепаха всегда и гарантированно будет впереди. Эта дорога никогда не кончится

— Нейронаука — потрясающая вещь, проводятся фантастические исследования, и есть очень интересные результаты. Но объяснить возникновение сознания работой мозга невозможно. Вопрос о сознании — это вопрос, доступный философии, а не нейронауке. Почему?

Мы говорили, что любая наука вырезает свой сегмент мира, задавая его онтологию, то есть определяя, что для нее существует, а что не существует, что она «видит», а чего «не видит». Нейронаука работает с мозгом и нейронными структурами, она по определению не работает с сознанием. Можно бесконечно усложнять структуру когнитивных, даже ввести квалитоны, но это никак не выведет вас к сознанию — точно так же как законы квантовой физики не объясняют законов социологии. В том, чтобы



Ибн Сина,
средневековый
персидский
ученый,
философ и врач,
представитель
восточного
аристотелизма
(980–1037)

говорить о сознании на языке нейронауки, есть, конечно, определенное очарование: вы идете, как Ахиллес за черепахой в апии Зенона, но черепаха всегда и гарантированно будет впереди. Эта дорога никогда не кончится.

— **Андрей Вадимович, в советское время философия была равнозначна идеологии, в нее кроме истории философии входили диамат, истмат, научный атеизм, научный коммунизм и пр. Из чего сейчас состоит философия? Чем занимаются в вашем институте?**

— Занимаются философией. То есть философия заполнена философией. Можно посмотреть на названия 30 секторов, которые составляют наш институт, и вы увидите, что это и есть весь спектр философских дисциплин. И сила института в том, что он не фрагментарно представляет философию, а целостно. У нас есть представители

Язык — это не средство, а способ схватывания мира, причем не только лексически. Ведь язык — не набор слов, знаков, это прежде всего связность, способ выстраивания текста

аналитической традиции, феноменологи, у нас очень сильная историко-философская школа, философия сознания, этика, эстетика, философия религии, философия естествознания, школа, которую создал академик В.С. Степин, философия техники и т.д., перечислять можно долго.

С 1991 г. нет никаких идеологических предписаний, институт абсолютно свободен в этом смысле. У нас есть весь спектр философских школ, в том числе марксисты. В этом тоже сила института — это свободная площадка, ведь если философия не свободна, это не философия. Ею невозможно командовать, она всегда развивается из себя, из творчества. А творчество иррационально, творец не может творить по заказу. Говорят, что Бог, творя мир, делал это посредством свободного творческого акта. И если мы творцы, мы должны быть свободны, божественно свободны.

— **Во время хрущевской оттепели был мощный всплеск философской мысли.**

Появилась целая когорта мыслителей: Э.В. Ильенков, М.К. Мамардашвили, А.А. Зиновьев, А.М. Пятигорский, С.С. Аверинцев и др. Наблюдалось ли такое во время перестройки? Ведь появилась возможность писать то, что раньше было нельзя.

— Да, конечно. И во время перестройки, и после, и в наше время. Кто-то из этих философов связан с нашим институтом, кто-то не связан. Мне бы не хотелось сейчас называть имена, потому что невозможно всех упомянуть, но история, как говорится, расставит все по своим местам. Кто-то преподает в Высшей школе экономики, кто-то — в МГУ. И не только в Москве, но и в других городах — Санкт-Петербурге, Симферополе, Екатеринбурге и т.д. Это яркие мыслители, которых интересно читать.

После 1991 г. прошло чуть меньше тридцатилетия. За это время мы компенсировали тот недостаток в издании философской литературы, не только западной, но и русской, который у нас накопился за советский период. Но должно пройти еще какое-то время, чтобы все это вошло в культуру, было понастоящему освоено.

— **А в мире интересуются русской философией?**

— Интересуются. Недавно в издательстве *Bloomsbury Publishing PLC* вышел на английском языке том «Философская мысль России второй половины XX века» под редакцией академика В.А. Лекторского и профессора М.Ф. Быковой. Конечно, всегда хочется большей заинтересованности. На Западе хорошо известен ряд имен: М.М. Бахтин, Ю.М. Лотман, А.В. Кожевников и др. Они, можно сказать, вошли в философскую жизнь Запада, стали ее частью. И все же мы сегодня не можем сказать, что задаем мировую философскую повестку дня. Но я думаю, что это время еще придет и те решения, которые могут быть предложены русской философией, будут в будущем востребованы, потому что это именно работа с целостностью, со смыслом. Это те странные вещи, которые волновали наших мыслителей в XIX и XX вв., несмотря на очень большое различие направлений.

— **Сегодня английский язык фактически приобрел статус глобального. Он признан языком науки, бизнеса, торговли и т.д. Как русской философии вписаться в международный контекст? Может ли она заговорить на английском языке?**

— Здесь есть очень большая проблема. С одной стороны, писать на английском — значит снять языковой барьер. По этому пути в основном пошла Европа: даже в Германии сегодня философствуют преимущественно на английском языке, потому что хотят быть понятыми и услышанными. А вот во Франции не спешат отказываться от родного языка. И неслучайно. Любой язык имеет свои особенности. Английский философский лексикон формировался под мощным влиянием эмпирического направления. Он хорошо приспособлен для науки, для аналитической философии, но вряд ли на нем можно с успехом выразить немецкую метафизику или то, что русские философы привыкли искать в жизни: смысл, оправданность и т.д.

Мы пока философствуем по-русски. Хорошо это или плохо? Думаю, что стратегически это выигрыш, потому что, потеряв русский язык, мы утратим больше, чем просто средство. Язык — это не средство, а способ схватывания мира, причем не только лексически. Ведь язык — не набор слов, знаков, это прежде всего связность, способ выстраивания текста.

Семиотический подход к языку, который почему-то так популярен, не отражает самого главного — нашей способности выстраивать любое предложение как связь подлежащего и сказуемого. Но эта связь не может быть обозначением, она не может быть выражена как знаковая функция. Это что-то другое, то, что мы по-русски называем «связность», «целостность» и что, кстати говоря, не очень-то хорошо переводится на английский язык.

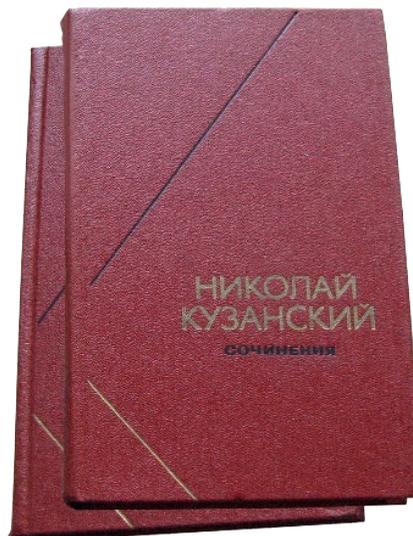
Меняя язык, вы меняете всю систему категорий, а в ней одно связано с другим и значение каждого зависит от значения всех внутренних связей. Я думаю, что стратегически философия теряет, утрачивая язык своей культуры.

— Молодежь идет сейчас в философию?

— Да, у нас очень много молодых. Это люди, которые умеют ориентироваться в современной жизни и обеспечивать материальную сторону своего существования. Но их интерес именно философский, и таких много. Это очень отрадно.

— Вы довольны тем, как преподают сейчас философию в высшей школе?

— Нет, не доволен. У нас прекрасные профессора философии, но это не меняет дела. Преподается «философия в единственном числе», как будто это философия «как таковая». Студенты получают учебник, который



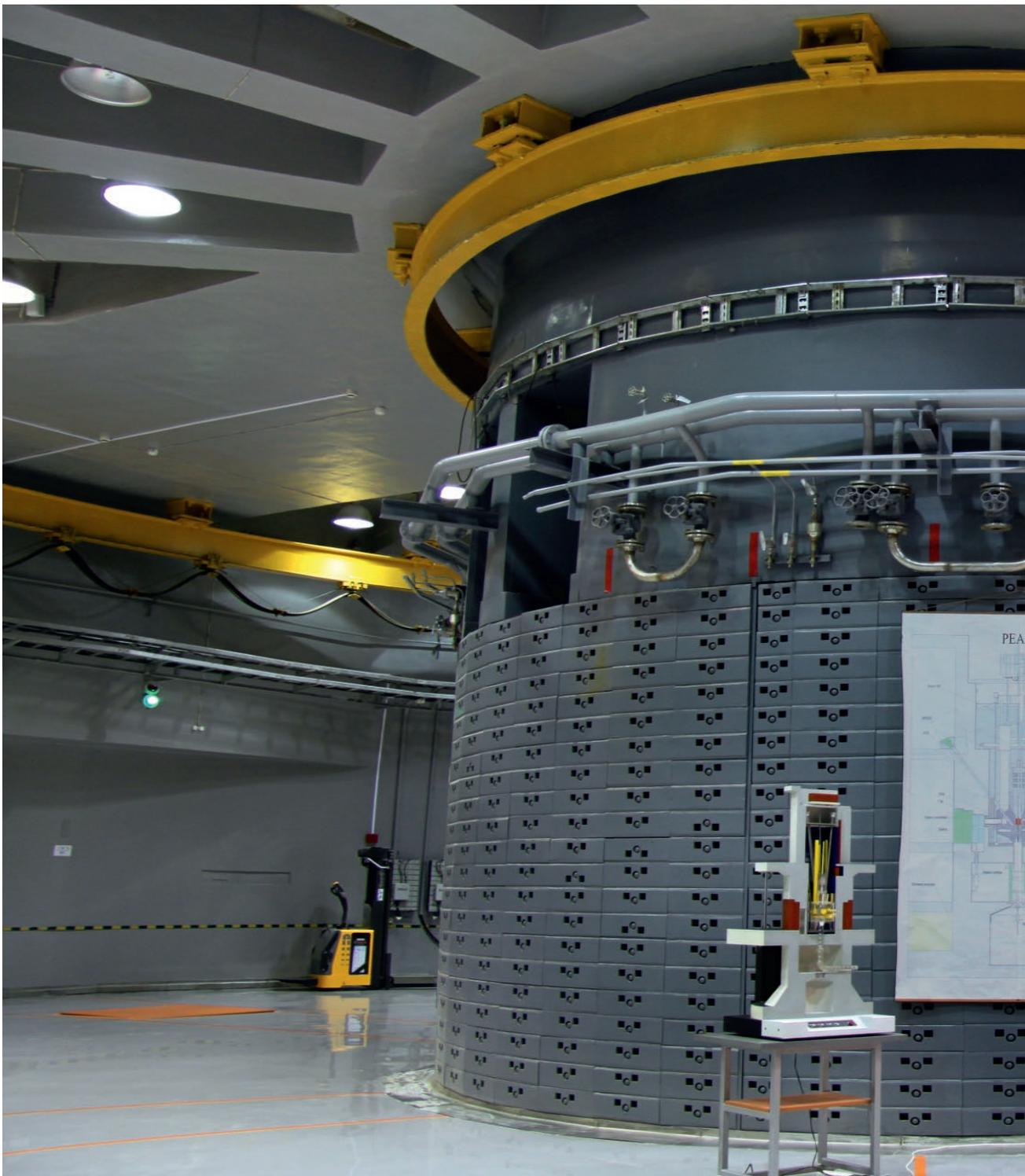
Двухтомник Николая Кузанского из серии «Философское наследие», вышедший в свет в 1979 г., — один из любимых научных трудов академика А.В. Смирнова

называется «Философия», но под обложкой — исключительно европейская традиция. Это, конечно, характерно не только для нас, но и для западных стран.

Однако сейчас уже не та ситуация, какая была 100 лет назад, а уж тем более во времена Гегеля. Сейчас мы неплохо знаем западные философии. На последнем философском конгрессе в Пекине в августе 2018 г. неоднократно звучало, что мировая философия нетождественна западной традиции, что в мире — целый ряд самостоятельных, несводимых друг к другу философских традиций.

Думаю, действительно что-то новое будет достигнуто, когда философия освободится от представления о том, что европейская традиция, в которой вы выросли, — единственно возможная, когда вы осознаете ее собственные основания, а значит и ее силу, и ее ограниченность. И тогда может получиться выйти за эти пределы. Представьте, что вы вынуждены работать только в одном тоне — например, желтом. А есть много других тонов и полутонов, — но вы их не видите, они за пределами ваших парадигмальных ограничений. Будущее — за разноцветной, а не одноцветной философией. Не думаю, что доживу до этого времени, но хотелось бы надеяться, что кто-то увидит такую философию. Это будет очень существенная реформа, вроде квантово-механического переворота в физике — когда он как будто перечеркнул прежнюю картину мира, но на самом деле просто открыл новое измерение в науке. ■

Беседовала Ольга Беленицкая



Экспериментальный зал
реактора ПИК в Гатчине
под Санкт-Петербургом

НАЗАД





В БУДУЩЕЕ



Уникальные свойства синхротронного излучения применяются буквально во всех областях — от получения новых лекарств для лечения рака или туберкулеза до создания новых, особо прочных материалов. В рамках национального проекта в нашей стране в ближайшее время будут созданы или модернизированы сразу несколько синхротронов. Что это даст обычным гражданам, обсуждаем с Александром Евгеньевичем Благовым, доктором физико-математических наук, директором НИЦ «Курчатовский институт».

— Александр Евгеньевич, почему именно Курчатовский институт стал головной организацией в осуществлении синхротронных и нейтронных исследований на ближайшие восемь лет — до 2027 г.?

— Я бы не стал ограничиваться восемью годами, потому что на самом деле эта программа рассчитана на десятилетия вперед, и тот вклад, который она сделает в современную науку, технологии, производство, рассчитан на более длительный период. Речь идет о создании сетевой структуры, которая должна охватить всю страну новыми мегаустановками мирового класса и тем самым обеспечить пространственное развитие, поднять исследовательский уровень во многих областях знания на новую высоту, обеспечить конкурентоспособность российской науки и технологий, создаваемых с помощью этих установок.

Почему наш институт? Мы занимаемся синхротронным излучением не одно десятилетие. Когда-то секретная Лаборатория № 2 была создана для решения глобальных задач в рамках атомного проекта, главным итогом которого стало создание атомной бомбы. Затем в логике развития атомного проекта мы прошли большой путь, получили огромный опыт в создании и эксплуатации мегаустановок.

Сейчас в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» на всех его площадках работают целый ряд таких мегаустановок мирового класса. Если говорить о синхротронных и нейтронных направлениях, они представлены тремя мощнейшими установками: это единственный на территории в России и на всем

постсоветском пространстве специализированный источник синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов» и исследовательский реактор ИР-8, работающие на центральной площадке в Москве, а также высокопоточный, самый мощный в мире исследовательский реактор ПИК, расположенный в Гатчине.

Курчатовский синхротрон «КИСИ-Курчатов» в октябре 2019 г. отметил свое 20-летие. Его создателем и первым директором был М.В. Ковальчук. Крупнейший специалист в этой области, он был одним из первых, кто начал развивать синхротронные исследования у нас в стране. Кстати, ему вместе с коллегами была присуждена премия Правительства РФ в области науки за 2006 г. именно за создание научно-технического комплекса на базе специализированных источников синхротронного излучения в Курчатовском институте. За эти годы были сооружены новые станции, проведены тысячи исследований, накоплен колоссальный опыт. Сегодня в Курчатовском институте на базе синхротрона «КИСИ-Курчатов» и исследовательского реактора ИР-8 работает огромная научная инфраструктура — восемь крупных научных комплексов. Благодаря этим установкам мы имеем возможность проникнуть внутрь материи, разобрать по атомам структуру любого материала, видеть, как атомы располагаются в пространстве, какие у них возникли связи и как они влияют на свойства материалов. Обладая этими знаниями, даже незначительно изменяя структуру материала и атомный состав, можно эффективно и целенаправленно влиять на его свойства. Таким образом, мы можем не только



В.В. Путин на Курчатковском источнике синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов»

понимать, как работают атомные и молекулярные механизмы, но и создавать новые материалы и изделия. Это основа нанотехнологий, нанобиотехнологий, новейшего материаловедения.

— **Знаю, что вы не ограничиваетесь собственными задачами.**

— Эти мегаустановки работают как центр коллективного пользования. Половину заявок на эксперимент на синхротроне и на реакторе ИР-8 мы получаем от внешних организаций. Идет сотрудничество, в первую очередь, конечно, с научными коллективами из разных городов, а также с производственными организациями, бизнес-компаниями. Можно сказать, что работа Курчатовского синхротрона все эти годы во многом помогла сохранить культуру синхротронных и нейтронных исследований у нас в стране, развивать методы исследований, приборы и технологии, создавать новую исследовательскую инфраструктуру, то есть сохранить темп и высокий уровень развития этой области.

Мы также активно участвуем в европейских научных проектах в этой области. Один из них — Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах (XFEL) в Германии. Это амбициозный, самый масштабный в мире проект создания рентгеновского лазера, где работает большая международная команда, в том числе задействовано большое количество научных организаций и ученых из России, которая занимает в этом европейском содружестве второе место после Германии по финансовому и интеллектуальному вкладу. Второй проект — Европейский источник синхротронного

излучения (ESRF) во Франции. Это один из самых современных источников синхротронного излучения в мире, самая передовая машина, которая недавно прошла модернизацию, причем наша страна, наши ученые активно участвовали в этом процессе.

— **Зачем нам это нужно?**

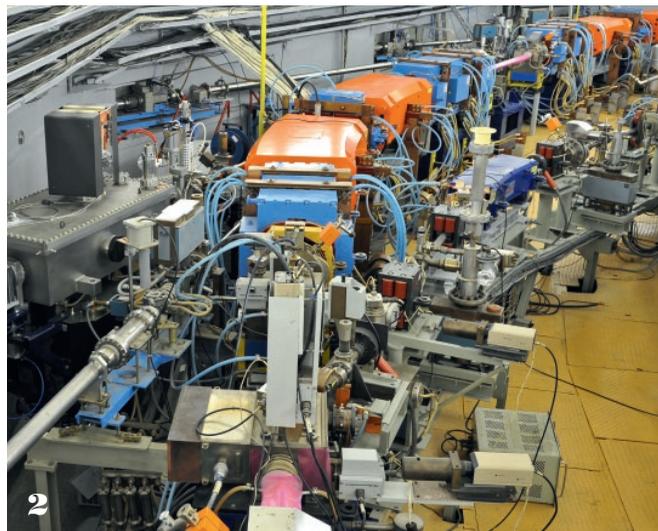
— Участие в этих проектах позволило чрезвычайно повысить наши компетенции и возможности. Более десяти российских научных организаций под руководством Курчатовского института участвовали в создании этих установок, были привлечены сотни наших ученых и инженеров.

— **Чем это оправдано?**

— Таким образом мы продолжаем на равных развивать самые передовые технологии во всем мире. Это очень важно. Есть хорошее английское выражение — *cutting edge* — то, что находится на острие ножа, на кромке лезвия. Мы все знаем, что наука сегодня интернациональна. Но научные результаты и технологии принадлежат каждой отдельной стране. Поэтому нам нужно иметь и своих специалистов, и свои мощные установки, которые будут направлены именно на развитие отечественной науки. Это одна из основных целей программы синхротронно-нейтронных исследований.

— **Что дает в прикладном смысле развитие таких исследований?**

— Простой пример. Наверняка многие видели в телевизионных передачах или в интернете изображения хаотического движения атомов. И физики прекрасно знают, что кристалл — это упорядоченная решетка, где атомы заняли свое строгое



пространственное положение, то есть образовали материал. Сейчас в эксперименте мы можем наблюдать начальное положение движения атомов из хаоса к кристаллу и конечное положение — сформировавшуюся объемную структуру. А что между этими двумя точками, как этот процесс произошел, мы не знаем. То есть, условно говоря, мы знаем счет матча, а как шла сама игра — не видели. Почему это так важно? Если мы увидим, как это происходит, то на уровне фундаментального строения материи поймем, как природа «привела» эти атомы из начального положения в конечное. А если мы поймем этот процесс, мы таким же природоподобным образом сможем сами создавать новые материалы, новую биологию, медицину, лекарства и т.д.

— **Научимся из хаоса создавать новые формы?**

— Да. Знание фундаментальных основ позволяет понимать, как работает все, что создано природой. А для чего конкретно это надо? Начну с самого важного для человека — здоровья.

Все, что происходит в организме человека, да и в любом живом организме, — это взаимодействие белков, биохимические реакции. Каждая клетка нашего организма — маленькая биофабрика, постоянно синтезирующая белки. И если эта функция нарушается, организм заболевает. У каждого белка, который состоит из десятков или сотен тысяч атомов, есть своя строгая молекулярная структура. Именно она задает все принципы работы данного белка в организме. Или же возьмем внешний раздражитель — вирус, представляющий собой огромную биологическую макромолекулу, задача

которой — проникнуть внутрь клетки, там размножиться, перейти в другую клетку (заразить) и т.д. Чтобы создать лекарство, нам надо заблокировать, например, проникновение вируса через мембрану внутрь клетки. А для этого надо понимать молекулярный механизм процесса, то есть знать структуру на уровне отдельных атомов и молекул. То же самое со многими другими белками, например бактериальными. Мы можем обезвредить палочку Коха — подобрать к одному из жизненно важных для нее белков такой препарат, который «выключит» процессы, важные для метаболизма бактерии. Если нам удалось это сделать, значит, мы создали лекарство.

— **Каким образом такое лекарство можно получить?**

— Сначала нужно изучить белок, понять, как он функционирует, — определить его пространственную структуру. Для этого нам нужен не просто белок, а кристалл белка. Предварительно необходимо выделить нужный белок, наработать его, очистить и закристаллизовать. Все эти операции мы выполняем у нас в лабораториях комплекса НБИКС-природоподобных технологий (нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных исследований). Далее кристалл белка исследуется на специализированной станции синхротрона, которая позволяет его просветить и увидеть его пространственную структуру. За этим следует процесс математической обработки, моделирования, анализа работы белковой молекулы на уровне атомных и молекулярных механизмов. И, наконец, мы последовательным образом приготавливаем препарат, который будет взаимодействовать с белком,

3



Директор НИЦ «Курчатовский институт»
 А.Е. Благов на станции
 НАНОФЭС «КИСИ-Курчатов»
 (1); большое накопительное
 кольцо Курчатовского
 синхротрона (2);
 высокоточный
 исследовательский
 реактор ПИК в Гатчине (3)

блокируя или, наоборот, ускоряя его работу, то есть создаем лекарство. Но это все очень непросто. Чего только стоит сложнейший процесс кристаллизации! «Правильный» кристалл получается всего в одном случае из тысячи, остальное — брак.

— А в природе эффективность образования кристаллов выше?

— У природы на это времени гораздо больше — эволюция шла сотни миллионов лет. Но мы не можем так долго ждать и пытаемся детально понять эти процессы, разработать новые природоподобные технологии.

— Удалось ли создать какое-то конкретное лекарство?

— Ученые априори не могут обеспечить весь процесс создания и внедрения лекарств. Должны подключаться также и другие организации, в первую очередь медицинские компании и производства. Путь от структуры белка до самого медицинского препарата — примерно десять лет, тысячи исследований и решенных белковых структур с различными соединениями, клинические испытания. Я не зря назвал палочку Коха. Это одна из идей, над которой мы сейчас работаем. Надеюсь, скоро появится новый препарат, направленный на лечение туберкулеза.

— Это очень актуальная проблема во всем мире и, в частности, в России, поскольку туберкулез, как известно, не собирается сдаваться.

— Мы стараемся концентрироваться именно на таких актуальных направлениях. Второе направление, в котором мы сейчас активно работаем на одной из станций нашего синхротрона, — создание на поверхности жидкости аналога биологической

мембраны. С помощью синхротронного излучения мы исследуем, как различные вещества, в том числе белки и лекарства, проникают через клеточную мембрану. Сейчас мы проводим исследования достаточно известного противоопухолевого химиотерапевтического препарата — и обнаружили очень интересную закономерность. Оказываются, разные типы мембран по-разному задействованы в этом процессе. В одни мембраны лекарство проникает без проблем, в другие — нет. Это значит, что мы можем задать избирательный характер воздействия этого препарата на клетку, то есть существенно снизить пагубные реакции препаратов химиотерапии на организм.

— Тоже чрезвычайно важное направление, поскольку известно, что часто люди умирают не от рака, а от побочных реакций, вызванных химиотерапией.

— Именно. Тем ценнее возможность, проводя такую коррекцию, скорее победить болезнь.

Еще одно важное направление наших исследований — микро- и наноэлектроника. Мы сейчас достигли такого размера активного (рабочего) элемента для микро- и наноэлектроники, что нужна очень высокая степень увеличения и детализации.

У нас есть особая электронная лаборатория — фактически небольшая фабрика для производства микро- и наноэлектронных устройств, которая позволяет не только создавать практически любые электронные микросхемы, но и отрабатывать технологии их создания. Расположена она непосредственно на территории экспериментального зала Курчатовского синхротрона в специальной чистой комнате высокого (четвертого)



класса чистоты. Туда выведена синхротронная станция, которая позволяет в режиме реального времени видеть, как создается микросхема. Изначально любая микросхема — это многослойная структура, напоминающая сэндвич, состоящая из нескольких слоев металла, диэлектрика и полупроводника толщиной около нанометра. Эти слои представляют собой рабочую область. Путем литографии из этой структуры формируются островки, представляющие собой нанотранзисторы. Готовая микросхема с миллионами таких нанотранзисторов вполне может уместиться на человеческом ногте. Она выполняет функцию процессора, памяти, СВЧ-устройства, и это уже далеко не фантастика.

— **Наверное, непросто такое создать?**

— Крайне непросто. Вроде бы у нас существует понимание всех этапов: как создать переход, как напылить один кристалл на другой, как сделать сверхтонкий металлический слой на поверхности полученного кристалла. Но в процессе формирования структуры происходит «размазывание» границы между слоями, один материал проникает в другой, и все это ведет к тому, что микросхема не работает. Значит, нам нужно контролировать этот технологический процесс, иметь обратную связь. И здесь, конечно, очень важно применение синхротронного излучения. Только высокая яркость синхротронного пучка и чувствительность к атомной структуре, буквально к отдельным атомам, может помочь решить эти проблемы. Никакой лабораторный микроскоп, никакие рентгеновские приборы не позволяют достичь такого качества картинки, как синхротрон.

— **А какие у вас планы на будущее?**

— Наши планы и перспективы связаны с Указом Президента Российской Федерации «О мерах по развитию синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры». В рамках этого указа мы и должны создать одноименную программу. Курчатовский институт — головная организация, которая осуществляет экспертную, методическую поддержку, координацию с международными проектами.

Развитие исследовательской инфраструктуры подразумевает создание трех новых источников синхротронного излучения и модернизацию действующего. Курчатовский синхротронный источник будет значительно модернизирован до следующего, третьего поколения. Будут заменены практически все системы линейного и кольцевого ускорителя.

На Дальнем Востоке на острове Русский будет создан источник синхротронного излучения (по типу Курчатовского синхротрона), который, несомненно, будет способствовать научно-технологическому развитию этого региона.

В Новосибирской области будет создан новый источник синхротронного излучения четвертого поколения. Это относительно небольшой ускоритель с энергией электронов 3 ГэВ. Периметр основного накопительного кольца — чуть меньше 500 м. Он позволит создать около 30 станций экспериментальных станций.

Далее — флагманский источник, самый большой, не имеющий аналогов в мире. Мы назвали этот проект «Сила» (синхротрон-лазер). Проект разрабатывается Курчатовским



Крупнейший в России действующий ускоритель протонов У-70 (1); территория Института физики высоких энергий им. А.А. Логунова НИЦ «Курчатовский институт» в Протвине (2); исследовательский реактор ИР-8 Курчатовского института (3)

институтом. С помощью исследований на этой установке мы сможем совершить колоссальный прорыв в био- и нанотехнологиях, научном материаловедении. Идею этого проекта поддержали японские партнеры из синхротронного центра *SPRING-8*, европейского синхротронного центра *ESRF* в Гренобле и германского синхротронного центра *DESY* в Гамбурге. Этот источник представляет собой накопительное кольцо и рентгеновский лазер на свободных электронах, созданные в общей инфраструктуре и базирующиеся на едином линейном ускорителе с энергией электронов 6 ГэВ. Основное накопительное кольцо будет иметь периметр более 1 км, на нем будут установлены 40 экспериментальных станций, пять экспериментальных станций будет создано для рентгеновского лазера.

— **Наверное, в Протвине?**

— Да. Сейчас там действует самый высокоэнергетичный в России протонный ускоритель У-70. Есть все необходимые условия: уникальный опыт, широкие возможности энергетического подключения, близость к другим научным центрам, подходящая геология местности.

— **Мы там были — и почти час обходили вокруг эту установку. Идешь, как по таинственному городу, какие-то углубления, помещения...**

— В Протвине есть еще 20-километровый тоннель под землей — проект советского *CERN*, который в 1990-х гг. был готов

практически на 70%, причем он был создан усилиями и возможностями собственного производства Института физики высоких энергий. К сожалению, этот масштабный пионерский проект был заморожен тогда в связи с распадом СССР. При этом благодаря созданию Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» удалось сохранить работоспособным сам институт в Протвине, мощное опытное производство, которое после некоторых реорганизаций вполне способно справиться с современными амбициозными задачами.

— **Это вдохновляет.**

— Вместе с уникальным синхротроном «Сила» в рамках программы в Протвине будет создан прототип так называемого *Spallation Source* — нового безреакторного источника нейтронов. Сейчас мы для получения нейтронных пучков используем ядерный реактор. Здесь же для получения нейтронов будет использован упомянутый ускоритель протонов У-70.

— **Когда вы говорите обо всех этих проектах, надо понимать, что для их осуществления требуется особая инфраструктура. Удастся ли ее создать?**

— Конечно. Мы работаем над ее созданием, и во многих местах она уже есть. Это относится к тому же Протвину. Хорошими примерами служат действующая инфраструктура центральной площадки Курчатовского института, исследовательская инфраструктура, создаваемая вокруг реактора ПИК в Гатчине под Санкт-Петербургом. У него, кстати, тоже непростая история. Он создавался еще в Советском Союзе, был заморожен после аварии на ЧАЭС. Но в 2010 г., когда Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова вошел в состав НИЦ «Курчатовский институт», было принято важнейшее решение о продолжении и развитии этого проекта. Сейчас мы фактически прошли стадию так называемого физического пуска и начали поэтапно технически сложную, трудоемкую процедуру энергетического пуска реактора с соблюдением всех самых строгих требований безопасности.

Так что мы имеем все основания рассчитывать, что в рамках программы развития синхротронных и нейтронных исследований в нашей стране в ближайшие десять лет будет создана самая современная распределенная сеть мегаустановок — уникальная научная инфраструктура для прорывов во многих областях науки будущего. ■

Беседовала Наталия Лескова

A wide-angle photograph of a dense tropical forest. The foreground is filled with vibrant green foliage, including large-leafed plants and a tree with a prominent white trunk. The middle ground shows a vast expanse of forest covering a valley, with a thick layer of white mist or low clouds hanging between the trees. In the background, more forested hills rise under a pale, hazy sky. The overall atmosphere is serene and mysterious.

Биологи наперегонки стремятся зафиксировать новые виды живых существ в разных регионах Колумбии. Основываясь на этих данных, они дают рекомендации по разработке экономической политики, направленной на поддержание биоразнообразия, а не его уничтожение.



УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Природа после войны

Сегодня, после 50 лет войны, Колумбия хочет создать экономику на основе биоразнообразия ее природы

Рэйчел Ньюер

ОБ АВТОРЕ

Рэйчел Ньюер (Rachel Nuwer) — независимый журналист, автор книги «Браконьерство: темный мир торговли дикими животными» (*Poached: Inside the Dark World of Wildlife Trafficking*, 2018); живет в Нью-Йорке.



лотные фиолетовые тучи весь день собирались над Кубарой, поднимая пыльный ветер и укутывая тенью и туманом лесистые холмы. Когда наконец пошел дождь, он хлынул потоком, застучав по железным крышам, как молотком, заполняя канавы и превращая дороги в реки. Группе биологов, только что прибывших из Санта-Фе-де-Богота, не оставалось ничего иного, как столпиться на крыльце в ожидании, когда же они смогут приступить к своей работе: поиску и регистрации обитающих в окрестностях видов птиц.

Подобные исследования не проводились в этом удаленном городе на северо-востоке Колумбии с 1961 г., в основном потому, что до недавнего времени это просто было слишком опасно.

Кубара находится в центре печально известной запретной зоны — района, в котором часто происходили столкновения между партизанами, военизированными формированиями и колумбийской армией. В 2016 г. правительство подписало соглашение о прекращении огня с Революционными вооруженными силами Колумбии (РВСК), крупнейшей в стране повстанческой группировкой, положив конец самому продолжительному конфликту в Западном полушарии. Хотя теперь не звучат выстрелы, воспоминания о насилии по-прежнему первым делом приходят на ум большинству людей.

Как сказал вице-мэр Кубары при нашей встрече: «Хорошо, что вы приехали. Лишь немногие едут сюда, потому что люди боятся».

Сейчас, когда наступил хрупкий мир, Кубара (и тысячи других таких же колумбийских городов) постепенно возвращается к жизни. Окончание боев ознаменовало возрождение не только для рядовых людей, стремящихся к налаживанию мирной жизни, но и для ученых из Научно-исследовательского института биологических ресурсов им. Александра фон Гумбольдта — независимой некоммерческой организации, которая надеется наконец провести оценку огромных природных ресурсов страны. На территории Колумбии, расположенной в Южной Америке между двумя океанами, пересекаемой экватором и Андами, находится 311 разных

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Колумбия — страна с одним из самых высоких в мире уровнем биоразнообразия. Но из-за полувекового военного конфликта полевые исследования здесь прекратились и наука пришла в упадок. Мирный договор 2016 г. вновь сделал многие регионы доступными страны для биологов, которые спешат описать населяющих их живых существ.
- Сотрудники колумбийского Научно-исследовательского института биологических ресурсов им. Александра фон Гумбольдта занимают особое положение среди ученых страны: они показывают, как сохранение видового богатства может обусловить устойчивое развитие ее экономики, и разрабатывают рекомендации в области экономической политики для правительства.
- В мирное время вырубка лесов не прекращается. Поэтому ученые из Института им. Гумбольдта настойчиво ратуют за широкое внедрение агролесоводства и экотуризма, которые помогут сельским областям восстанавливаться и развиваться без уничтожения окружающей среды.



Ученые объединяются с местными специалистами, такими как Саул Санчес (1, 2), для изучения разнообразия птиц и развития экотуризма. Еще одна исследовательница записывает голоса птиц с помощью параболического микрофона (3).



экологических зон: от дождевых лесов и гор до мангровых зарослей и коралловых рифов. Ученые уже обнаружили здесь фантастическое биоразнообразие — почти 63 тыс. видов живых существ, то есть 10% от общего видового богатства планеты. Только в Бразилии обитает большее число видов, но ее территория превосходит территорию Колумбии размерами в семь с половиной раз.

Многообразие жизни бросалось ученым в глаза, даже когда они прятались от дождя. Вокруг уличных фонарей порхали нарядные королевские тиранны, а у крыльца медленно ползали гигантские улитки ахатины, завезенные в Америку из Африки. Жук величиной с человеческую кисть стремительно пробежал мимо, возможно, в поисках брачного партнера, а жаба размером с грейпфрут проворно ловила снующих повсюду термитов.

Странное червеобразное существо, которое биолог Орландо Асеведо-Чарри (Orlando Acevedo-Charry) поднял с затопленной воды дороги, оказалось не змеей и не червягой, как сначала предположил ученый, а причудливой рыбой — мраморным бо́лотным угрем.

Вероятно, биологам еще предстоит открыть много видов. В ходе девяти крупных экспедиций, проведенных по всей стране с 2015 г., ученые зарегистрировали сотни видов растений, животных и грибов, десятки из которых, по-видимому, прежде науке не были известны — например, пресноводный скат с «леопардовой» окраской кожи, необычная губка, растущая на ветвях мангровых деревьев, и безглазая рыба. «Представляете, сейчас 2019 год, а мы еще даже толком не знаем своих сокровищ! — отмечает Жизель Дидье Лопес (Gisele

Didier Lopez), руководитель отдела развития в Институте им. Гумбольдта. — Мурашки по коже от мысли: "Господи, это существо всегда жило рядом, а мы об этом и не подозревали!"

Однако с наступлением мира такие места, как Кубара, не только становятся доступны для исследований, одновременно открываются возможности для развития. Начинается строительство дорог и расчистка земель, а леса исчезают. «Ландшафт меняется быстрее, чем мы успеваем изучить его, — говорит Асеведо-Чарри, занимающий пост куратора Коллекции природных звуков Института им. Гумбольдта. — Если оценку биоразнообразия Колумбии не проводить постоянно и достаточно быстро, мы лишимся его еще до того, как поймем, что именно нам надо охранять».

Орландо Асеведо-Чарри, Жизель Дидье и их коллеги из Института им. Гумбольдта стремятся не только дать объективную оценку природного разнообразия Колумбии, но и отыскать способы его превращения в основу для устойчивого развития общества и «зеленой» экономики. «Это не классический подход к охране биоразнообразия по принципу "Не трогать!", — говорит Дидье. — Наоборот, мы хотим, не уничтожая биоразнообразия, использовать его как составляющую экономического роста. Конечная цель — сделать видовое богатство капитальным активом, основой для развития страны».

С 2016 г. 123 сотрудника института вместе с другими учеными и некоммерческими организациями Колумбии и других стран напряженно трудятся над созданием своего видения «зеленой» Колумбии и разработкой путей для достижения этой цели. Дидье с коллегами, похоже, занимают особое положение в этой группе. По закону Институт им. Гумбольдта, финансирование которого осуществляется наполовину за счет государственных средств и наполовину — за счет сбора денег,

Горячие точки Колумбии

Колумбия, на территории которой находятся 311 различных экологических зон, отличается фантастическим биоразнообразием: здесь обитают 10% всех известных науке видов растений и животных. После 50 лет гражданской войны ученые спешат задокументировать и сохранить природное наследие Колумбии. Но в мирное время вырубка лесов увеличилась, поскольку территории, ранее контролировавшиеся повстанцами, стали доступными для добычи полезных ископаемых, лесозаготовок и строительства новых поселений. Из девяти горячих точек страны пять находятся в бассейне реки Амазонки.



отвечает за изучение и представление отчетов о биоразнообразии Колумбии. Но работа не ограничивается только составлением каталогов: сотрудники института ответственны за проведение научных исследований, имеющих прикладное значение, таких, что обеспечивают информацией, необходимой для принятия политических решений и в конечном итоге устраняющей разрыв между обществом и правительством. Диего Лискано (Diego J. Lizcano), специалист по биоразнообразию из организации «Охрана природы» (*Nature Conservancy*), пояснил, что, поскольку институт непосредственно связан с правительством,

официальные лица более серьезно относятся к результатам, полученным специалистами института, чем к данным неправительственных организаций и исследователей из университетов.

Тем не менее по мере ускорения темпов развития страны после конфликта радужные представления о заботливой охране и рациональном использовании биоразнообразия начинают мало-помалу меркнуть. Несмотря на сравнительно весомый авторитет Института им. Гумбольдта, наблюдатели говорят, что охрана окружающей среды находится на последнем месте в списке приоритетов правительства и на большей части территории страны продолжается опустошительная вырубка лесов. Жизель Дидье описывает такой путь развития, как «бульдозером сравнять все с землей. Все поставлено под угрозу».

Война и (зеленый) мир

То обстоятельство, что сегодня в Колумбии сохранилось такое множество видов живых существ и их местообитаний, отчасти стало побочным эффектом конфликта. Гражданская война официально началась в 1964 г., когда представители крестьянского класса, группа, состоявшая преимущественно из мелких фермеров, шахтеров и работников, занятых в сельском хозяйстве, восстала для борьбы с колоссальным неравенством и сформировала РВСК. Из-за конфликта, продлившегося полвека, были заморожены не только экологические исследования, но и процесс разрушения окружающей среды в некоторых районах.

Миллионы сельских жителей бежали из деревень в поисках убежища в городах, дав природе возможность вернуться к естественному состоянию. Повстанцы приказывали оставшимся сельчанам держаться подальше от лесных дорог и запрещали им вырубать деревья. То, что начиналось как идеологическая борьба за марксистско-ленинское правительство, превратилось в конфликт, преимущественно подпитываемой жадностью получения прибыли, особенно от продажи наркотиков. Рядом с лесными лагерями быстро появились плантации коки и лаборатории по производству кокаина. «Партизанам было выгодно наличие лесов, где они могли скрыться, а другие люди не смели туда ходить, — говорит Дидье. — Как следствие, в горячих точках конфликта сохранилось высокое биоразнообразие».

За расширением оборота наркотиков последовал рост насилия. Любой ученый, посмеявшийся вторгнуться в районы, контролируемые повстанцами, делал это с риском для собственной жизни. Похоже, едва ли не каждый полевой исследователь страны может поделиться историей о том, как его похитили, допрашивали под дулом пистолета или иным способом прогнали от мест исследования. «Десять лет назад самую большую опасность,

с которой можно было столкнуться на месте исследования, представлял человек», — рассказывает Лискано, которого повстанцы схватили, когда он разыскивал тапиров, и продержали два дня в заложниках. Лискано продолжил свою работу в другом районе, но остальные исследователи либо прекращали свои изыскания, либо вообще не начинали их, а многие ученые предпочли и вовсе покинуть Колумбию или сменить род занятий. Экологические знания пришли в состояние застоя.

Надежда на перемены появилась в связи с принятием одного из почти 600 условий мирного соглашения 2016 г.: страна должна устойчиво развиваться для улучшения уровня жизни всех колумбийцев, а не только городских жителей, доля которых составляет по меньшей мере три четверти всего населения. Этот пункт направлен в основ-

То, что начиналось как идеологическая борьба за марксистско-ленинское правительство, превратилось в конфликт, преимущественно подпитываемой жадностью получения прибыли, особенно от продажи наркотиков

ном на снижение недовольства в сельских районах, которое и стало поводом для начала конфликта. Маргинальным сельским жителям (многие из которых — представители 112 малых этнических групп Колумбии) обещаны возможность получения образования, доступ к чистой воде, субсидии на программы развития территорий, ранее удерживаемых повстанцами, и строительство дорог, соединяющих их общины с остальными районами страны. Тех, кто незаконно занимается возделыванием коки, поощряют перейти на выращивание легальных сельскохозяйственных культур в обмен на выплату денежных средств и помощь правительства.

«Поскольку многие наши проблемы связаны с низким уровнем жизни, образования и здравоохранения в сельских районах, именно эти аспекты соглашения представляли для меня главный интерес, — говорит Хулия Миранда Лондоньо (Julia Miranda Londoño), генеральный директор Системы национальных парков Колумбии. — Если бы развитие нашего общества было более справедливым,

людям не пришлось бы искать другие способы зарабатывать на жизнь, такие как выращивание коки или незаконная добыча ископаемых».

Хотя ученые из Института им. Гумбольдта и другие исследователи считают, что биоразнообразие может сыграть ключевую роль в таком справедливом развитии общества, главный вопрос заключается в том, как этого добиться в рамках всей страны. Колумбийцы не хотят, чтобы их государство пошло по пути Сан-Мартина — региона в Перу, который быстро развивался после военного конфликта, но сегодня из-за полного уничтожения лесов сильно страдает от частых серьезных пожаров, оползней и наводнений. Разрабатывая планы развития страны, ученые не могут полагаться и на положительный опыт по сохранению природы в таких странах, как Коста-Рика и Руанда, которые намного меньше Колумбии и не были раздираемы войной в течение 50 лет. Скандинавские страны представляют собой передовой пример рационального использования энергии и природных ресурсов, но в отличие от Колумбии эти государства относятся к числу одних из самых мощных мировых экономик.

Поэтому Колумбия намерена выработать собственный путь развития под руководством Национального управления планирования и при поддержке ученых страны. Этот проект включает создание процветающей индустрии экотуризма, а также разнообразные шаги по развитию новой биоэкономики — от помощи коренному населению и жителям сельских районов в получении прибыли от биоразведки (поиска лекарственных, съедобных и других коммерчески выгодных растений и животных) до использования технологий, способствующих развитию аквакультуры, и увеличения повторной переработки отходов. Министерство финансов рассматривает законопроект, согласно которому налог на выбросы углекислого газа от сжигания топлива, в настоящее время применяемый по отношению к шести видам жидкого топлива, будет включать также каменный уголь и газ. Кроме того, правительство намерено создать первый в стране крупный комплекс возобновляемых источников энергии и утвердило целевую группу, занимающуюся реорганизацией энергетической системы.

Основное внимание сосредоточено на реформировании сельского хозяйства Колумбии — отрасли, где в течение последующих 15 лет ежегодный рост производства должен составить 2,5%, а площадь используемых земель при этом должна увеличиться на 44%. «Наши методы использования земель крайне деструктивны», — говорит Бриджитт Баптист (Brigitte Baptiste), которая десять лет возглавляла Институт им. Гумбольдта, а недавно заняла пост ректора Университета EAN в Санта-Фе-де-Богота. Владельцы ранчо полностью

вырубают деревья на каждом акре (0,4 га) земли для выпаса всего пары коров. Оросительные системы невероятно устарели и расточительны; это, по словам Баптист, признают даже сами их производители. А объемы применения пестицидов, отравляющих фермеров и загрязняющих окружающую среду, — одни из самых высоких в мире.

По мнению Баптист и ее сотрудников, одна из альтернатив — переход к агролесоводству, масштабы которого в Колумбии могут быть огромными. При таком методе ведения сельского хозяйства деревья не вырубаются, а выращивание зерновых и выпас скота осуществляются на тех же площадях, что заняты лесом; это обеспечивает ряд преимуществ — например, лучшее водоснабжение и смягчение последствий наводнений и засухи. Около 70% сельскохозяйственных земель Колумбии используется для выпаса крупного рогатого скота, но страна также выступает крупнейшим экспортером какао, используемого для изготовления шоколада, занимает третье место в мире по производству кофе и четвертое — по производству пальмового масла. Если бы агролесоводство было введено на территории всей Колумбии, будущие леса страны стали бы не просто островками биоразнообразия посреди окультуренных людьми ландшафтов, а превратились бы во взаимосвязанную природную матрицу, поддерживаемую частными землевладельцами.

В Кубаре вдоль большей части дороги, ведущей в город, тянутся бесплодные поля со срубленными деревьями, где скот пасется около пней. Как и во многих других сельских районах Колумбии, переход к агролесоводству происходит медленно, хотя здесь он преимущественно связан с деятельностью простых людей, которые не ждут, пока в этот процесс вмешается правительство. Когда Моника и Увальдино Вилламисар (Monica & Uvaldino Villamizar), занимающиеся органическим земледелием, в 2006 г. решили перейти к коммерческому выращиванию какао, они спланировали свои плантации так, чтобы здесь могли произрастать еще 20 видов деревьев. Руководствуясь информацией, предоставленной Национальной федерацией производителей какао, Вилламисары сохранили на своих землях богатую дикую растительность и места гнездования птиц. Фермеры говорят, что разнообразие жизненного пространства позволяет получать более высокие урожаи из-за более подходящего для растений соотношения освещенности и затененности. «Конечно, мы довольны этой системой; именно благодаря ей моя семья может прокормиться, а моя дочь — учиться. Она хочет стать инженером-строителем», — говорит Увальдино.

По всему миру агролесоводство и прочие «экологические» методы ведения сельского хозяйства нередко стимулируются правительствами или некоммерческими организациями путем предоставления



Увальдино Вилламисар (1) выращивает какао, применяя методы агролесоводства. Такие экологически безопасные методы помогают сохранить биоразнообразие Колумбии, в том числе виды растений и животных (2, 3, 4), открытые за последние несколько лет.



налоговых льгот или прямых платежей. Так, за последние десять лет организация «Охрана природы» при финансовой поддержке Всемирного банка и правительства Великобритании субсидировала более 4 тыс. фермеров по всей Колумбии с целью внедрения агролесоводства на 27 тыс. га малопродуктивной земли с высоким уровнем биоразнообразия — в частности, для занятия экологически безопасным животноводством. При такой системе фермеры выращивают на своих землях более 50 местных видов деревьев, обеспечивающих тень и корм для их коров. Одновременно эти деревья служат местами обитания для других видов животных, а также осуществляют фотосинтез.

С тех пор как началась реализация проекта «Охраны природы», участвующие в нем фермеры сообщают об увеличении до 80% производства молока и мяса. Доходы фермеров также выросли, поскольку

экологически безопасные продукты стоят дороже в городах, таких как Санта-Фе-де-Богота, где все больше людей готовы покупать по более высокой цене ответственно произведенные органические продукты: мясо, молоко, шоколад и др. Две колумбийские компании по производству мясной и молочной продукции уже закупают и рекламируют продукты, произведенные на фермах, где не проводилась вырубка леса. Все большее число ресторанов, в том числе популярная национальная сеть *Crepes & Waffles* («Блинчики и вафли»), также начинают закупать такие продукты, зачастую под давлением клиентуры. «Местный рынок вполне готов к купле-продаже молока, мяса и зерновых, произведенных фермерами, не вырубавшими лес», — считает Лискано.

Министерство сельского хозяйства стремится к концу 2019 г. принять новую стратегию устойчивого экологически безопасного животноводства.

Ученые и неправительственные организации добивались этого шага несколько лет. Каролина Харамильо (Carolina Jaramillo), представительница Колумбии в Институте глобальной растительности, говорит, что реализация политики, обеспечивающей экономическое стимулирование и материально-техническую поддержку такой стратегии, стала бы свидетельством «серьезных культурных, финансовых и технологических преобразований на территории всей страны».

Неопределенный прогноз

Несмотря на все имеющиеся перспективы, отмечает Андрес Гомес (Andres Gomez), ведущий эксперт по биоразнообразию из международной компании консалтинговых услуг *ICF International*, для Колумбии характерны «те же самые препятствия и недостаток политической воли, как и для любой другой страны, пытающейся создать устойчивую экономику». Кроме того, в Колумбии существуют и особые проблемы: ряд регионов страны продолжают страдать от незаконного оборота наркотиков; между представителями 112 этнических меньшинств и правительством остаются крайне напряженные отношения; страна столкнулась с миграционным кризисом, вызванным падением экономики и беспорядками в соседней Венесуэле. А между тем Национальная освободительная армия, еще одна повстанческая группировка, пока не присоединилась к мирному соглашению.

Наибольшую угрозу для биоразнообразия страны представляет вырубка лесов. По сравнению с 2015 г. в 2016 г. обезлесение выросло на 44%, и хотя за последние восемь лет Колумбия вдвое увеличила размер охраняемых зон, 84% вырубки лесов осуществляется именно на этих землях. По данным Института им. Гумбольдта, за период с 2013 по 2017 г. свыше 40,5 тыс. га леса было вырублено на территории национальных парков.

Ученые не проводили точный анализ основных причин таких потерь, но называют ряд сил, вносящих значительный вклад в этот процесс. В одних регионах это связано с незаконной золотодобычей и лесозаготовками, в других — с выращиванием коки. Захват земель с последующей перепродажей — распространенный способ отмывания денег, полученных в результате незаконной

деятельности, отмечает Бриджитт Баптист, а коррупция этому способствует. Кроме того, многие из 6,9 млн внутренне перемещенных граждан Колумбии начали возвращаться в родные поселения в сельской местности и предъявляют претензии на землю. Миранда Лондоньо говорит, что переселенцы вырубали леса, «заявляя, что они пострадали от войны. Но нельзя совершать преступления ради решения своих проблем». Харамильо считает, что в Колумбии необходима «серьезная земельная реформа», которая могла бы предоставить беднякам доступ к землям, на которых леса уже сведены. Но, по ее словам, в настоящее время такой масштабный проект не рассматривается.

Попытки противостоять вырубке леса незави-

симо от того, что становится ее причиной, смертельно опасны. В 2017 г. в Колумбии были убиты более 30 защитников окружающей среды, а смотрители нацпарков, препятствующие захвату земель, регулярно получают угрозы. Баптист объясняет, что в законодательстве Колумбии четко определен противозаконный характер вырубки лесов и суды располагают надлежащими полномочиями для вынесения наказания тем, кто вовлечен в такую деятельность, но у страны по-прежнему ограничены возможности правоприменения на местах. Несмотря на множество арестов, при-

знаки того, что вырубка лесов сокращается, практически отсутствуют.

В готовящейся к печати статье ученые из Института им. Гумбольдта проанализировали закономерности обезлесения с 2000 г. по 2015 г. для определения ключевых факторов этого процесса, включая строительство дорог, наличие плантаций коки и вооруженный конфликт. Ученые использовали эти данные для разработки прогнозной модели и заключили, что если условия не изменятся, то к 2050 г. Колумбия потеряет еще свыше 7,2 млн га лесов — 7% всего лесного покрова страны. Более 50% лесов будет утрачено в зонах, затронутых конфликтом.

В конечном итоге судьба этих лесов и других природных ресурсов зависит от того, будут ли колумбийцы воспринимать окружающую среду как основу новой «зеленой» экономики и перестанут ли относиться к ней как к препятствию на пути улучшения их благосостояния. «До тех пор

Если агролесоводство будет введено на территории всей Колумбии, будущие леса страны станут не просто островками биоразнообразия, а взаимосвязанной природной матрицей, поддерживаемой частными землевладельцами

пока в сознании людей не укоренится мысль, что из биоразнообразия можно извлекать пользу, с охраной природы ничего не получится», — говорит Хосе Мануэль Очоа Кинтеро (Jose Manuel Ochoa Quintero), координатор программы в Институте им. Гумбольдта.

Взяв на себя ведущую роль в продвижении этого проекта, Бриджитт Баптист превратилась в своего рода знаменитость. Она известна в Колумбии как харизматичная личность, пропагандирующая охрану окружающей среды, регулярно появляется на телевидении, ее часто цитируют в СМИ. То же самое можно сказать и обо все большем числе известных людей, выступающих против вырубки лесов.

По-видимому, культурная среда в Колумбии начинает меняться. Когда новый президент страны Иван Дукэ Маркес занял свой пост в августе 2018 г., его администрация планировала прекратить вырубку лесов, обработав плантации коки гербицидами, что опять же привело бы к потере тысяч квадратных километров дикой природы. Однако это намерение вызвало серьезные протесты общественности и СМИ, и администрация Дукэ начала разрабатывать новый проект. Теперь обезлесение считается угрозой национальной безопасности.

Если и существуют признаки оживления общественной заинтересованности в биоразнообразии, то, возможно, это связано с тем фактом, что в Колумбии встречается около 20% всех обитающих на планете видов птиц. Согласно статье, опубликованной в 2017 г. в журнале *Tropical Conservation Science*, огромным потенциалом обладает туризм, связанный с наблюдением за птицами. (Авторы указывают, что в Перу в 2013 г. туристический поток, связанный с наблюдением за птицами, увеличился вдвое по сравнению с 2012 г. и теперь приносит \$89 млн ежегодного дохода, большая часть которого остается в местных общинах.) Несмотря на такое богатство птичьей фауны, Колумбия лишь в 2015 г. впервые приняла участие в проводимом Корнеллским университетом ежегодном состязании *Global Big Day*, в ходе которого любители птиц всего мира соревнуются, чтобы выяснить, в какой из стран удастся зарегистрировать наибольшее число видов пернатых за 24 часа. В 2017 г., после двух лет «бесславного участия» (по словам Асеведо-Чарри) в этом соревновании, Колумбия одержала в нем победу, зафиксировав 1486 видов птиц. Национальная гордость была восстановлена.

Колумбия уверенно подтвердила свое звание чемпиона и в 2018 г. Государственные радиостанции транслировали рекламу, поощряющую участие в состязании, а телеканалы и газеты уделяли особое внимание рассказам об этом событии. Блиц принес плоды: на 730 природных площадках

за птицами наблюдали около 4,5 тыс. любителей пернатых, в том числе представители полиции и ВВС. В Кубаре Орландо Асеведо-Чарри, Хоана Сулуага-Бонилья (Johana Zuluaga-Bonilla), президент Ассоциации орнитологов департамента Бояка-Иксобрикус, и Саул Санчес (Saul Sanchez), бывший охотник, ставший защитником природы, втроем зафиксировали в общей сложности 111 видов птиц; в результате «сомнительный» регион, отмеченный на карте знаком вопроса, превратился в один из районов с документально подтвержденной богатейшей орнитофауной. По всей стране наблюдатели увидели и услышали 1546 видов птиц — как написали организаторы соревнования, невероятное количество видов птиц, зарегистрированное в одной стране за один-единственный день. В 2019 г. Колумбия вновь одержала победу в этом состязании.

Когда бывшие охотники, фермеры, выращивавшие монокультуры, и лесорубы начинают заниматься наблюдением за птицами, экотуризмом и агролесоводством, не исключено, что со временем такой энтузиазм может обернуться для сельских жителей новыми экономическими выгодами. «Еще каких-нибудь десять лет назад нельзя было даже представить, что колумбийцы будут с удовольствием наблюдать за птицами и гордиться богатством своей птичьей фауны, — не говоря уже о том, что Колумбия сможет превратиться в страну, живущую и развивающуюся за счет своего природного достояния», — говорит Орландо Асеведо-Чарри. Поскольку все больше людей постепенно принимают такую точку зрения, появляются признаки того, что ситуация может измениться: анализ спутниковых снимков, недавно проведенный специалистами из Университета Медельина, показывает, что по сравнению с началом 2018 г. темпы обезлесения снижаются. «Экономика на основе биоразнообразия дает надежду тем, кто больше всего в этом нуждается», — говорит Асеведо-Чарри. — Она уже меняет жизни людей. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Пиор А. Хранители народа тигра // ВМН, № 4, 2019.
- *Chocolate of Peace*. Documentary directed by Gwen Burnyeat and Pablo Mejia Trujillo, 2016. Доступно по адресу: <https://vimeo.com/179038624>
- *Greening Peace in Colombia*. Brigitte Baptiste et al. in *Nature Ecology & Evolution*, Vol. 1, Article No. 0102; March 1, 2017.
- *Colombia: After the Violence*. Sara Reardon in *Nature*, Vol. 557; May 2, 2018.

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Священные рощи

Сельские жители в Индии возрождают древнюю традицию, поскольку это дает им экологические выгоды

Мадхав Гаджил



Священная роща Понад Кадья — один из десятков тысяч охраняемых уголков в Индии. Они служат убежищем для многих редких видов растений и животных, а часто и источником воды для местных деревень.

ОБ АВТОРЕ

Мадхав Гаджил (Madhav Gadgil) — основатель Центра экологических наук в Индийском научном институте. Благодаря его исследованиям был создан первый в Индии биосферный заповедник в горах Нилгири. Ему присуждено множество наград, в том числе Падма бхушан и Премия Тайлера за достижения в области охраны природы.



В середине марта в 2014 г. мы сидели под мадукой (*Madhuca longifolia*) в холмистой, покрытой лесом местности в самом сердце Индии и завтракали местным рисом, ростками фасоли и рыбным карри. Время от времени на нас осыпались сочные лепестки мадуки, поэтому на десерт мы получили освежающее сладкое кушанье. Я был в гостях у народности гондов. Эти жители деревни Мендха индийского штата Махараштра четверть века назад заявили, что они и только они будут управлять богатыми природными ресурсами региона. С тех пор я работал вместе с ними как полевой эколог, помогая разрабатывать стратегии управления разнообразными биологическими ресурсами. В тот день я с нетерпением ожидал возможности посетить те семь участков леса, которые были названы новыми священными рощами. Их площадь составила более 12% от 1,8 тыс. га общинных лесов.

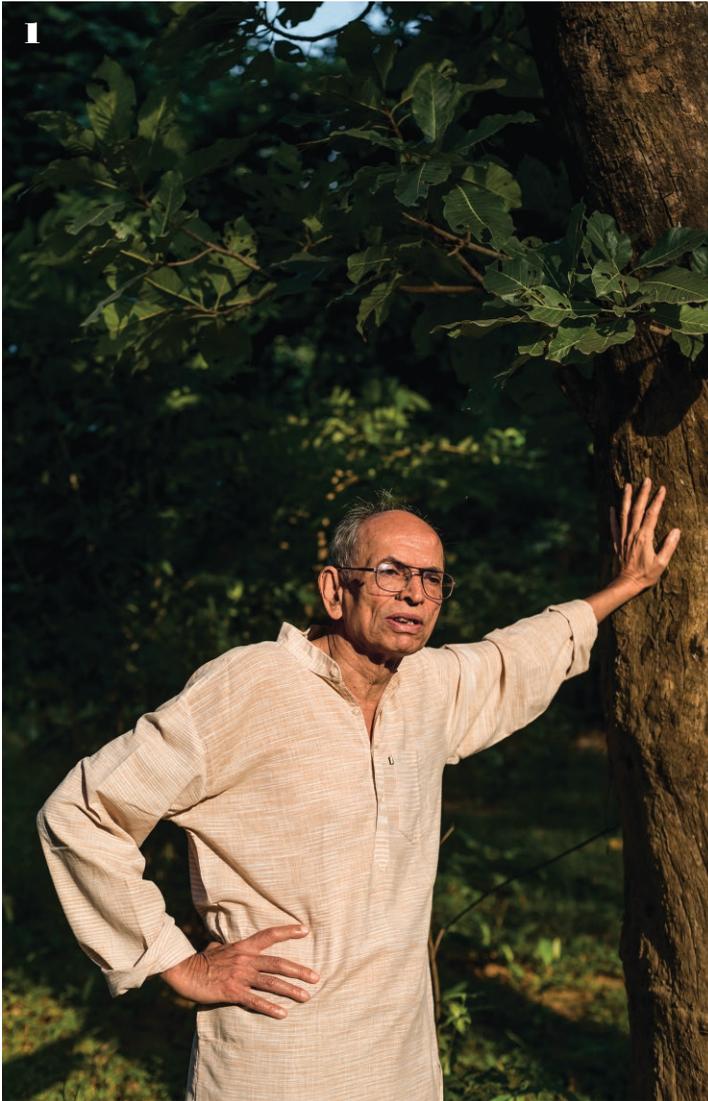
Священные рощи — наследие древних традиций охраны природы, это участки леса, которые сельские общины развивающихся стран оберегают и почитают как священные. Глубокие религиозные убеждения населения гарантируют, что на территории такой рощи не будет срублено ни одного дерева и не пострадает ни одно живое существо. (Однако во времена крайней нужды, например если сгорает деревня, можно просить у богов разрешения добыть немного древесины для восстановления деревни.) Такие рощи — клад для натуралистов, зачастую они служат последним убежищем для великолепных и древних деревьев, а также для лиан, лекарственных растений,

макак, оленей, птиц, ящериц, лягушек и других существ, которые редко встречаются где-то еще на этой территории.

Первоначально священные рощи были широко распространены в Старом Свете, они упоминаются в классических произведениях на греческом языке и санскрите, но с приходом христианства с присущим ему антропоцентризмом в Европе они были фактически уничтожены. Говорят, что христианская церковь с ее уходящими ввысь колоннами и приглушенным светом, просачивающимся сквозь цветные витражи, напоминает священные рощи. Такие рощи до сих пор встречаются в некоторых частях Ближнего Востока, Африки и Азии.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Священные рощи — это участки нетронутого леса, охраняемые местными жителями как обитель богов. Живущие здесь «экосистемные люди» черпают средства к существованию из окружающей среды и ценят природу за ее дары.
- Добыча ресурсов в колониальный период разрушила существовавшую с древних времен сеть священных рощ в Индии. Однако тысячи рощ сохранились, а некоторые создаются заново ради той экологической пользы, которую они приносят местным жителям.
- Если дать людям, живущим в таких экосистемах, возможность защищать свою среду обитания, это может стать важным шагом для сохранения девственных территорий. Ключевое решение в этом направлении — индийский закон 2006 г. о праве пользоваться лесом, который предоставляет общинам права на управление соседними лесами.



Мадхав Гаджил (1) опирается на мадуку, которую охраняют жители деревни Мендха в штате Махараштра. Мадука (2) — священное дерево для многих жителей лесов и деревень в центральной и восточной Индии. Ее питательные цветы употребляют в пищу и используют при приготовлении алкогольных напитков для религиозных церемоний. Однако департамент лесного хозяйства Индии уничтожает мадуки, заменяя их коммерческими видами деревьев.

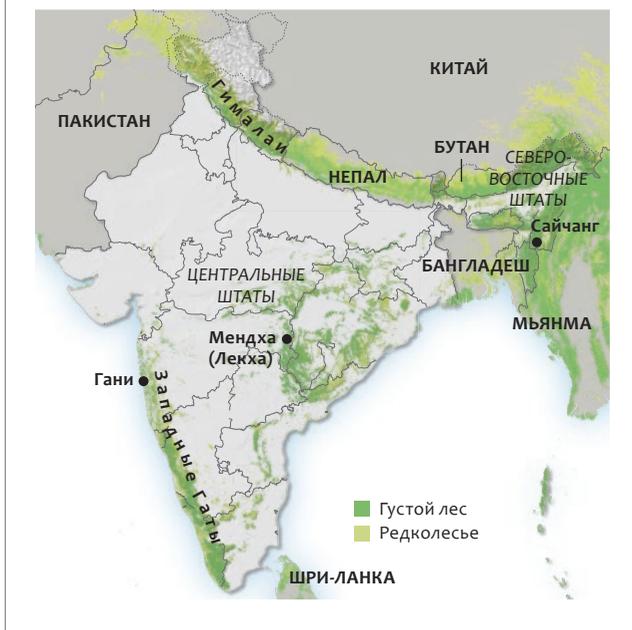
За полвека я исследовал много священных холмов, участков рек, прудов и рощ в Индии, Бутане и Японии. Я наблюдал, как священные рощи уничтожались, сохранялись, возрождались и даже создавались заново, несмотря на явную враждебность со стороны государства. Экологический кризис на индийском субконтиненте, вызванный безжалостной коммерческой эксплуатацией природных ресурсов, способствовал активному возрождению этих священных уголков. Древнее почитание природы часто высмеивается как примитивное суеверие, однако возврат к данной традиции — самая многообещающая новость в индийской экологии за последние десятилетия.

Обычно охрана природы навязывается сверху, такая стратегия была разработана еще при

создании Йосемитского национального парка, который был основан в 1890 г., после принудительного изгнания коренных американцев, живших на этой территории. Как писал журналист Марк Доуи (Mark Dowie) в 2009 г. в книге «Природоохранные беженцы» (*Conservation Refugees*), западная концепция освобождения дикой природы от людей была навязана всему миру. Крупные природоохранные организации в сотрудничестве с правительствами развивающихся стран создали охраняемые территории для таких харизматичных животных, как тигры и львы, выгнав миллионы людей из лесов и саванн, где они жили столетиями. Эти выселения не только причинили огромные страдания, но и оказались неэффективными в качестве природоохранной стратегии.

Леса Южной Азии

Священные рощи разбросаны по всей Индии, но чаще встречаются в лесных районах, таких как Западные Гаты, Гималаи, северо-восточные и центральные гористые штаты. В этих уголках ютятся многочисленные виды деревьев, лиан, лекарственных растений, животных, птиц, ящериц, змей, лягушек и иных существ, которые теперь редко встречаются в других местах.



Часто местные жители заботились о лесе и защищали его биоразнообразие такими способами, которые стали понятны не сразу: например, контролируемое разведение огня помогало удалить заносные кустарники или способствовало прорастанию семян ценных деревьев.

Поэтому во всем мире в последние годы набирает силу принципиально иная стратегия охраны природы — в виде инициативы снизу. Около 40% лесов, богатых дикими видами, до сих пор охраняются местным населением, обитающим в лесу или рядом с ним. Расширение прав этих людей, живущих вплотную к природе и имеющих возможность напрямую наблюдать и ценить ее многочисленные дары, может оказаться наиболее эффективным способом защитить оставшееся биоразнообразие на планете.

Путешествие по Западным Гатам

Моя любовь к священным рощам зародилась в августе 1971 г. Вскоре после того, как я получил докторскую степень в Гарвардском университете и вернулся в Индию, я отправился на экскурсию с моим бывшим учителем ботаники В.Д. Вартаком (V.D. Vartak). Мы пошли на север Западных Гат — гор, образующих цепь вдоль западного

края Индийского полуострова. Я вырос в этих краях и все сильнее огорчался, видя голые размытые склоны, которые до начала 1960-х гг. были покрыты влажными тропическими лесами. Внезапно мы наткнулись на участок размером в 5 га с роскошным вечнозеленым лесом, среди которого возвышались четыре дерева дхупа (*Canarium strictum*) — самые северные представители вида, который обычно встречался в 500 км к югу отсюда. Вартак объяснил, что эта роща, называемая Дхупрахат, сохранилась, потому что считалась священной, посвященной местной богине-матери, и что по всем Западным Гатам разбросаны и другие такие остатки первозданной растительности.

Вернувшись, я прочел про священные рощи. Хотя они часто упоминаются в литературе в связи с культурными и религиозными взглядами, я не нашел никаких систематических исследований этого явления ни с экологической, ни с социальной стороны. Защитники природы в основном предполагали, что существование таких рощ связано с сохранившимся поклонением природе, характерным для всех примитивных обществ, и рощи не имеют никаких нерелигиозных функций и поддерживаются исключительно из-за суеверий. Из данной гипотезы следует, что священные рощи должны быть сосредоточены в религиозных местах, таких как горные вершины или истоки рек.

Мне казалось более правдоподобным, что хотя люди защищают священные рощи по религиозным причинам, в основе этого лежит вполне земная выгода, например сохранение источников пресной воды. Если такая гипотеза верна, то расположение священных рощ не будет ограничено определенными местами, они будут встречаться на всей территории. Я начал собирать информацию для проверки своего предположения.

Это был интересный опыт: я путешествовал по северной части Западных Гат, находил большие священные рощи, записывал их размеры, отмечал их расположение в рельефе, виды растений и животных, ближайшие деревни и сельскохозяйственные территории и расспрашивал местное население про традиции, верования и экологические представления. Гостеприимные жители с готовностью отвечали на мои вопросы и приглашали разделить трапезу и переночевать под их крышей.

Полученные данные четко свидетельствовали о том, что люди понимают и ценят те выгоды, которые они получают от экосистем, и охраняют священные рощи потому, что рассчитывают их использовать. Там сохраняются источники воды и прячутся животные, которые истребляются в других местах. Один из наглядных примеров — племя джену курубас в горах Нилгири. Их название переводится как «сборщики меда», они добывают его, разводя огонь под ульями диких пчел, везде где находят ульи, но только не в священных рощах.

Они прекрасно понимают, что запрет на повреждение ульев в священных рощах обеспечивает сохранение популяций пчел.

Колониальная гордыня

Люди в Мендха и джену курубас считают себя частью объединения, куда входят не только люди, но и горы, реки, деревья, звери и птицы. Принадлежа к такому нечеловеческому сообществу, они получают пользу, поэтому должны отвечать тем же, ограничивая использование ресурсов, почитая и защищая природу. Такое восприятие должно быть характерно для всех ранних культур и для современных охотников-собираателей.

Необходимость защищать дикую природу обострилась, когда люди начали выращивать растения и радикально менять исходные экосистемы. Сельское хозяйство появилось в Северной Индии около 6 тыс. лет назад. Участок леса расчищался под посадки, а через два или три года его оставляли и расчищали новый. Такой подход называется «переложное земледелие». Индолог Д.Д. Косамби (D.D. Kosambi) предположил, что в то время, вероятно, возникла традиция постоянно защищать от вырубки определенные участки леса — священные рощи — и никогда не вырубать ценные деревья, такие как мадука или фикусы, дающие необходимые ресурсы. Сохранение священных рощ оставалось частью землепользования, даже когда на смену переложному земледелию пришли постоянные поля.

Вместе с оседлым земледелием стали появляться первые города-государства. Ведийские царства сменили Индскую цивилизацию примерно 3,5 тыс. лет назад. Согласно интерпретации эпоса «Махабхарата» антропологом Иравати Карве (Irawati Karve), эти ранние государства расширили свои

**«Кто хозяин этого леса?
Ни правительство, ни
деревня, ни кто-то из нас.
Настоящие хозяева — те,
кто еще не родился. Мы
всего лишь хранители».**

Дукку Чамару Тофа



Старейшина гондов в Центральной Индии Дукку Чамару Тофа поддерживает древние традиции охраны природы, одинаковые у охотников-собираателей и переложных земледельцев во всем мире

границы через Гангский бассейн, выжигая леса, чтобы выгнать охотников-собираателей и освободить больше участков для пастбищ и сбора налогов. По мере того как обработка земли распространялась по равнинам, возникала нехватка ресурсов. По имеющимся сведениям, хотя и открытым, сократилось плодородие почвы и, возможно, количество осадков, а листовая перегной, фруктовые деревья, дичь и другие лесные ресурсы оказались в дефиците. Как показывают исследования историка Ромилы Тапар (Romila Thapar), религии джайнизм и буддизм, проповедующие вегетарианство и другие формы ограничения потребления, возникли именно в то время, как непосредственная реакция на экологический кризис. Эти верования укрепили местную традицию защищать рощи. Сам Будда родился в священной роще

Лумбини примерно 2,6 тыс. лет назад. Суфийский ислам, распространившийся по Индийскому субконтиненту в X в., тоже поддерживал эти природоохранные традиции.

Когда в 1757 г. началось завоевание Индии английской Ост-Индской компанией, тысячелетние экологические традиции были уничтожены. Первые британские путешественники описывали Индию как древесный океан, но компания быстро изъяла общественные земли. Поля, ручьи, пруды и другие ресурсы отобрали у жителей деревень, они стали собственностью государства, многое было передано помещикам, которые были готовы платить огромные налоги, вымогая их в свою очередь у теперь безземельных работников и арендаторов. Чтобы расширить поля, помещики уничтожили большинство священных рощ в своих владениях. Впоследствии государство присвоило практически все леса, заявив, что, управляя ими, будет использовать просвещенный научный подход. Контроль со стороны местного населения и связанные с ним природоохранные меры были объявлены полностью незаконными.

Особенно жесткой критике было подвергнуто переложное земледелие, господствовавшее в центральной части лесной полосы, к которой относилась и Мендха. Местные жители напрасно уверяли, что их подход не разрушителен: расчищенные участки оставляли зарастать в течение 15 лет. Более того, они никогда не трогали мадуку, поскольку эти деревья считались священными. Под британским правлением ради заготовки древесины был стерт с лица земли весь лес, включая огромные древние мадуки.

К 1860 г. индийские леса были существенно истощены — и, чтобы снизить темпы их уничтожения, генеральным инспектором леса был назначен немецкий ботаник Дитрих Брандис (Dietrich Brandis). У самих британцев было мало опыта в управлении лесным хозяйством, поскольку лес на своих островах они давно уже извели. Восхитившись тем, как индийские общины превосходно управляли лесами, Брандис высказал сожаление по поводу уничтожения когда-то обширной сети священных рощ и предложил оставить значительную часть леса на попечение народа. Колониальное правительство неохотно, но согласилось, однако до 1930 г. данное постановление не выполнялось, а позже реализовывалось в ограниченных масштабах. Вместо этого департамент лесного хозяйства превратился в крупнейшего землевладельца, контролирующего в итоге более одной пятой территории страны. Права местного населения на лес были отменены.

Поскольку древние права на лес больше не признавались, местные жители теперь не могли препятствовать вторжению чужаков и безжалостной эксплуатации ресурсов. Статус ресурсов

Женщины Мендхи, в том числе Джайаванта Дайарам Дуга (Jaiyawanta Dayaram Duga, 1), Джайаванта Деваджи Кадан (Jaiyawanta Dewaji Kadar, 2), Сангита Васант Амала (Sangita Vasant Atala, 3) и Бхагрима Кисан Халми (Bhagrita Kisan Halmi, 4), сыграли ведущую роль в протестах против каменоломни, которая способствовала повреждению леса и ставила под угрозу сохранность священного места Джайтур Пен. Сейчас каменоломней управляет женский кооператив, названный «Дантешвари» в честь местной верховной богини.

сменился с «общинного контроля» на «свободный доступ». Элинор Остром (Elinor Ostrom), получившая за свои исследования Нобелевскую премию по экономике в 2009 г., объединив теоретические, полевые и экспериментальные исследования, показала, что наличие общего имущества со свободным доступом, как правило, приводит к злоупотреблениям. Умеренное использование или полная защита природных ресурсов, находящихся в общественной собственности, возможны только при наличии жесткого общественного контроля.

Экосистемные люди

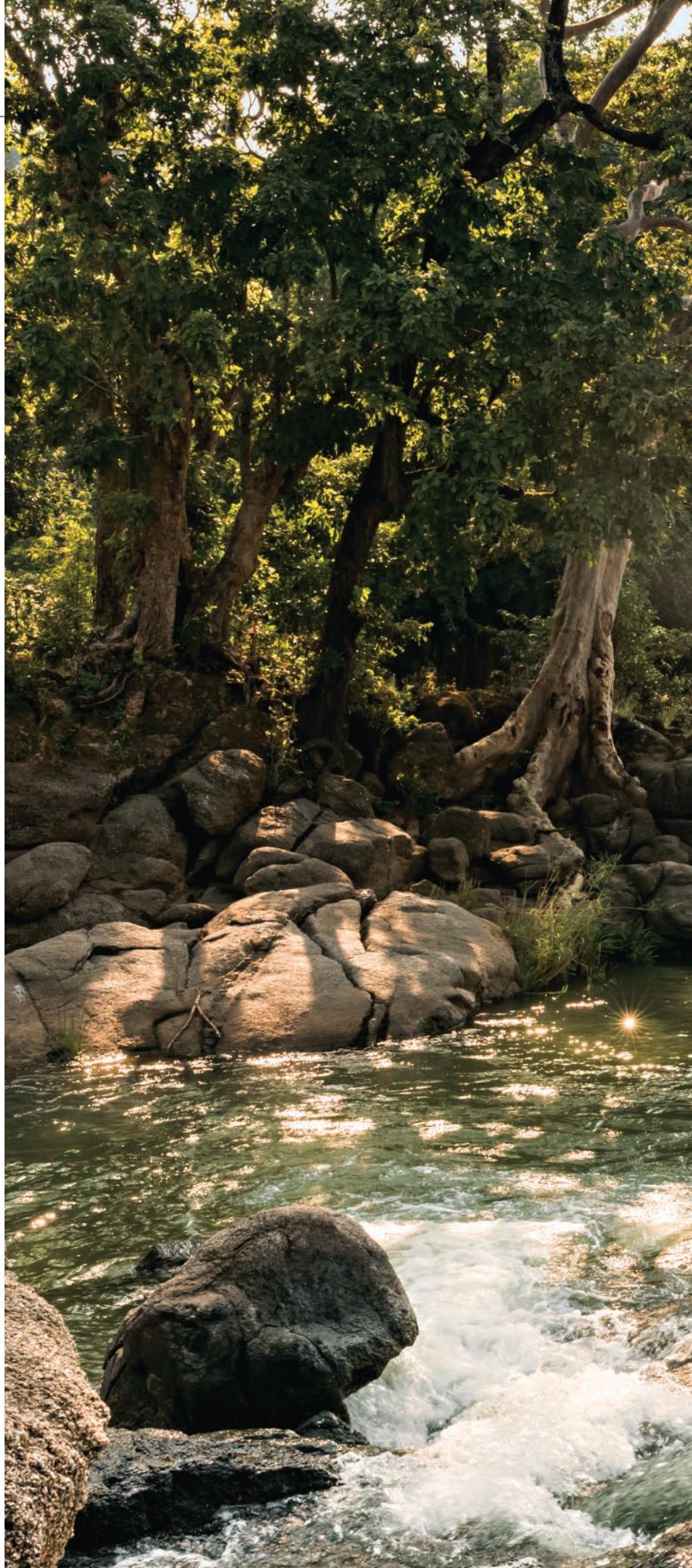
Несмотря на введение свободного доступа, в центральном лесном массиве Индии местное население продолжало полноценно управлять своими лесами до получения страной независимости в 1947 г. Махатма Ганди, возглавлявший борьбу за независимость, неизменно выступал за уважение к правам местных жителей и их укрепление. Однако его взгляды были полностью отвергнуты правительством независимой Индии, которое продолжило консолидацию лесного хозяйства. В результате бесправие индийских деревенских общин все усиливалось.

В феврале 1972 г. я получил просьбу о помощи от населения Гани, деревни в Западных Гатах, жители которой были потрясены тем, как государственный лесной департамент отмечал деревья для рубки в их священной роще. Спешно добравшись до деревни, я увидел рощу — 15 га первозданного леса; на человеческой памяти здесь никогда не проводили рубки. Древние деревья, обвитые лианами, возвышались на 40 м, самые величественные экземпляры фикусов, которых здесь называют гарудами, достигали 15 м в обхвате. А поскольку во всей округе лес был полностью уничтожен, роща служила для людей единственным источником мертвой древесины или листового опада, нужных для выращивания риса, а также, не считая деревенского колодца, единственным круглогодичным источником воды. Вооружившись этими фактами, я встретился с самым главным чиновником лесного хозяйства в штате. Поскольку просьба исходила от меня лично, он ее удовлетворил, но пренебрежительно заметил, что такие рощи — не что иное, как «скопление перезрелой древесины».

1**2****3****4**

Говоря словами Рэймонда Дэсмана (Raymond Dasmann), одного из основателей современного природоохранного движения, население Гани — это «экосистемные люди», а начальник департамента лесного хозяйства относится к числу «биосферных людей». Экосистемные люди, работая в основном руками или используя скот, потребляют ресурсы в пределах 50 км² от своего жилья. Живя в такой непосредственной близости к источнику ресурсов, экосистемные люди понимают и ценят щедрость природы. Биосферные люди имеют широкий доступ к дополнительным источникам энергии, таким как ископаемое топливо, что позволяет им привозить отовсюду и изменять для использования большое количество материалов для всевозможных нужд. Их экологический след в десятки и сотни раз больше, чем у экосистемных людей. Биосферные люди рассматривают отдельные сельские районы только как источники древесины, минеральных руд, гидроэлектроэнергии или, в лучшем случае, как туристические центры. Для них экосистемные люди — либо источник дешевой рабочей силы, либо препятствие для доступа к ресурсам, которые они хотели бы получить. Они равнодушны к тем преимуществам экосистемы, которые ценят местные жители.

В Индии, как и во всем мире, правящий класс — это биосферные люди, которые утверждают, что руководят для всеобщего блага. На самом деле все совсем не так. Я увидел это, когда начинал свою полевую работу в труднодоступной тогда узкой долине Амби в Западных Гатах. Местное население выращивало рис в долине и использовало переложное земледелие на склонах гор. Расчищая участки от леса, они оставляли нетронутыми многочисленные деревья манго и миробалана, которые приносили небольшой, но регулярный урожай. Однако, когда в 1950-х гг. началось строительство плотины, в долину начали приезжать автомобили, и крестьяне, которые до этого имели мало опыта обращения с деньгами, столкнулись с рыночной экономикой. Торговцы древесным углем



Священный пруд на реке Катхани неподалеку от Мендхи. Рядом с такими водоемами, как правило, запрещена любая человеческая деятельность кроме сбора питьевой воды.



сказали местным жителям, что, поскольку их скоро переселят, можно продать деревья на склонах гор. Торговцы привезли с собой индуистских священников из соседнего города Пуны, и те заверили жителей, что проведут соответствующие церемонии, чтобы успокоить обиженное божество, и построят маленький милый храм, чтобы оно переселилось туда.

Огромные деревья манго и миробалана, каждое стоимостью в сотни рупий, были проданы всего за полрупии. Заповедные леса на вершине холма, контролируемые государством, также были уничтожены торговцами древесным углем, состоявшими в сговоре с продажными чиновниками. В итоге жители деревни, которых переселили в связи со строительством плотины, так никогда и не получили адекватной компенсации. Большинство из них были вынуждены переместиться на теперь абсолютно голые склоны гор, где они с трудом сводили концы с концами. Обильные запасы воды, полученные благодаря плотине, использовали промышленные предприятия Пуны и землевладельцы на востоке для орошения полей. В краткосрочной перспективе потери от разрушения экосистемы легли на плечи жителей долины Амби. В долгосрочной перспективе в проигрыше осталось все человечество.

Для меня это было подтверждением гипотезы, что спустя шесть тысячелетий, прошедших с момента появления священных рощ на Индийском субконтиненте, религиозных верований оказалось недостаточно для сохранения рощ при непрерывном противостоянии коммерческим интересам. Со времени приобретения независимости десятки миллионов людей в Индии были выселены из лесов и полей, чтобы освободить место для шахт, плотин и других объектов. По моему мнению, чтобы священные рощи сохранились, нужно разрешить экосистемным людям пользоваться их ресурсами. Если стоящие у власти биосферные люди лишат местное население такой возможности, оно не захочет защищать рощи, и эти экосистемы будут уничтожены.

Несвященные рощи

Я и еще два антрополога — Мохан Редди (Mohan Reddy) и Натабар Шьям Хемам (Natabar Shyam Hemam), работавшие тогда в Индийском институте статистики, — проверили эту гипотезу в 1990-х гг. в штатах Манипур и Мизорам в предгорьях Восточных Гималаев. Старики рассказали нам, что раньше святыми местами считались до 30% земли и воды, и они были полностью защищены. Некоторые ценные ресурсы, такие как аквилария, имеющая ароматную древесину, или бамбук, использовались, но очень аккуратно. Однако в начале XX в., когда британцы установили контроль над этой территорией, они передали землю в собственность не-

скольким местным вождям, сделав таким образом остальное население арендаторами. Многие из вождей ликвидировали леса ради легкой прибыли.

Еще больший ущерб был нанесен в 1950-х гг., когда миссионеры обратили в христианство большинство населения в северо-восточных штатах. Их враждебность к «языческим» верованиям способствовала уничтожению большой сети священных рощ и прудов. Священные пруды — это водоемы, часто располагающиеся в священных рощах, около них запрещена какая-либо деятельность кроме сбора питьевой воды, она здесь обычно чистая и не содержит инфекции. Примечательно, что рядом с северо-восточными

штатами Индии расположена крошечная буддистская страна Бутан, которая никогда не была колонией и не испытала влияния миссионеров, и там до сих пор сохранилась сеть священных рощ, занимающих 20% территории.

По мере того как уничтожались священные рощи, население начало понимать их роль, в частности как барьера для огня. Огонь, который люди разводили, чтобы расчистить землю для переложного земледелия, останавливался, дойдя до густого участка влажного леса. В результате через несколько лет после уничтожения священных рощ некоторые деревни, например Сайчанг в Манипуре, восстановили защиту лесных участков. Они больше не считаются неприкосновенным местом

Борьба местного населения набирает силу во всем мире.

Люди выступают против разработки нефтеносных песков в Канаде, строительства нефтепроводов в США, плотин в Бразилии, шахт в Новой Гвинее и замены влажных тропических лесов на плантации масличной пальмы в Индонезии. Эту борьбу подавляют, но есть и значительные победы

обитания божественных существ. Однако система общественного наблюдения и охраны идентична той, которая была раньше, и эти участки все еще называются «гамхап», так же как прежде на языке народа гангтов назывались священные рощи. Эти факты укрепили мою убежденность в том, что даже при исчезновении религиозных убеждений священные рощи сохранятся, если будут приносить пользу экосистемным людям.

Лесное законодательство

Для жителей центрального лесного массива Индии ситуация начала меняться в 1980-х гг. Развернулась энергичная борьба за права местного населения на лес: «Спасем лес, спасем людей». Ведущую роль в этом сыграли жители селения Мендха (Лекха), их деревня названа так из-за близости к Лекхе — более крупному поселку. Первая небольшая, но важная победа была одержана в 1991 г., когда кооперативное общество, созданное женщинами, получило право управлять каменоломней, угрожавшей священному месту в общинном лесу. Движение продолжало расширяться и набирать силу, и в итоге в 2006 г. был принят Закон о зарегистрированных племенах и других лицах, традиционно проживающих в лесных зонах (признание прав на пользование лесами). Заявляя о необходимости устранить несправедливость, которая возникла при британском правлении, закон предоставляет права на определенные территории не только отдельным лицам, но и общинам, что гораздо важнее. Сюда относятся права на защиту, восстановление, сохранение и управление такими местными ресурсами, как, например, бамбук.

В 2009 г. Мендха и соседнее селение Марда стали первыми деревнями в Индии, получившими общинные права на лес. Наконец они могли не пускать посторонних и обеспечить должную сдержанность при сборе природных ресурсов. Мне повезло присутствовать, когда они обсуждали правила устойчивого природопользования. В предисловии к их плану управления вынесли цитату старейшины Дукку Чамару Тофы (Dukku Chamaru Tofa), которая передает мысль, лежащую в основе устойчивого природопользования: «Кто хозяин этого леса? Ни правительство, ни деревня, ни кто-то из нас. Настоящие хозяева — те, кто еще не родился. Мы всего лишь хранители, которым дана привилегия брать только необходимое и оставлять неповрежденным наследие для будущих поколений». Жители деревни решили также выделить территории для создания новых священных рощ, которые на языке гондов называются «пен гада». Но, с учетом научного подхода, в этих рощах должен быть представлен весь спектр биотопов и видов.

Несмотря на то что чиновники лесного департамента затягивают процесс передачи, на сегодня

3,6 тыс. деревень в Махараштре получили общинные права на соседние леса. Радует также, что в округе Гадчироли, где расположена Мендха, предпринимаются усилия для создания махасангха — федерации сельских советов. Это может стать интереснейшим экспериментом по объединению усилий для крупномасштабной защиты природных ресурсов. В феврале 2018 г. на заседании присутствовали представители 200 деревень и было решено выделить под новые священные рощи около 10% общинных лесов.

Все это укрепляет мою веру в то, что священные рощи будут сохранены, восстановлены и даже вновь созданы. Для этого нужно расширить возможности экосистемных людей, чтобы они могли противостоять экономическим и политическим интересам тех, кто хочет захватить древесину, минералы, землю и воду для потребления биосферными людьми. Такая борьба местного населения набирает силу во всем мире. Жители выступают против разработки нефтеносных песков в Канаде, строительства нефтепроводов в США, плотин в Бразилии, шахт в Новой Гвинее и замены влажных тропических лесов на плантации масличной пальмы в Индонезии. Эту борьбу подавляют, но есть и значительные победы.

В марте 2014 г., позавтракав в Мендхе, мы с хозяевами провели день, осматривая новые священные рощи. В некоторых местах, например в почти недоступных горах Сахибан Метта, росли великолепные арджуны (*Terminalia arjuna*) и лагерстремии (*Lagerstroemia microcarpa*). Другие участки были выбраны, чтобы обеспечить безопасную среду обитания для медведей губачей, третьи представляли собой скалистые утесы и другие необычные условия обитания. Это было отличным итогом моего исследования священных рощ Индии, начавшегося почти полвека назад. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Дженкинс К., Пимм С. Земля тревоги нашей // ВМН, № 12, 2005.
- This Fissured Land: An Ecological History of India. Madhav Gadgil and Ramachandra Guha. Oxford University Press, 1992.
- Ecology and Equity: The Use and Abuse of Nature in Contemporary India. Madhav Gadgil and Ramachandra Guha. Routledge, 1995.
- The Unquiet Woods: Ecological Change and Peasant Resistance in the Himalaya. Ramachandra Guha. University of California Press, 2000.





ТЕХНОЛОГИИ

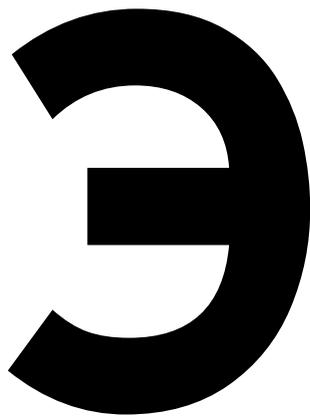
ДЕТКИ В ПОРЯДКЕ

Есть много особенностей, которые надо учитывать, чтобы понять, как социальные сети влияют на благополучие. Согласно новым данным, оснований для беспокойства нет

Лидия Дэнуорт

ОБ АВТОРЕ

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



Эми Орбен (Amy Orben) расстраивалась, когда читала газетные заголовки. В 2017 г. она училась в магистратуре по экспериментальной психологии в Оксфордском университете, где изучала влияние социальных сетей на общение. В это время начали появляться тревожные статьи. В одной из них утверждалось, что дать ребенку смартфон — все равно что дать ему кокаин. Смартфоны могут погубить целое поколение, гласила вторая. Орбен считала, что столь резкие заявления неоправданны. Однажды она не спала всю ночь, переосмысливая данные из статьи, в которой рост случаев депрессии и суицидов связывали с количеством времени, проведенного у экрана. «Я поняла, что манипуляции с анализом данных сильно исказили результаты исследования, — рассказывает Орбен. — На самом деле связь была довольно слабой».

Обо всем этом она совместно со своим оксфордским коллегой Эндрю Пшибыльским (Andrew Przybylski) написала в своем блоге. «Для серьезных утверждений нужны серьезные доказательства, — утверждала она. — Однако таких доказательств нет». Тогда Орбен решила получить научное обоснование своим представлениям и изменила направление работы. Вместе с Пшибыльским они занялись тщательным анализом больших объемов данных, широко используемых при изучении социальных сетей.

Темой заинтересовались и другие специалисты. Несколько лет назад психолог Джефф Хэнкок (Jeff Hancock), руководящий Лабораторией исследования социальных сетей в Стэнфордском

университете, установил оповещение, позволяющее узнавать, когда другие ученые в своих статьях цитируют его исследование. Когда на электронную почту начали поступать уведомления, он задумался. Статья о том, что *Facebook* повышает тревожность, соседствовала со статьей о том, как социальные сети увеличивают социальный капитал. «Как быть со всеми этими противоречащими друг другу идеями?» — недоумевал Хэнкок. Как получилось, что во всех случаях процитирована его работа? Он решил разобраться и организовал крупнейший на сегодня метаанализ информации о влиянии социальных сетей на психологическое благополучие. В итоге было обработано 226 статей с выборкой более чем 275 тыс. человек.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Беспокойство по поводу влияния социальных сетей на подростков усилилось настолько, что иногда предоставление смартфона детям сравнивают с передачей им грамма кокаина. На самом деле все не так страшно.
- Если присмотреться к использованию социальных сетей, то окажется, что с большинством молодых блогеров и инстаграмщиков все хорошо. Слишком интенсивное использование может создать проблемы, но многие старые исследования и новостные заголовки преувеличивали опасность и не учитывали ряда факторов.
- Сейчас исследователи изучают эту противоречивую тему, обращая внимание на детали, и разрабатывают более подходящие методы для оценки влияния социальных сетей и связанных с ними технологий на психическое здоровье.

Усилия Орбен, Пшибыльского и Хэнкока увенчались успехом. Исследования этих и других ученых, опубликованные или доложенные на конференциях, дали конкретную информацию о том, как именно цифровые технологии влияют на наше психическое здоровье. Полученные данные проявили некоторые моменты. Предыдущие результаты были неоднозначными, поскольку неоднозначны измеряемые эффекты. «Использование социальных сетей — по сути компромисс, — рассказывает Хэнкок. — Вы получаете очень небольшие, но достоверные преимущества, повышающие ваше благополучие, одновременно с небольшими, но статистически значимыми затратами». Ключевое слово тут «небольшие», по крайней мере если говорить о величине эффекта, то есть о силе связи между двумя переменными. В метаанализе Хэнкока величина эффекта оценивается как 0,01 по шкале, на которой 0,2 — это немного. Пшибыльский и Орбен оценили процент отклонения от благополучия, связанного с использованием социальных сетей, и обнаружили, что эти технологии влияют на снижение благополучия у подростков не сильнее, чем употребление картофеля. Даже ношение очков оказывало худшее влияние. «Не так страшен черт, как его малюют», — заключает Пшибыльский.

Кроме того, в своей работе ученые показали серьезные ограничения и недостатки современных исследований социальных сетей. Около 80% работ были срезовыми (человека рассматривали только в определенный момент времени) и корреляционными (выявляли связь между двумя параметрами, такими как частота пользования *Facebook* и уровень тревожности, но не доказывали, что одно — причина другого). В большинстве исследований использовали самоотчеты, хотя известно, что это ненадежный способ оценки. Почти во всех работах оценивали только частоту или длительность пользования, но не содержание или контекст. «Мы задаем неправильные вопросы, — признает Хэнкок. — И результаты систематически завышаются, иногда самими учеными, а чаще — СМИ». Исследование социальных сетей служит отличным примером, показывающим все методические недостатки нашей научной работы, — говорит Орбен. — Это заставляет задуматься о том, как мы оцениваем вещи и какую величину эффекта считаем значимой».

Поясним: речь не идет о том, что социальные сети никогда не создают проблем. Их чрезмерное использование связано с потенциально вредным воздействием на самочувствие. Но как они повлияют на человека, по-видимому, зависит от самого пользователя — многое определяется возрастом и состоянием психического здоровья. Кроме того, причинно-следственные связи способны действовать в обе стороны. «Это палка о двух концах», — говорит Хэнкок.

Хочется надеяться, что полученные результаты будут использованы в новых исследованиях социальных сетей, проведенных с более качественным статистическим анализом и без абсурдных утверждений, что будет больше экспериментальных и долгосрочных работ, в которых за людьми будут наблюдать неоднократно. «Мы не хотели бы стать частью науки, утверждающей, что нынешнее поколение погибает от употребления картофеля, — говорит клинический нейропсихолог Трейси Деннис-Тивари (Tracy Dennis-Tiwary) из Хантерского колледжа. — Несмотря на наши опасения, нам надо взять себя в руки и действовать как ученым. Нам нужны убедительные доказательства».

Исследования социальных сетей должны иметь более высокие стандарты статистического анализа, не содержать абсурдных утверждений и быть долгосрочными

Боязнь технологий

Беспокойство и паника по поводу влияния новых технологий ведут свое начало со времен Сократа, который опасался, что появившаяся тогда новая традиция делать записи ослабит память. Томас Гоббс и Томас Джефферсон предупреждали, что общественные отношения пострадают, когда в индустриальных обществах люди перейдут от сельской жизни к городской. Социологи Кит Хэмптон (Keith Hampton) из Университета штата Мичиган и Барри Уэллман (Barry Wellman) из лаборатории *NetLab Network* в Торонто, изучающие влияние новых технологий, пишут: «До того как возненавидеть смартфоны, мы ненавидели города». Радио, видеоигры и даже сборники комиксов — все это вызывало ужас. Телевидение должно было привести к обольваниванию Америки.

Тем не менее при появлении мобильных телефонов, интернета и социальных сетей произошел ошеломительные изменения. Мобильные телефоны впервые получили широкое распространение в 1990-х гг. К 2018 г. ими пользовалось 95% взрослых американцев. Смартфоны, обеспечившие мгновенный доступ в интернет, стали общедоступными при появлении *iPhone* в 2007 г., и сейчас они есть более чем у 75% взрослых американцев. Интернетом пользуются 89% взрослых. В обеспеченных семьях почти у всех подростков и взрослых до 50 лет есть вся цифровая техника. Не пользуются этими технологиями в основном



люди старше 65, бедные или жители сельских районов и других мест с плохой связью. С 2005 г., когда Исследовательский центр Пью начал отслеживать использование социальных сетей, по 2019 г. количество американцев, использующих социальные сети для связи, наблюдения за новостями, обмена информацией и развлечения, выросло с 5% до 72%, то есть если раньше социальными сетями пользовался один из 20 взрослых, то теперь семь из десяти.

Поскольку социальные сети — явление новое, наука, изучающая их влияние, тоже совсем молодая. Самое раннее найденное Хэнкоком исследование влияния социальных сетей на психологическое благополучие было выполнено в 2006 г. Первые опыты были весьма примитивными, что, в общем, неудивительно. Врач Брайан Примак (Brian Primack), возглавлявший ранее Центр исследований СМИ, технологий и здоровья в Питтсбургском университете, а в 2019 г. перешедший в Арканзасский университет, сравнивает эти работы с первыми исследованиями в области

питания. «Потребовалось некоторое время, чтобы решить: давайте рассматривать отдельно белки, жиры и углеводы, более того, давайте рассматривать отдельно трансжиры и полиненасыщенные жиры, — рассказывает он. — Тем, кто выполняет хорошие исследования, нужно приоритетизироваться к происходящему». В качестве примера того, как больше не стоит поступать, Примак вспоминает свои собственные ранние работы, в которых оценивалось только общее время пользования социальными сетями. «Вы можете ежедневно в течение двух часов ставить лайки фотографиям с милыми щеночками, а я на протяжении двух часов буду жестко спорить о политике, религии и других острых вопросах. В моих ранних исследованиях оба вида активности рассматривались бы как одно и то же».

Многие ученые критично отнеслись к работе психолога Джин Твендж (Jean M. Twenge) из Университета штата Сан-Диего. Поми-

мо научных статей, в 2017 г у нее вышла популярная статья в журнале *Atlantic*, основанная на ее книге «Айпоколение» (*iGen*), где ставился вопрос: «Действительно ли смартфон погубил поколение?» Твендж — не единственный ученый, публикующий информацию о негативном влиянии социальных сетей, но одна из самых известных за счет шума, поднявшегося вокруг ее работы. Она указывает на резкий рост психических проблем у группы населения, рожденной в 1995–2012 гг., и пишет, что «в значительной степени причины ухудшения можно объяснить их телефонами». В ее работе указано, что рост тревожности и депрессии совпал по времени со стремительным распространением смартфонов. Твендж признает, что эта связь корреляционная, но утверждает, что ее выводы представляют собой «логичную последовательность событий» и основаны на фактах, а также что ее беспокойство оправдано: «Когда речь идет о здоровье детей и подростков, мне кажется, лучше быть неоправданно осторожными, чем наоборот».

Никто не спорит о важности здоровья подростков, но похоже, что Твендж сделала слишком поспешные выводы. Деннис-Тивари объясняет, зачем нужно ждать доказательства причинно-следственной связи. На самом деле все может быть сложнее. В ответ на одну из статей Твендж в Канаде было проведено долгосрочное исследование. Там наблюдали за 600 подростками и 1 тыс. молодых людей на протяжении двух и шести лет соответственно и выяснили, что из пользования социальными сетями не следует появление депрессивных симптомов.

Корреляционные исследования бывают полезны: например, в эпидемиологии с их помощью можно предположить наличие связи между загрязнением окружающей среды и повышенной заболеваемостью раком, когда рандомизированное клиническое исследование невозможно. Мэтью Генцков (Matthew Gentzkow), экономист из Стэнфордского университета, изучающий социальные сети, считает, что важно не преувеличивать полученные результаты, однако в работе Твендж есть довольно интересные факты: «Они не говорят о том, что смартфоны вызывают проблемы с психическим здоровьем, но указывают на то, что такое возможно. Сейчас надо углубиться в эту область и постараться провести более тщательные исследования, чтобы выявить, что происходит на самом деле».

Палка о двух концах?

Благодаря метаанализу Хэнкока стало ясно, что при изучении связи социальных сетей с психологическим благополучием оцениваются не одни и те же показатели. Обычно влияние можно отнести к одной из шести категорий. Три из них описывают позитивные показатели благополучия: эвдемоническое счастье (ощущение смысла), гедоническое счастье (сиюминутная радость) и взаимоотношения; другие три — отрицательные: депрессию, тревогу, одиночество. Хэнкок с коллегами выяснили, что более интенсивное использование социальных сетей в легкой степени связано с повышенной тревожностью и депрессией (но не с одиночеством) и более сильно — с получением пользы от взаимоотношений (но не с эвдемоническим и гедоническим благополучием). Наиболее сильный эффект, оцениваемый в 0,2, касался именно преимуществ от укрепления взаимоотношений. Кроме того, Хэнкок с коллегами обнаружили, что с благополучием связано активное, а не пассивное использование социальных сетей. (Они не увидели какого-либо влияния пассивного использования, тогда как другие исследователи показали наличие негативного влияния.)

Результаты зависели еще и от того, как именно задавались вопросы. Если вопросы формулировали вокруг «зависимости», а не более нейтрально, негативное влияние обнаруживалось с большей

вероятностью. Среди существующей литературы на эту тему есть только 24 долгосрочных исследования, соответствующих «золотому стандарту», когда ученые рассматривают связь между благополучием и использованием социальных сетей в два разных момента времени и могут статистически оценить, какая из переменных влияет на другую. И тут группа Хэнкока обнаружила небольшой, но интересный результат. «Если у вас высокое благополучие, вы меньше пользуетесь социальными сетями, следовательно, благополучие в какой-то степени влияет на интенсивность использования социальных сетей», — говорит Хэнкок.

Использование социальных сетей подростками вызывает особенное беспокойство, поскольку смартфоны сейчас распространены повсеместно, а подростковый возраст — важный период развития

В трех статьях, посвященных использованию технологий подростками, Орбен и Пшибыльский рассказали про три основные ошибки, которые они обнаружили ранее при анализе больших объемов данных. В первой статье, опубликованной в январе 2019 г. в *Nature Human Behaviour*, они описали факторы, влияющие на достоверность, и способ ее повышения. Авторы привели три набора данных из США и Европы о более чем 350 тыс. подростков. Такие объемы данных имеют ценность, однако позволяют легко получить статистически значимые результаты, не имеющие практического смысла. Пшибыльский и Орбен подсчитали, что если бы они применили стандартную статистическую обработку, то могли бы создать примерно 10 тыс. статей, демонстрирующих негативное влияние, 5 тыс. показывающих отсутствие эффекта и еще 4 тыс. демонстрирующих положительное влияние технологий на молодых людей. И это все на одних и тех же данных.

Для своей работы они использовали статистический метод под названием «анализ спецификаций кривых» (*specification curve analysis*), который позволяет сразу исследовать весь спектр возможных корреляций. Это статистический эквивалент возможности увидеть лес за деревьями. При таком анализе оказалось, что с использованием цифровых технологий связано только 0,4% колебаний

в благополучии подростков. Наличие большого количества информации в собранных данных позволило провести красноречивое сравнение с использованием очков и потреблением картофеля. Было показано также, что курение марихуаны и травля гораздо сильнее связаны с неблагополучием (в 2,7 и 4,3 раза соответственно), а желательное поведение, такое как достаточный сон и регулярное употребление завтрака, гораздо сильнее связано с благополучием, чем использование технологий. «Мы пытаемся изменить мировоззрение, нам надо не выбрать один понравившийся результат, а проанализировать картину в целом, — говорит Пшибыльский. — Ключевой момент здесь — возможность рассмотреть эти крайне слабые влияния экранов на молодых людей в контексте реального

Предполагается, что некоторые подростки находят необходимую им социальную поддержку лишь в интернете и что родителям стоит сфокусировать свое внимание именно в этом направлении

мира». (Твенж и другие исследователи сомневаются в полезности объяснения процентных значений и говорят, что за небольшими числами всегда будет скрываться практическая значимость влияния.)

Во второй статье, опубликованной в апреле 2019 г. в *Psychological Science*, использовали более строгие методы оценки «экранного времени». Было три набора данных из США, Великобритании и Ирландии, где помимо самоотчетов о пользовании социальными сетями и оценки благополучия имелись дневники использования времени. В течение пяти лет более 17 тыс. подростков, участвовавших в исследовании, раз в год получали дневник. На протяжении всего дня они отмечали в 10–15-минутных промежутках, чем именно они заняты, в том числе используют ли они цифровые технологии. Когда Орбен и Пшибыльский применили свои статистические методы к этим данным, они не нашли доказательств наличия значимой негативной связи между использованием технологий и благополучием. Кроме того, с помощью дневников они смогли посмотреть, когда именно в течение дня подростки прибегали к помощи цифровых технологий, в частности пользовались ли

они социальными сетями перед сном. И даже это не было связано с благополучием, однако ученые не оценивали продолжительность сна, а смотрели только на более общие психологические характеристики.

И, наконец, в мае 2019 г. вместе с психологом Тобиасом Динлином (Tobias Dienlin) из Гогенгеймского университета Орбен и Пшибыльский опубликовали статью в *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* с анализом долгосрочных данных о влиянии социальных сетей на изменение удовлетворенности жизнью у подростков. Данный подход позволил проследить, как к концу года изменилось состояние молодых людей, проводивших в течение года больше времени в социальных сетях, и повлияло ли плохое или хорошее состояние на интенсивность пользования социальными сетями в следующем году. И здесь тоже результаты были не ярко выраженными и зависели от нюансов. «Изменение интенсивности использования социальными сетями в течение года предсказывает только 0,25% различий в изменении удовлетворенности жизнью, — рассказывает Орбен. — Мы говорим о долях процента». Тем не менее исследователи обнаружили, что у девочек данный эффект был немного сильнее, чем у мальчиков, и Орбен собирается изучить этот факт подробнее. Кроме того, важна тема индивидуальной предрасположенности. «Мы хотим разобраться, есть ли какие-то характерные черты у молодых людей, связанные с большей или, наоборот, меньшей устойчивостью к разным технологиям», — говорит Пшибыльский.

А как насчет поколения Z?

Использование социальных сетей подростками вызывает особенное беспокойство, поскольку смартфоны сейчас распространены повсеместно, а подростковый возраст — важный период развития. Психолог Кэндис Оджерс (Candice Odgers) из Калифорнийского университета в Ирвайне рассказывает, что в своем беспокойстве родители повторяют ошибки ученых. Они тревожатся главным образом из-за того, сколько времени дети проводят в сети, не обращая должного внимания на главный вопрос: что именно они там делают? Оджерс в своей работе показала, что само по себе время, проведенное в социальных сетях, — не проблема. В исследовании, опубликованном летом 2019 г. онлайн в *Clinical Psychological Science*, Оджерс, Майклин Дженсен (Michaeline Jensen) из Университета Северной Каролины в Гринсборо и их коллеги наблюдали за 400 подростками в течение двух недель, трижды в день отправляя им на телефон вопросы. Исследование было организовано таким образом, что удалось сопоставить получаемые на протяжении двух недель ежедневные показатели психологического состояния и погруженность в гаджет.

Было ли использование социальных сетей связано с благополучием подростков? Ответ: в целом нет. Режим в начале исследования не предсказывал, какими будут показатели психологического состояния потом, и эти показатели не ухудшались в те дни, когда подростки сообщали, что проводят больше или меньше времени с техникой.

«Опасность смартфонов — заблуждение, которое навязывают общественности и родителям, — говорит Оджерс. — Но об этом так много говорится, что в итоге мы упускаем некоторые реальные угрозы и проблемы, связанные с цифровыми пространствами». Сама Оджерс гораздо больше беспокоится о конфиденциальности и неравном доступе к технологиям для детей из семей с более низким социально-экономическим статусом. Кроме того, она предполагает, что некоторые подростки находят столь необходимую им социальную поддержку лишь в интернете и что родителям стоит сфокусировать свое внимание именно в этом направлении.

Социальные сети 2.0

Подобные исследования — всего лишь начало. Они помогли прояснить общую картину использования социальных сетей, но требуется выполнить еще много работы.

В недавнем экспериментальном исследовании Генцков из Стэнфорда попросил более 1,6 тыс. человек заблокировать их аккаунты в *Facebook*. Это проверялось электронными методами. Он с коллегами с удивлением обнаружил, что в таком случае пользование другими цифровыми технологиями снизилось, а не увеличилось. Однако эффект был невелик и маскировался серьезными индивидуальными различиями. Некоторым участникам понравился перерыв, другие действительно скучали по своему социальному онлайн-миру. «*Facebook* приносит людям много пользы, однако они могут использовать его больше, чем нужно, — рассказывает Генцков. — Если немного сократить продолжительность использования, многие станут от этого счастливее и благополучнее».

Некоторые исследователи пытаются точнее оценивать время, проведенное у экранов. Исследователь коммуникаций Байрон Ривз (Byron Reeves) из Стэнфордского университета с коллегами разработал технологию под названием *Screenomics*, которая фотографирует картинку на телефоне каждые пять секунд (с разрешения пользователя). Технологические компании также способны внести свой вклад. Корпорации могут лучше ученых подсчитать, сколько времени люди тратят на различные виды деятельности, но они считают такую информацию своей собственностью. Пшибыльский настаивает на том, что подобную политику надо менять. «Компании не должны иметь свободного доступа», — говорит он.

В новых исследованиях стремятся лучше прогнозировать индивидуальные различия. В лаборатории Хэнкока в Стэнфорде студентка Энджела Ли (Angela Lee) творчески подошла к проблеме. Она воспользовалась понятием установки — идеей о том, что отношение людей зависит от того, во что они верят. Проводя опросы, Ли обнаружила, что представления о социальных сетях основаны на двух главных параметрах: считает ли человек, что социальная сеть для него полезна или что вредна (ценность), и считает ли он, что может ее контролировать (свобода выбора). В ходе трех исследований они с Хэнкоком протестировали около 700 человек и обнаружили, что благополучие пользователей зависит от имеющихся установок. Ощущение свободы выбора влияло сильнее всего. «Чем сильнее вы верите, что контролируете свои соцсети, тем больше социальной поддержки вы получаете, тем меньше у вас депрессии, стресса и социальной тревоги независимо от того, сколько времени, по вашим словам, вы тратите на социальные сети», — говорит Ли, сейчас уже аспирант в лаборатории Хэнкока. В мае 2019 г. она представила эту работу на заседании Ассоциации психологических наук.

Сила влияния установки напоминает, как важно то, в каком ракурсе вы рассматриваете ситуацию. В 1980-х гг. люди заламывали руки в отчаянии из-за того, что дети бездумно пялятся в телевизионные экраны. Генцков изучал эту эпоху. Он представляет себе, как спрашивает тревожных родителей, как они отнеслись бы к замещению телевизора новыми технологиями, с помощью которых дети могли бы взаимодействовать друг с другом, обмениваясь сообщениями, фото и видео. «Тогда любой сказал бы: о, это было бы замечательно!»

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Has the Smartphone Destroyed a Generation? Jean M. Twenge in *Atlantic*, Vol. 320, pages 58–65; September 2017.
- The Association between Adolescent Well-Being and Digital Technology Use. Amy Orben and Andrew K. Przybylski in *Nature Human Behaviour*, Vol. 3, No. 2, pages 173–182; February 2019.
- Screens, Teens, and Psychological Well-Being: Evidence from Three Time-Use- Diary Studies. Amy Orben and Andrew K. Przybylski in *Psychological Science*, Vol. 30, No. 5, pages 682–696; May 2019.
- Your Brain in the Smartphone Age. *Scientific American eBooks*; May 6, 2019.

Фаговая терапия на пороге

Метод лечения времен
Первой мировой войны
возвращается для борьбы
с мультирезистентными
инфекционными
заболеваниями

Чарлз Шмидт



ОБ АВТОРЕ

Чарлз Шмидт (Charles Schmidt) — внештатный журналист из Портленда, штат Мэн, пишущий на темы медицины и окружающей среды. В нашем журнале были опубликованы его статьи о загрязнении питьевой воды и о долговременных последствиях применения отравляющих веществ во время войны во Вьетнаме.



Б

обби Бургхольцер (Bobby Burgholzer) страдает муковисцидозом, генетическим заболеванием, которое преследует его всю жизнь, опосредуя подверженность легочным бактериальным инфекциям. До недавнего времени антибиотики сдерживали прогрессирование болезни, но затем перестали помогать, так что 40-летнему торговцу медицинской техникой становилось все труднее и труднее дышать.

Он старался держать себя в форме, продолжая играть в хоккей, но вскоре обнаружил, что с каждым днем подъем в гору и даже по лестнице требует все больших усилий. С ухудшением состояния Бургхольцеру стали приходить мысли, что его болезнь неизлечима. У него были жена и дочь-подросток, и он с ужасом думал об их дальнейшей судьбе. Оставалась надежда на нетрадиционные методы лечения, и его заинтересовал один из них: фаговая терапия.

Фаги — вездесущие микроорганизмы. Они размножаются, только проникнув в бактериальные клетки и используя их механизм репликации. Попав в клетку, один фаг образует тысячи копий: под их напором клетка лопается, фаговые частицы выходят в окружающую среду и инфицируют другие бактериальные клетки. Фаги были открыты в 1910-х гг. и впервые стали применяться в терапии после Первой мировой войны для лечения больных, страдающих тифом, дизентерией, холерой и другими инфекционными заболеваниями. В 1939–1940-х гг. во время войны между СССР и Финляндией благодаря их использованию удалось существенно снизить смертность среди раненых солдат, у которых начиналась гангрена.

Фаговая терапия доступна в странах бывшего Восточного блока, но в странах, не входивших в блок, от нее давно отказались. В 1934 г. двое клиницистов из Йельского университета, Монро Итон (Monroe Eaton) и Стэнхоуп Бейн-Джонс (Stanhope Bayne-Jones), опубликовали статью, в которой утверждалось, что результаты фаговой терапии убедительны и противоречивы. Но упадок фаговой терапии пришелся на 1940-е гг. с началом широкого применения антибиотиков, высокоэффективных и недорогих.

Сегодня в странах Западной Европы фаговая терапия не разрешена к применению, а финансирование соответствующих исследований минимально. И несмотря на то что результаты клинических испытаний в странах Восточной Европы вселяют некоторую надежду (прежде всего это относится к Центру фаготерапии им. Г.Г. Элиавы в Тбилиси), многие авторитетные ученые стран Западной Европы заявляют, что метод не соответствует принятым жестким стандартам. К тому же клинические испытания с участием немногочисленных добровольцев, проведенные в Западной Европе и США, не дали положительного результата.

И все же фаговая терапия возвращается. Конференции, посвященные данной методике, становятся

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Все больше болезнетворных бактерий становятся резистентными к антибиотикам, и внимание врачей переключается на фаговую терапию. Фаги — это вирусы, инфицирующие бактериальные клетки.
- В настоящее время проходят испытания нескольких видов фаговой терапии с разными механизмами воздействия на патоген.
- Перед исследователями стоит задача существенно уменьшить время подбора подходящего фага (или фагов) и стоимость процедуры, чтобы метод стал коммерчески выгодным.

все более многочисленными. Интерес к ней проявляют Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США и другие организации; исследованиями в этой области занимаются сегодня многие западные компании, а в Соединенных Штатах начались сразу несколько клинических испытаний. С чем связан такой всплеск активности? Дело в том, что фаговая терапия помогает больным с множественной резистентностью (*multidrug-resistant, MDR*), которых не спасают никакие антибиотики. FDA разрешило врачам проводить пробные испытания при соблюдении определенных условий, в частности если доказано, что их пациенты не поддаются лечению никакими другими способами (именно к этой категории относится Бургхольцер).

Частота MDR растет угрожающими темпами. Ежегодно по этой причине умирает более 700 тыс. человек по всему земному шару, а по оценкам ООН, к 2050 г. их число увеличится до 10 млн. Тем временем производство антибиотиков продолжает набирать обороты.

Как и все вирусы, фаги — это не живые микроорганизмы в строгом смысле этого слова: они не могут самостоятельно развиваться и вырабатывать энергию, а для своего существования используют механизмы и ресурсы клетки-хозяина. В отличие от антибиотиков, которые атакуют не только патогенные микроорганизмы, но и полезные бактерии, ослабляя организм больного, фаги нацелены на какой-то один вид бактерий и, возможно, на ограниченный круг их ближайших родственников, не затрагивая остальных представителей микробиома. Большинство фагов имеют икосаэдрическую головку (структуру, состоящую из 20 многоугольников), внутри которой находится генетический материал — ДНК или РНК. К головке прикреплен «хвост» — отросток с длинными нитями на конце, которые связываются с рецепторами на поверхности бактериальной клетки и удерживают фаговую частицу на месте. «Хвост» выполняет роль шприца: протыкая клеточную стенку, он вводит генетический материал внутрь бактериальной частицы. Здесь фаговый геном берет бразды правления в свои руки и использует бактериальные механизмы для синтеза новых фаговых частиц. Есть фаги другого типа (не применяемые в медицине): они проникают в бактериальную клетку аналогичным образом, но пребывают там в «спящем» состоянии, «пробуждаясь» только во время деления клетки.

Миллиарды лет фаги эволюционировали совместно с бактериями и распространились настолько, что каждый день уничтожают до 40% всех обитающих в океанах бактерий, что сказывается на образовании кислорода и, возможно, даже на климате. Их применение в медицине происходило в унисон с развитием технологий, позволяющих

с максимальной точностью подбирать фаги, нацеленные на конкретные бактерии, и сегодня микробиологи располагают целым арсеналом соответствующих инструментов.

Проводятся клинические испытания, направленные на получение данных, подтверждающих эффективность и регулируемость фаговой терапии, но пока к этой методике остаются серьезные вопросы. Главный из них — сможет ли она противостоять масштабным вспышкам инфекционных заболеваний. Клиницисты должны уметь подбирать патогенспецифичные фаги, помогающие конкретным пациентам. Неясно, удастся ли это делать без непомерных финансовых затрат и достаточно быстро, чтобы фаговая терапия стала рутинной практикой. «Если окажется, что наши надежды не напрасны, то мы как общество должны будем приложить все усилия к тому, чтобы фаговая терапия была безопасной, эффективной и контролируемой», — говорит Джереми Барр (Jeremy J. Barr), микробиолог из Университета Монаша в Мельбурне. — Резистентность к антибиотикам принимает такие масштабы, что пренебрегать фаговой терапией было бы преступлением».

Немного истории

Бургхольцер узнал о существовании фагов и использовании их в медицине от таких же больных, как он сам. Обратившись к интернету в поисках информации, он наткнулся на размещенный на YouTube ролик микробиолога из Йельского университета. Вскоре он стал корреспондентом Бенджамина Чаня (Benjamin Chan) из отдела экологии и эволюционной биологии этого учреждения. Став сотрудником университета в 2013 г., Чань собрал коллекцию фагов, выделенных из сточных вод, почвы и других источников, которая могла пригодиться врачам из Нью-Хейвенского госпиталя при Йельском университете и других больниц.

Первый случай использования фагов из коллекции Чаня вызвал большой резонанс. Фаг, выделенный им из пруда, был применен для лечения Али Ходадуста (Ali Khodadoust), известного глазного хирурга, который страдал мучительной MDR-инфекционной болезнью позвоночника, развившейся после операции на открытом сердце четыре года назад. Ежедневно он принимал антибиотики в огромных дозах в надежде избавиться от возбудителя инфекции, бактерии *Pseudomonas aeruginosa*. Один из вирусов из коллекции Чаня специфически связывался с особым рода «насосами» на поверхности бактерии. Такие же насосы выталкивают антибиотики из клетки и часто обнаруживаются у резистентных к лекарственным веществам бактерий. Ими были снабжены большинство частиц *P. aeruginosa* в организме Ходадуста, и фаг вывел их из строя. Относительно небольшое число оставшихся *P. aeruginosa* пережили

Ужесточение борьбы с болезнетворными бактериями

Многие болезнетворные бактерии, с которыми ранее эффективно боролись с помощью антибиотиков, выработали устойчивость к ним, и сегодня идет апробация другого «оружия». Это оружие — фаги, то есть вирусы, инфицирующие бактериальные клетки. Существуют три вида фаговой терапии; какой из них окажется наиболее действенным — покажут дальнейшие исследования. Но врачей интересует вопрос: не возникнет ли у бактерий со временем такая же резистентность к фагам, как это произошло с антибиотиками?

Болезнетворная бактерия (желтый)

Резистентная бактерия (оранжевый)

Полезная бактерия (зеленый)

1 Антибиотики уничтожают как болезнетворных, так и полезных бактерий

Антибиотики проникают в самые разные бактериальные клетки и действуют на них по-разному. Одни разрушают клеточную стенку, другие блокируют репликацию и т.д. Часто они уничтожают и болезнетворные, и полезные бактерии. К достоинствам антибиотиков относятся их относительно низкая стоимость и простота применения.

2 Есть фаги, уничтожающие только болезнетворных бактерий

Мишенью многих фагов выступают только определенные виды бактерий. Но идентифицировать и охарактеризовать природные фаги такого рода или сконструировать новые, используя методы геномной инженерии, трудно и затратно.

Обычно фаг связывается с клеточной стенкой бактерии и, проткнув ее, вводит внутрь свой генетический материал (ДНК или РНК). Последний использует репликативную машину клетки для производства новых фаговых частиц, под напором которых бактерия в конце концов лопается.

3 Но бактерия может выработать резистентность к фагам

Некоторые болезнетворные бактерии мутируют и приобретают новые свойства, обеспечивающие защиту от фагов. Пролиферируя, такие бактерии лишают инфицированный организм всякой защиты.

4 Разнообразие бактерий, резистентных к лекарственным веществам

Новые разновидности бактерий, появившиеся в результате эволюции, могут вытеснить старые и стать неуязвимыми для лекарственных веществ. Вирусологи пытаются разработать новые формы фаговой терапии, способные противостоять этим устойчивым бактериям.

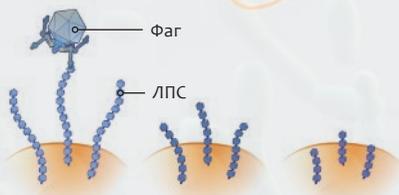
Бактерия (*Achromobacter*)

Бактерия (*A. baumannii*)

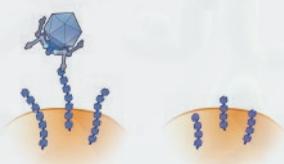
Бактерия (*P. aeruginosa*)

5 Фаговая терапия снижает уровень резистентности

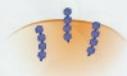
Последовательная монотерапия



Фаг 1 разрушает частицы *Achromobacter* с длинными ЛПС-цепочками.

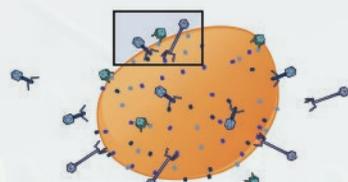
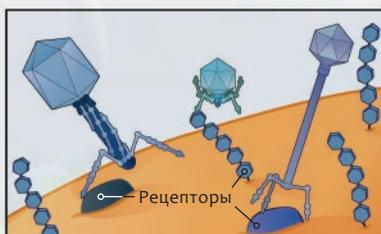


Фаг 2 разрушает частицы *Achromobacter* с короткими ЛПС-цепочками.

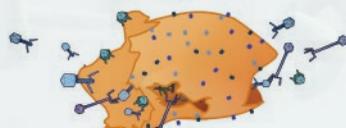


Иммунная система разрушает оставшиеся частицы *Achromobacter* с короткими ЛПС-цепочками.

Фаговые коктейли

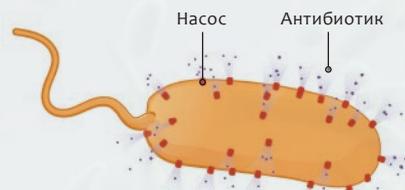


Больному вводят сразу несколько разновидностей фагов. Каждый из них связывается со своим рецептором на поверхности *Acinetobacter baumannii*.



Клетки *A. baumannii* не могут модифицировать все типы рецепторов одновременно, чтобы защититься от разных фагов, и погибают.

Фаг + антибиотики



В стенку *Pseudomonas aeruginosa* встроены насосы, выталкивающие антибиотики, которые проникли внутрь бактерии.



Фаговые частицы прикрепляются к насосам и блокируют их.



Антибиотики беспрепятственно проникают в клетку *P. aeruginosa* и уничтожают ее.

6 Восстановление микрофлоры

Уничтожение болезнетворных бактерий приводит к доминированию в микробиоме больного полезных бактерий и восстановлению сбалансированной микрофлоры.

фаговую атаку, поскольку не обладали насосами, но по той же причине не могли противостоять антибиотикам и тоже погибли. Принимая антибиотики и одновременно подвергаясь фаговой терапии, Ходадуст излечился всего за несколько недель. Он умер через два года, в возрасте 82 лет, по совсем другой причине.

Воодушевленный столь многообещающим началом, Чань предоставил фаги из своей коллекции для проведения экспериментальных курсов терапии другим больным, в основном с таким же заболеванием, как у его первого испытуемого. Он попросил Бургхольцера прислать ему образцы слюны, собранные после ночного сна, с тем чтобы идентифицировать фаги, которые спасли ему жизнь.

Я посетил Чаня в декабре 2018 г., вскоре после начала скрининга. Побеседовав в офисе, мы направились в лабораторию, где Чань показал мне чашку Петри, в которой вся поверхность культуральной среды была покрыта бактериями — возбудителями болезни Бургхольцера, но по диаметру шли две тонкие прозрачные полоски. Это были следы от нанесенного фагового раствора. Болезнь Бургхольцера вызвали три вида бактерий рода *Achromobacter*, и Чань планирует уничтожить их один за другим, выбрав соответствующие фаги, — подход, называемый последовательной монофаговой терапией. «По существу, мы играем в шахматы, ведя противомикробную войну, — сказал Чань. — Мы должны тщательно выверять ходы».

Чань надеялся провести «эволюционную замену», сходную с той, которая, как он полагал, сработала в случае с Ходадустом. Не найдя фага, способного атаковать насосы *Achromobacter*, он использовал фаг, мишенью которого выступает высокомолекулярный белок липополисахарид (ЛПС), «растущий» из стенки бактерии. Чем длиннее белковая цепочка, тем выше резистентность бактерии не только к антибиотикам, но и к компонентам иммунной системы. Чань намеревался уничтожить с помощью фагов штаммы с самыми длинными ЛПС, оставив в неприкосновенности «короткоцепочечные» патогены. По самому оптимистичному сценарию предполагалось перевести всю популяцию бактерий в «короткоцепочечную» форму, успешнее поддающуюся действию антибиотиков и иммунной системы. «Бактерии конкурируют друг с другом за места обитания в организме больного, — говорит Чань. — После уничтожения с помощью фаговой терапии значительного числа бактерий одного вида, как правило, их место занимают другие». Чань стремился к тому, чтобы эти новые виды были менее вирулентными, чем их предшественники.

Пол Тернер (Paul Turner), руководитель отдела, где работал Чань, объяснил мне, что полное искоренение патогенных бактерий — не цель фаговой терапии, особенно при хроническом течении болезни.

Фаги можно использовать для формирования популяции опасных бактерий с другой формой уязвимости. «Чем успешнее на такую популяцию будут действовать антибиотики, тем лучше», — сказал он мне. Комбинируя антибиотики и фаги для достижения оптимального результата, проще будет перейти к внедрению фаговой терапии.

Вместе с Чанем мы поднялись на второй этаж госпиталя, где к нам должен был присоединиться коллега Чаня, пульмонолог и руководитель проекта «Муковисцидоз у взрослых» (*Adult Cystic Fibrosis Program*) Джонатан Кофф (Jonathan Koff). Вскоре он появился с рюкзаком за спиной. Бургхольцер встретил нас в палате; говорил он сдавленным хриплым голосом — это было единственное внешнее проявление его болезни. Пока Кофф и Чань что-то обсуждали, отойдя в сторону, Бургхольцер поведал мне, что хочет выздороветь ради своей трехлетней дочери. Когда пришло время пройти очередную процедуру, он сделал селфи и послал фото жене, чтобы она переслала его матери. Взяв в руки распылитель, он стал впрыскивать в рот и в нос фаговый раствор, глубоко вдыхая его частички, чтобы они попали в легкие.

Фаговые коктейли

По мнению Коффа, последовательная монофаговая терапия показана для лечения больных, страдающих муковисцидозом и некоторыми другими хроническими инфекционными заболеваниями. Когда нет никакой возможности полностью избавиться от патогена, имеет смысл уничтожить хотя бы самые агрессивные его штаммы, и здесь фаговая терапия выходит на первый план.

Некоторые клиницисты предпочитают другой подход: они назначают своим пациентам коктейль из разных фагов, надеясь таким способом искоренить инфекцию в один прием и одержать верх над всеми механизмами резистентности. В идеале каждый фаг в таком коктейле связывается со своим рецептором, и, если у бактерии разовьется резистентность к одному вирусу, другие продолжают атаку.

Чань и Кофф осознают, что взаимодействие фага и бактерии имеет непредсказуемый характер и что использование коктейлей может привести к резистентности патогенов ко всем составляющим его вирусам, что, разумеется, ограничивает возможность фаговой терапии. «Переход от коктейля к последовательной терапии позволяет лечить пациента более длительное время», — говорит Кофф.

Джессика Сакер (Jessica Sacher), одна из основательниц независимой организации *Phage Directory*, созданной для продвижения фаговой терапии и проведения экспертных исследований, заявляет, что аналогичные аргументы применимы к любому методу. Она отмечает, что коктейли могут быть эффективными для лечения тяжелобольных людей,

у которых нет времени ждать, пока лечащий врач подберет для них подходящую последовательную терапию.

В качестве примера необходимости безотлагательных действий можно привести ситуацию с Томом Паттерсоном (Tom Patterson), профессором Калифорнийского университета в Сан-Диего, жизнь которого была спасена благодаря применению фаговых коктейлей. Незадолго до этого профессор побывал в Египте, где и заразился возбудителем MDR-инфекционного заболевания *Acinetobacter baumannii*. Данный патоген широко распространен в странах Азии и быстро продвигается на Запад. К началу лечения у Паттерсона были поражены многие органы. Ему ввели смесь из четырех фагов в брюшную полость и еще один фаг — внутривенно. Инъекции проводились дважды в день в течение четырех недель, и через три месяца патоген был полностью уничтожен. Паттерсон все еще находится под тщательным наблюдением, но чувствует себя вполне здоровым.

Этот случай привлек к себе внимание массмедиа по всему миру. Лечащими врачами Паттерсона были Роберт Скули (Robert Schooley), друг семьи больного и заведующий отделением инфекционных заболеваний клиники при Калифорнийском университете, а также жена Паттерсона Стефани Стратди (Steffanie Strathdee), в то время — директор Института глобального здравоохранения. Через два года, располагая суммой в \$1,2 млн, Скули и Стратди основали в Сан-Диего Центр инновационных применений фаговой терапии, спонсирующий клинические исследования в этой области и внедрение фаговой терапии в практику.

Каждый вид фага, используемого для лечения Паттерсона, был проверен на способность к уничтожению *A. baumannii* в образцах тканей больного по методике, разработанной Военно-морским исследовательским центром в Форт-Детрике, штат Мэриленд, совместно с Техасским сельскохозяйственным и политехническим университетом. Методика позволяла тестировать сотни фагов на способность уничтожать патогенные бактерии всего за 12 часов. Бисваджит Бисвас (Biswajit Biswas), руководитель отдела бактериофагов центра, создавший банк фагов, утверждает, что может быстро найти фаги, способные заменить ставшие неэффективными штаммы по ходу лечения. У Паттерсона такая ситуация возникла через две недели после начала терапии, и центр быстро приготовил новый коктейль. Компания *Adaptive Phage Therapeutics* из Гейтерсберга, штат Мэриленд, приобрела лицензию на методику и банк фагов центра и вскоре будет предоставлять свои услуги как для проведения клинических испытаний, так и для лечения пациентов, страдающих MDR-инфекционными заболеваниями мочеполовой системы.

Методика центра проверяет фаги только на эффективность; она не позволяет идентифицировать рецепторы, с которыми связываются фаговые частицы. Будут ли компоненты коктейля связываться с целевыми рецепторами — пока неясно. Ри Янг (Ry Young), генетик из Техасского сельскохозяйственного и политехнического университета, полагает, что скорее всего да, добавляя при этом: «Мы даже не знаем, ответственна ли фаговая терапия в полной мере за излечение Паттерсона. В лучшем случае она уменьшила инфекционную нагрузку до уровня, при котором стала эффективно работать иммунная система». По мнению Янга, оптимальным было бы использование коктейля из трех-четырех фагов, каждый из которых связывается со своим рецептором данного штамма. Вероятность того, что какая-либо бактерия станет резистентной к единственному фагу, равна одной миллионной доле, а вероятность утраты ею рецепторов или появления мутантных форм, с которыми связываются все компоненты коктейля, равна нулю. Более того, идентификация ключевых рецепторов необходима, если клиницисты рассчитывают на восстановление чувствительности бактерии к антибиотикам.

По словам Барра, сейчас биологи пытаются идентифицировать рецепторы, на которые нацелены компоненты фагового коктейля, которым лечили Паттерсона, но он не считает необходимым делать это до начала курса терапии. «Разумеется, мы знаем очень мало о фагах и должны все взвесить, прежде чем начинать их применение. Но означает ли это, что нужно прежде всего идентифицировать рецепторы бактерии-хозяина? Это огромная и необходимая работа».

Генетически модифицированные фаги

В связи с неопределенностью свойств фаговых коктейлей некоторые исследователи полагают, что имеет смысл применять генетически модифицированные фаги, чтобы они связывались со специфическими рецепторами. Подавляющее большинство используемых в медицине фагов имеют естественную природу — все они выделены из окружающей среды или организма животных. Но у генетически модифицированных фагов есть и своя, хотя и очень короткая история. Изабелл Карнелл (Isabelle Carnell), девушка-подросток из Великобритании, больна муковисцидозом. После трансплантации легких в 2017 г. в ее организм попал патоген, поразивший печень, конечности, туловище. Бактерия под названием *Mycobacterium abscessus* не реагировала ни на какие антибиотики. В 2019 г., впервые в подобной ситуации, исследователи из разных институтов совместными усилиями вылечили девушку с помощью коктейля из трех генетически модифицированных фагов. Один из них буквально разрывал *M. abscessus* на части во время репликации. Два других тоже убивали бактерии, но не всю

популяцию: 10–20% оставались жизнеспособными и поддерживали патологический процесс. Тогда руководитель команды Грэм Хатфулл (Graham Hatfull), профессор биологии из Питтсбургского университета, удалил специфический ген из генома последней пары. Коктейль из одного интактного и двух модифицированных фагов уничтожил патоген полностью через шесть месяцев.

Исследователи из Бостонского университета впервые создали генетически модифицированные фаги в 2007 г. Один из них вырабатывал фермент, разрушающий защитную пленку, которую синтезируют бактерии. С тех пор были сконструированы фаги, уничтожающие широкий спектр болезнетворных бактерий или способные доставлять лекарственные вещества конкретным клеткам. Модифицированные фаги более патентоспособны, чем природные, а потому представляют больший интерес для фармакологии. Одно из подразделений фармацевтического гиганта *Johnson & Johnson* в январе 2019 г. достигло соглашения с *Locus Biosciences* о разработке метода редактирования фагов с использованием системы *CRISPR*.

Создание коммерчески выгодных схем фаговой терапии — нелегкая задача. Барр с коллегами полагают, что это потребует огромного количества денег, времени и изобретательности, и при этом бактерия, против которой создается фаг, может мутировать. А еще следует учитывать, что сконструированный фаг должен получить одобрение *FDA*, что тоже требует времени.

Перспективы

Сегодня продвижением фаговой терапии занимаются многие компании. Некоторые из них планируют снабжать пациентов препаратом, специально подобранным для борьбы с инфекцией, от которой они страдают. Такой стратегии придерживается, в частности, фирма *Adaptive Phage Therapeutics*. Ее исполнительный директор Грег Меррил (Greg Merril) утверждает, что их система скрининга фагов может применяться в диагностических лабораториях и крупных медицинских центрах по всему миру.

Фаговые препараты, эффективные в отношении преобладающих в данном регионе патогенов, можно будет продавать в аптечных пунктах в специально разработанных и одобренных *FDA* ампулах. По словам Меррилла, врачи смогут регулярно проверять своих пациентов на резистентность, при необходимости переходить на новые фаговые препараты и тем самым держать инфекцию под контролем. Согласно его оценкам, стоимость лечения в настоящее время составит \$50 тыс., а в будущем, с расширением спроса, она уменьшится.

Другие компании отдают предпочтение фиксированным фаговым продуктам. Основной продукт фирмы *Armata Pharmaceuticals* — коктейль из трех

природных фагов, мишень которых — *Staphylococcus aureus*, часто встречающийся в лечебных учреждениях. В планах *Armata* — мониторинг популяций на присутствие резистентных стафилококков и при необходимости применение новых коктейлей. Стратегия аналогична используемой при сезонной вакцинации населения против гриппа.

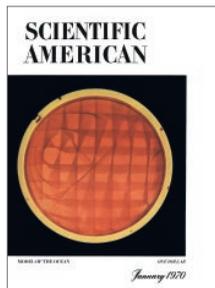
Какая из стратегий — последовательная монотерапия, коктейли, генетически модифицированные фаги или персонализированная терапия — в конце концов окажется оптимальной, пока неизвестно. Возможно, стратегии, подходящей на все случаи жизни, вообще не существует, если учесть наличие факторов, от которых зависит исход лечения: тип патогена, характер заболевания, история болезни пациента и многие другие.

«Нельзя не учитывать и геополитические факторы», — говорит Стратди. По ее словам, главное, что нам сегодня необходимо, — это положительные результаты контролируемых клинических испытаний, которые помогли бы окончательно преодолеть скептицизм. Алан Дэвидсон (Alan Davidson), биохимик из Торонтского университета, полагает, что в ближайшие десять лет фаговая терапия станет обходиться дешевле, она будет более простой в применении и менее продолжительной, чем сейчас. Он возлагает большие надежды на генетический подход, полагая, что секвенирование генома патогена и последующее конструирование фага, способного его уничтожить, обойдется дешевле и займет меньше времени, «чем скрининг патогенов и армады фагов, циркулирующих в природе».

Между тем Бургхольцер, который до марта 2019 г. сам впрыскивал себе фаговый препарат в домашних условиях, не достиг результата, на который надеялся. В марте Чань и Кофф ввели ему второй фаговый препарат, мишенью которого был другой штамм бактерии *Achromobacter*. К апрелю титр этого штамма в организме больного снизился на два порядка. «Похоже, мы попали в точку», — сказал мне Кофф. Тем не менее он признает, что Бургхольцер не чувствует значительного улучшения в работе легких. На мой вопрос «Почему?» Кофф ответил: «О фаге, уничтожающем *P. aeruginosa*, мы знаем гораздо больше, чем о фагах, нацеленных на *Achromobacter*, а потому наши возможности в выборе терапии ограничены».

Теперь Кофф собирается секвенировать геном патогенной бактерии, содержащейся в слизи, которая скапливается в легких Бургхольцера. «Мы должны знать, что происходит с этой бактерией в результате наших манипуляций, — так, как мы знаем в аналогичной ситуации о *P. aeruginosa*». Расстроенный, но полный энтузиазма, Кофф говорит: «Не все пациенты одинаково хорошо реагируют на терапию. И мы должны разобраться, в чем тут дело». ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

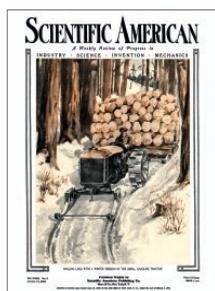


ЯНВАРЬ 1970

Правила химической войны.

Президент Ричард Никсон объявил об отказе от использования бактериологического оружия и запрете первыми применять летальные и «приводящие к потере боеспособности» отравляющие вещества. Это заявление, однако, не меняет политику

США в отношении двух основных видов химического оружия, широко используемых сейчас во Вьетнаме: слезоточивого газа и химических дефолиантов. Что касается биологической войны, заявление было однозначным. Президент указал, что исследования в области биологического оружия будут ограничены разработкой средств защиты и что запасы подобного оружия США будут уничтожены.



ЯНВАРЬ 1920

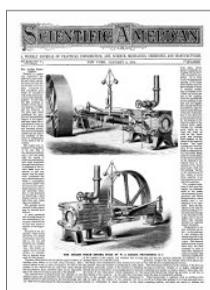
Можно ли облизывать марки.

Дискуссия о почтовых марках как возможном источнике инфекции развернулась на страницах октябрьского номера *Medical Times* 1919 г. Лабораторные исследования показали, что нет ни одной марки, на которой не было бы микробов. Среди обнаруженных были кишечные палочки, стафилококки, стрептококки, пневмококки и бациллы дифтероидов. Степень опасности этих организмов невозможно установить, поскольку исследования вирулентности не проводились. Комментируя эти результаты, журнал *American Medicine*, не одобряя обычную практику смачивать марки языком, указывает, однако, что если бы они были опасным источником инфекции, то от возбуждаемых ими заболеваний страдал бы очень большой процент населения.

Среди обнаруженных были кишечные палочки, стафилококки, стрептококки, пневмококки и бациллы дифтероидов. Степень опасности этих организмов невозможно установить, поскольку исследования вирулентности не проводились. Комментируя эти результаты, журнал *American Medicine*, не одобряя обычную практику смачивать марки языком, указывает, однако, что если бы они были опасным источником инфекции, то от возбуждаемых ими заболеваний страдал бы очень большой процент населения.



Подставка для чтения, 1870 г.



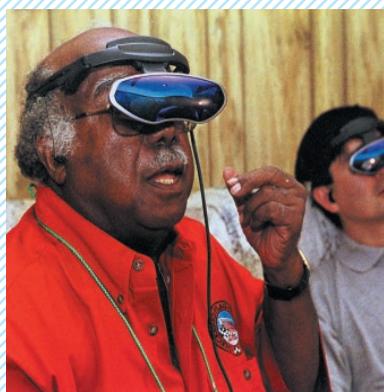
ЯНВАРЬ 1870

Приспособление для чтения.

Мало кто из однажды воспользовавшихся, как больных, так и здоровых, захочет отказаться от представляемого усовершенствования, позволяющего человеку читать сидя или полулежа в постели, так что страница расположена прямо перед

глазами, при этом не требуется мышечных усилий, чтобы удерживать книгу или поддерживать тело в неудобном положении. Изобретение запатентовано Патентным агентством *Scientific American* на имя Эдварда Конли из Цинциннати, штат Огайо.

Нефтяные печи. Французская академия поручила Анри Сент-Клеру Девилю провести серию экспериментов с этим важным устройством, и ему удалось изобрести печь, удовлетворительно выполняющую поставленную задачу. Это с уверенностью можно рассматривать как одно из важнейших изобретений года.



Восторгу от цифровых развлекательных устройств, ноябрь 2000 г.

ПРАЗДНУЕМ
175
ЛЕТ

Мы отмечаем наше 175-летие, публикуя фотографии из нашего архива. Тема этого месяца — технологии развлечений.

К концу XIX в. чтение для удовольствия обрело широкую популярность из-за прогресса в литературе, снижения стоимости бумаги и печати и появления большего количества свободного времени. Патентованная подставка для чтения, показанная выше, вероятно, имела нулевой эффект. Другим технологическим скачком стал фонограф (что-то вроде проигрывателя пластинок). Томас Эдисон писал в нашем журнале в мае 1878 г., что задумывал его для записи диктовок, хотя допускал, что он может

«найти широкое применение в музыке». В 1906 г. началось развлекательное радиовещание. Апрельский номер 1939 г. провозглашал «Встречайте телевидение!» — и развлекательность здесь была основным приоритетом. Объединение компьютеров, интернета и смартфонов с возможностью предоставлять и оплачивать развлекательный контент для этих электронных штуквин дало нам современную индустрию развлечений. К ноябрю 2000 г. мы знали, что «оцифровка всего аудио и видео разрушит сложившееся социальное устройство индустрии развлечений». Оставайтесь на одной волне с журналом *Scientific American* и читайте о следующем этапе развития технологии развлечений.



3



6



9



ЭВОЛЮЦИЯ

Певчая победа

Открытие необычной хромосомы в половых клетках певчих птиц помогает объяснить фантастическое разнообразие этой группы пернатых

Кейт Вонг

Когда 66 млн лет назад на территорию современного полуострова Юкатан упала раскаленная глыба диаметром в 10 км, он вызвал обширные разрушения на планете и стер с ее лица более 75% всех видов живых существ. Хотя Чиксулубский астероид и обрек на вымирание тираннозавров, трицератопсов и всех других динозавров, для одной из линий их потомков он открыл путь к поистине триумфальному эволюционному успеху. Эти существа были предками современных птиц.

«Дополнительная» хромосома была найдена у самых разных певчих птиц — амадины Гульда (1), садовой камышовки (2), полевого жаворонка (3), снегиря (4), грача (5), чижа (6), канарейки (7), белошапочной овсянки (8) и деревенской ласточки (9)

ОБ АВТОРЕ

Кейт Вонг (Kate Wong) — старший редактор журнала *Scientific American*, курирует разделы эволюции и экологии.



Птицы появились на Земле более 150 млн лет назад. Они произошли от хищных (плотоядных) динозавров, называемых тероподами, и за первые же 85 млн лет своего существования достигли весьма впечатляющего разнообразия. Но предки современных пернатых, объединяемых в группу настоящих, или веерохвостых, птиц, слегка отличались от более архаичных энантиорнисовых пернатых, или попросту энантиорнисов, доминировавших на планете в меловом периоде. Когда 66 млн лет назад Земля столкнулась с гигантским астероидом, судьба прародителей настоящих птиц резко изменилась. В результате этого апокалиптического события все динозавры и большинство птиц исчезли с лица планеты. Уцелеть удалось лишь некоторым представителям линии веерохвостых пернатых, которые затем претерпели один из наиболее бурных процессов видообразования в истории развития жизни на Земле.

Сегодня на нашей планете обитает более 10 тыс. видов птиц, составляющих по видовому богатству второй (после костных рыб) класс современных позвоночных животных. Пернатые сильно различаются размерами и формой тела: живущие на земле страусы иногда весят более 150 кг, а мельтешащие в воздухе колибри-пчелки — менее 2 г. Птицы заселили почти все типы местообитаний — от жарких тропиков до холодных приполярных регионов. А благодаря уникальным анатомическим и физиологическим адаптациям, позволяющим им питаться самой разнообразной добычей (от микроскопических водорослей до крупных млекопитающих), они заняли и широчайший спектр экологических ниш.

Как ни удивительно, примерно половину всех видов пернатых составляют певчие воробьиные птицы, отличающиеся от других своих сородичей

особым строением голосового аппарата. К этой группе относятся соловьи, славки, канарейки, жаворонки и прочие сладкоголосые существа, а также вороны, сороки и другие представители семейства врановых, издающие малопривлекательные для человеческого уха звуки. Грубо говоря, на Земле сегодня обитает примерно столько же видов певчих птиц, сколько всех видов млекопитающих.

Каким же образом эта группа пернатых достигла столь фантастического многообразия? Биологи давно пытаются ответить на данный вопрос, скрупулезно изучая и окаменелости древних птиц, и ДНК их современных потомков. Но за исключением точного указания на место происхождения певчих птиц (Австралия) большинство исследований дали либо неубедительные, либо противоречивые результаты. А потому наши представления о том, где и когда происходило разделение эволюционных линий, приведших к возникновению современных певчих птиц, а следовательно и о факторах, определявших эту радиацию, и по сей день остаются весьма расплывчатыми.

Для того чтобы хоть как-то объяснить эволюционную диверсификацию птиц, ученые предложили несколько гипотез, которые в качестве основных движущих сил этого процесса рассматривали климатические изменения, тектонику плит и половой отбор.

Недавние открытия позволили зоологам выдвинуть ряд новых теорий. Биологи установили, что, похоже, у всех певчих птиц имеется некая «дополнительная» хромосома, которая отсутствует у других пернатых и создает основу для возникновения репродуктивных барьеров между популяциями, способствующих образованию новых видов. Безусловно, эта «добавочная порция» ДНК требует дальнейшего изучения, но результаты некоторых

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Певчие воробьиные — наиболее богатая видами группа птиц, включающая примерно половину всех 10 тыс. видов современных видов пернатых.
- Биологи давно задаются вопросом, каким образом певчим птицам удалось достичь подобного разнообразия. Традиционно они связывали это с климатическими изменениями и другими внешними факторами.
- Недавние исследования показали, что у певчих птиц (в отличие от других пернатых) имеется добавочная хромосома, которая и могла стать ключевым фактором их диверсификации.

исследований уже сегодня показывают, что именно она и обеспечила певчим воробьиным феерический эволюционный успех.

Загадочная хромосома

Упомянутая выше хромосома получила название хромосомы половых клеток (ХПК): она присутствует только в половых клетках птиц (яйцеклетках и сперматозоидах), а в клетках тела (соматических клетках) ее нет. Клетки — предшественницы яйцеклеток и сперматозоидов содержат ХПК, но сперматозоиды «выбрасывают» ее наружу в процессе созревания. Таким образом, потомки получают ХПК только от матерей (самок).

До недавнего времени существование «лишних» хромосом было установлено лишь у двух близкородственных видов певчих птиц — зебровой и японской амадин. Ученые расценили данное обстоятельство лишь как «любопытную особенность» упомянутых видов. Но решив поискать ХПК у других птиц, генетики столкнулись с поразительным фактом. В статье, опубликованной в июньском номере журнала *National Academy of Sciences USA*, Павел Бородин и Анна Торгашева из новосибирского Института цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, а также Денис Ларкин из Лондонского университета сообщили, что все из 16 изученных ими видов певчих птиц, представлявших различные семейства этого подотряда пернатых, обладали ХПК. Между тем ни у одного из восьми изученных видов, относящихся к другим отрядам пернатых, ХПК не оказалось. Более того, ХПК, найденные у разных (даже близкородственных) видов певчих птиц, обнаруживали значительные межвидовые различия. Это наводит на мысль, что, впервые появившись примерно 35 млн лет назад у некоего общего предка, «дополнительная» хромосома в этих линиях певчих птиц подвергалась быстрой эволюции.

«Добавочные» хромосомы (так называемые В-хромосомы) были ранее найдены и в клетках других организмов. Но их присутствие здесь имеет неустойчивый характер и может сильно варьировать у представителей одного и того же вида существ и даже в клетках одной и той же особи. Напротив, ХПК представляют собой «обязательные элементы всех половых клеток певчих птиц», — поясняет Ларкин. Такая вездесущность указывает на то, что ХПК имеют для организма гораздо более важное значение, чем В-хромосомы.

Но вопрос о том, какие именно функции выполняют ХПК, до сих пор остается для ученых загадкой: о «роде занятий» составляющих их генов они практически ничего не знают. В последнее время, однако, кое-что начало проясняться. В недавнем проведенном исследовании шведские биологи Кормак Кинселла (Cormac Kinsella) и Александр Су (Alexander Suh), а также их соотрудники

из Уппсальского университета обнаружили, что ХПК зебровой амадины состоит по меньшей мере из 115 генов, включая гены, ответственные за синтез белков и РНК в яичниках и семенниках взрослых птиц. Такой паттерн экспрессии свидетельствует о том, что эти гены могут определять развитие яйцеклеток и сперматозоидов. Другие гены ХПК зебровой амадины сравнимы с генами мышей, которые принимают участие в процессах раннего эмбрионального развития.

По мнению Бородина и Ларкина, данные факты указывают на то, что ХПК, возможно, позволила певчим птицам преодолеть некие ключевые ограничения в эволюции. «По сравнению с геномом млекопитающих птичий геном в целом очень компактен и консервативен», — говорит Ларкин. Размеры (масса) геномов современных млекопитающих варьируют от 2 до 8 пг (один пикограмм равен триллионной части грамма), а число составляющих их хромосом — от шести до 102. За десятки миллионов лет эволюции хромосомы многократно разрезались, перестраивались, перетасовывались и вновь воссоединялись. Эти перегруппировки изменяли экспрессию генов и приводили к появлению различных новых признаков. Напротив, у птиц размеры генома варьируют незначительно — примерно от 1 до 2 пг. Кроме того, их клетки обычно содержат приблизительно по 80 хромосом и сравнительно небольшое количество «мусорной» ДНК, избыточной в клетках большинства млекопитающих.

Небольшие размеры и компактность генома птиц некоторые эксперты связывают с их способностью к полету. Полет — весьма энергозатратная форма активности. Крупные геномы требуют крупных клеток. Поддержание жизнедеятельности крупных геномов и крупных клеток требует от животных больших метаболических затрат, чем в случае их более миниатюрных аналогов. Таким образом, размеры птичьего генома могут ограничиваться высокими метаболическими потребностями, связанными с полетом. Поскольку ХПК присутствуют только в половых клетках, а в гораздо более многочисленных соматических клетках организма их нет, не исключено, что они попросту обеспечивают певчих птиц дополнительной «порцией» ДНК — основой для эволюционного развития новых признаков — без метаболических затрат, связанных с поддержанием жизнедеятельности крупного соматического генома.

«Дополнительные копии генов ХПК нужны птицам только на время очень короткого брачного периода для выработки многочисленных сперматозоидов и крупных яйцеклеток с большим количеством белка. Им нет смысла круглый год носить эти гены в остальных (соматических) клетках своего тела, где они совершенно бесполезны», — говорит Бородин. Если певчим птицам удалось найти

способ обзавестись дополнительными генами «на временной основе», добавляет Ларкин, такая находка оказалась чрезвычайно полезной и вполне могла привести к их фантастическому разнообразию, которым они сильно превосходят все прочие группы пернатых.

В принципе, ХПК вполне могли бы обеспечивать репродуктивную изоляцию, необходимую для образования новых видов птиц, лишая их носителей способности давать плодовитое потомство в результате скрещивания с сородичами, не имеющими таких экстрахромосом. Когда ХПК появилась у последнего общего предка всех певчих птиц, представители этого предкового вида, обладавшие ХПК, могли давать плодовитое потомство только в результате скрещивания с партнерами, у которых также имелась данная структура. По мере того как ХПК эволюционировала и приобретала новые гены, певчие птицы с определенными вариантами этой хромосомы могли давать плодовитое потомство только в результате скрещивания с носителями точно таких же ее вариантов.

Драйвер перемен?

По мнению Бородина и Ларкина, факт широкой распространенности ХПК среди певчих птиц и их отсутствия у других пернатых хорошо согласуется с данными недавнего исследования, проведенного американскими учеными. В апреле 2019 г. Карл Оливерос (Carl Olivegos) и его сотрудники из Университета штата Луизиана опубликовали результаты анализа ДНК нескольких десятков представителей отряда воробьинообразных, в состав которого входит подотряд певчих воробьиных и еще несколько менее богатых видами групп пернатых. На основании изучения ДНК и ископаемых останков птиц известного возраста ученые установили родственные связи между различными семействами воробьинообразных и время разделения их эволюционных линий. Затем они сравнили «график» диверсификации с климатическими и геологическими данными, чтобы определить, коррелировала ли диверсификация воробьинообразных птиц с теми или иными событиями в истории Земли. Оказалось, что в целом колебания темпов диверсификации этих пернатых не совпадали с изменениями глобальной температуры или переселением птиц на новые континенты. Эти и некоторые другие данные заставили авторов заключить, что основными движущими факторами видообразования у воробьинообразных были некие более сложные механизмы, нежели температура или экологические перспективы. «Выводы хорошо согласуются с нашей гипотезой о роли ХПК в диверсификации певчих птиц», — замечает Ларкин.

Но мысль о том, что невероятное разнообразие певчих птиц в конечном итоге было обусловлено ХПК, готовы принять далеко не все ученые.

«Вообще говоря, установить причинно-следственную связь между каким-либо признаком (например, наличием ХПК) и эволюционным успехом той или иной группы организмов довольно трудно, — говорит Оливерос. — Возникновение этого признака могло случайно совпасть с появлением другого (например, гнездового поведения), сыгравшего, возможно, более важную роль в достижении группой эволюционного успеха».

Многие другие ученые, однако, сочли предложенную гипотезу вполне правдоподобной. «Тот факт, что ХПК сохранялись у животных в течение длительных эволюционных периодов и, похоже, содержат функциональные гены, заставляет предполагать, что эти структуры, вероятно, играли определенную роль в репродуктивной изоляции птиц», — говорит Дэвид Тэйвз (David Toews) из Пенсильванского университета. Если фантастическим по сравнению с другими пернатыми темпам диверсификации певчих птиц способствовали некие геномные механизмы (например, ХПК), «этот факт, безусловно, будоражит воображение и заслуживает самого пристального внимания», — замечает Тэйвз. Ученый, однако, предостерегает, что «для того, чтобы с полной уверенностью говорить о существовании подобной связи, нам необходимо в точности знать, какие на самом деле функции выполняют эти структуры».

Исследования в этом направлении помогут ученым лучше понять эволюцию не только птиц, но и других организмов. «Мы самодовольно полагали, что знаем о птичьем геноме почти все, — размышляет Су. — Но ХПК были у нас прямо под носом, а мы их не замечали». Между тем сходные экстрахромосомы были уже обнаружены у миксин и некоторых насекомых. «А что если ХПК распространены среди живых существ гораздо более широко?» — задается вопросом ученый. Как бы там ни было, а «находка ХПК у певчих птиц открывает множество новых перспективных направлений в изучении эволюционного развития живых организмов». ■

Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Брюсатт С. Вставая на крыло // ВМН, № 3, 2017.
- Programmed DNA Elimination of Germline Development Genes in Songbirds. Cormac M. Kinsella et al. Posted to Biorxiv preprint server December 22, 2018. www.biorxiv.org/content/10.1101/44364v2
- Germline-Restricted Chromosome Is Widespread among Songbirds. Anna Torgasheva et al. in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 116, No. 24, pages 11,845–11,850; June 11, 2019.
- Бородин П.М., Торгашева А.А., Малиновская Л.П., Рубцов Н.Б., Галкина С.А., Ларкин Д.М. История «певчей» хромосомы // Наука из первых рук, № 83 (3), 2019.



В ТРУБЕ

Одна из двух вакуумных камер, заключенная в кокон из нержавеющей стали и окруженная со всех сторон полутающей снизу горной породой. Она тянется на 3 км по влажному капающему туннелю, пробуренному под горой Икэнояма в Японии.

Сложная система лазеров и зеркал внутри обеих камер предназначена для настройки на гравитационные волны, которые движутся сквозь нашу планету, приходя со всего космоса.



АСТРОФИЗИКА

ЦЕНТР ГРАВИТАЦИИ

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

Ли Биллингс

Гравитационные волны — это рябь пространства-времени, вызываемая слиянием черных дыр, столкновением нейтронных звезд, взрывом сверхновых и другими космическими катаклизмами. Эти волны породили революцию в астрофизике. Впервые наблюдавшиеся в 2015 г., спустя столетие после их предсказания Альбертом Эйнштейном, эти неуловимые шепотки в ткани реальности уже обнаруживают скрытые детали тех диковинных объектов, которые их производят. Изучение гравитационных волн предоставило исследователям первые прямые доказательства существования черных дыр, дало новые оценки темпа космологического расширения и показало, что нейтронные звезды — это основные источники снабжения Вселенной золотом, платиной и другими тяжелыми элементами. В конце концов, именно гравитационные волны позволили исследователям увидеть Вселенную в первые доли секунды после Большого взрыва.

Начало пути к такому многообещающему будущему можно найти в подземном комплексе мрачных туннелей. Более чем в 200 м ниже горы Икэнояма в префектуре Гифу в центральной Японии

ОБ АВТОРЕ

Ли Биллингс (Lee Billings) — старший редактор разделов о физике и космосе в *Scientific American*.



заканчивается десятилетнее упорное строительство. Международная команда ученых, инженеров и техников изготавливает Kamiokский гравитационно-волновой детектор (сокращенно — *KAGRA*), который должен был вступить в строй к концу 2019 г. Вскоре *KAGRA* присоединится к трем другим активным детекторам гравитационных волн в мире: двум станциям Лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (*LIGO*) в Хэнфорде, штат Вашингтон (США), и в Ливингстоне, штат Луизиана (США), а также европейской установке *Virgo*, расположенной недалеко от Пизы (Италия). Местоположение *KAGRA* в Японии и ее ориентация относительно *LIGO* и *Virgo* позволят независимо проверять и подтверждать наблюдения этих детекторов, давая возможность исследователям лучше измерять ориентации и скорости вращения сливающихся черных дыр и нейтронных звезд.

В совокупности четверка детекторов достигнет новых высот чувствительности и точности, обнаруживая более слабые гравитационно-волновые события, чем когда-либо прежде, и определяя их небесные координаты с беспрецедентной точностью для последующего наблюдения с помощью обычных телескопов. Здесь на отдельных фотографиях запечатлены некоторые из последних технических приготовлений перед тем, как *KAGRA* будет выпущена на небесную охоту.

Для того чтобы отыскать гравитационные волны, *KAGRA* полагается на метод, используемый *LIGO* и *Virgo*, который носит название «лазерная интерферометрия». При таком подходе лазерный луч отражается от зеркал, подвешенных на концах двух вакуумных труб. Последние имеют длину в несколько километров и ориентированы перпендикулярно друг к другу, образуя нечто похожее на гигантскую латинскую букву *L*. Лазер действует подобно измерительной палочке, показывая, когда проходящая гравитационная волна ненадолго растягивает и сжимает пространство-время, изменяя длину труб (следовательно, и общее расстояние, которое проходит луч света). Такие возмущения



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Исследования гравитационных волн с использованием трех обсерваторий преобразовывают наше понимание черных дыр, нейтронных звезд и других астрофизических объектов.
- Четвертая обсерватория — это Kamiokский детектор гравитационных волн (*KAGRA*), который должен был вступить в строй к концу 2019 г.
- *KAGRA* — первая в своем роде обсерватория, построенная под землей, для повышения чувствительности постоянно содержащаяся при чрезвычайно низких температурах и демонстрирующая новейшие технологии, имеющие решающее значение для создания нового поколения еще более совершенных детекторов гравитационных волн.



невообразимо малы, гораздо меньше диаметра одного протона. Это означает, что каждый элемент установки обязан каким-то образом учесть или подавить огромное количество паразитных шумов, вызванных как значительными сейсмическими движениями землетрясений, так и приливами из-за гораздо более слабых вибраций, производимых пролетающими самолетами, проезжающими автомобилями, окружающей дикой природой или даже дрожащими атомами зеркала. Умение отличить истинные, искомые гравитационно-волновые сигналы от паразитных шумов — почти неразрешимая задача. Многочисленные ложные сигналы смешиваются с десятками подлинных обнаружений гравитационных волн, и все они совместно объявляются вплоть до сего дня *LIGO* и *Virgo*.

Упрятанная глубоко в горе, *KAGRA* станет первым крупным лазерным интерферометром, построенным и работающим полностью под землей, вдали от какофонии фонового шума на земной поверхности. Кроме того, это первый проект, который использует криогенно охлаждаемые зеркала. Последние представляют собой полированные 23-килограммовые сапфировые цилиндры, способные значительно уменьшить тепловые колебания и обеспечить соответствующее повышение чувствительности. Зеркала *LIGO* и *Virgo* хранятся при комнатной температуре, а зеркала *KAGRA* — при температуре 20 градусов выше абсолютного нуля.

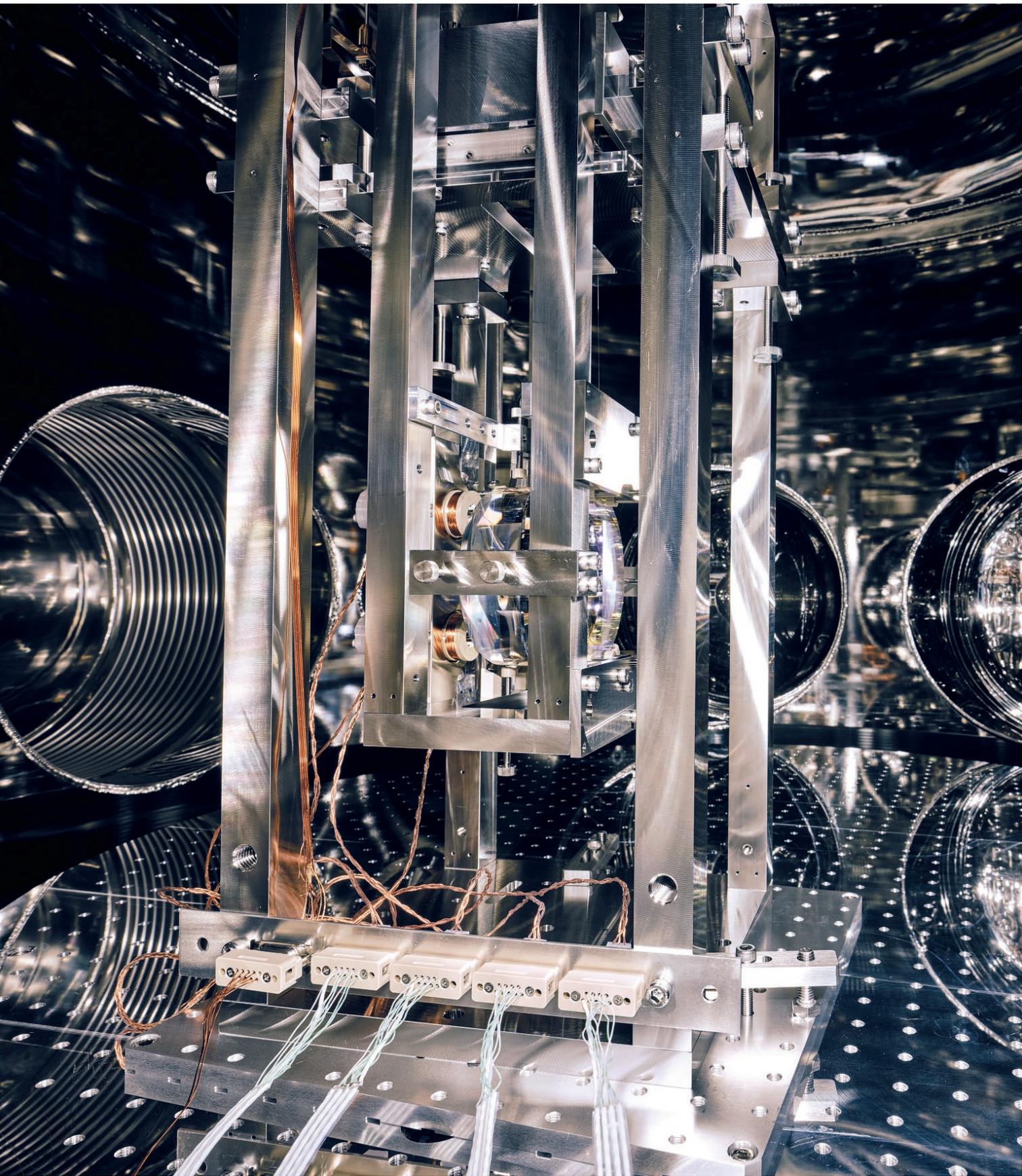
Хотя два упомянутых достоинства *KAGRA* в принципе могли бы позволить обнаруживать более слабые источники гравитационных волн, чем *LIGO* или *Virgo*, проект не лишен и недостатков. Так, механические охладители сохраняют низкую температуру зеркал, но также вводят свой собственный вибрационный шум в измерения. Кроме того, дождевая вода и тающий снег регулярно проникают в туннели *KAGRA*, заставляя рабочих устанавливать пластиковые листы для защиты delicate оборудования. Но даже с защитой влага может остановить функционирование комплекса во время самых влажных сезонов года.

Если все пойдет по плану, *KAGRA* не только поможет совершить новые крупные открытия, но и продемонстрирует новые технологии, которые, вероятно, будут использоваться следующим поколением более продвинутых гравитационно-волновых обсерваторий по всему миру. ■

Перевод: О.С. Сажина

ЭКРАНИРОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ

Техник сидит на корточках возле самой верхней секции 14-метровой системы виброизоляции для одного из полированных сапфировых зеркал *KAGRA*. Такие системы представляют собой необходимые защитные экраны от внешних шумов, позволяя обнаружить мельчайшие воздействия проходящей гравитационной волны: смещение зеркала на долю тысячной доли диаметра протона.



УЗКИЙ ЛУЧ

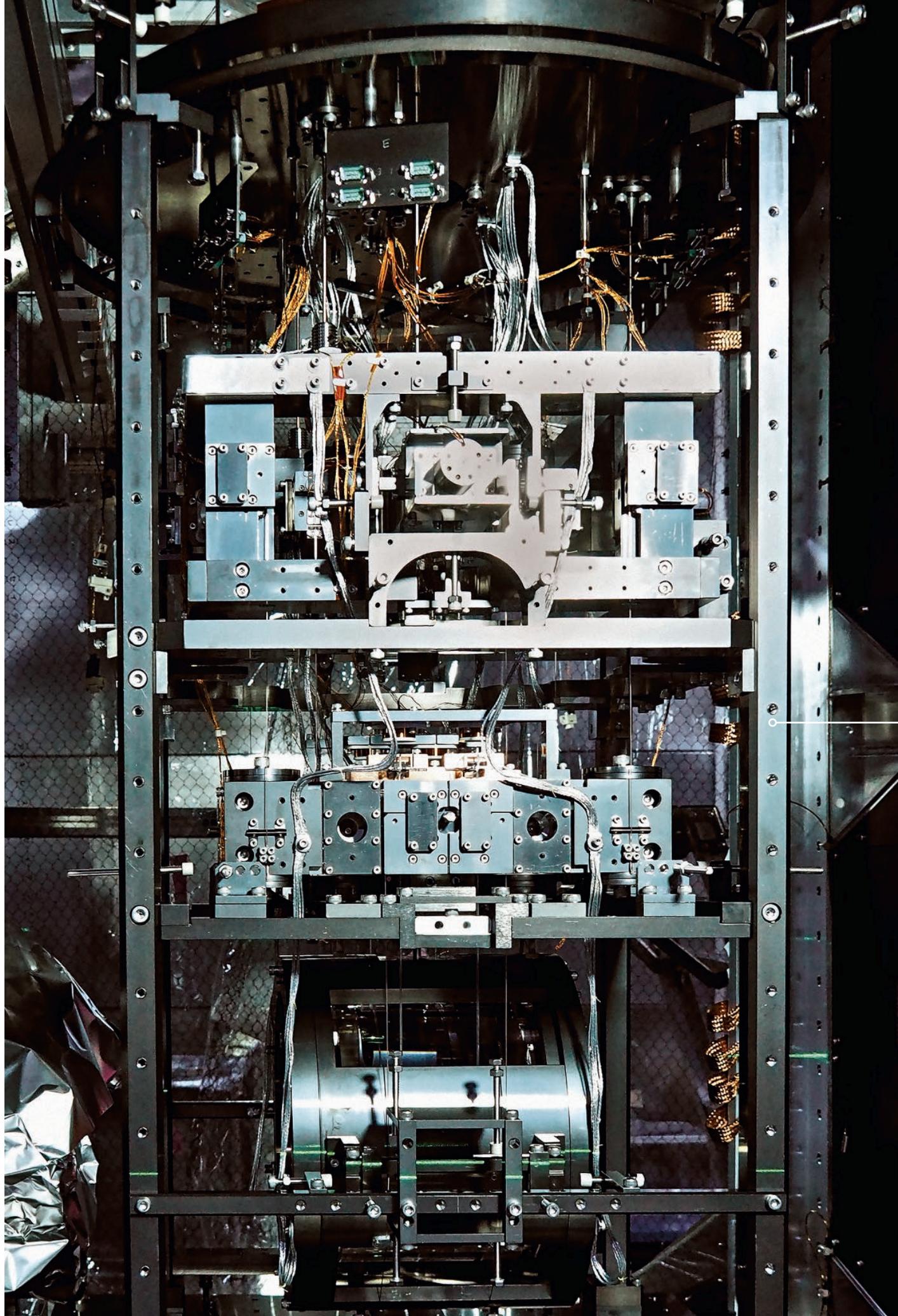
Необходимо гарантировать, чтобы лазеры KAGRA точно регистрировали почти незаметные искажения своих зеркал, вызванные гравитационными волнами. С этой целью ученые должны тщательно контролировать местоположение и яркость лазерного луча. Это требует подачи лазера через то, что фактически представляет собой телескоп (показано на фото), соединенный с другим устройством виброизоляции и размещенный внутри вакуумного сосуда.

СОХРАНЯЯ ХОЛОД

Техник проверяет систему подвески зеркала перед его установкой внутри криогенных контейнеров KAGRA. Оказавшись внутри, зеркало и его крепление охлаждаются до температуры, близкой к абсолютному нулю, что позволяет минимизировать тепловые колебания составляющих его атомов, давая возможность обнаружить проявления более слабых гравитационных волн.

OPPOSITE PAGE: ENRICO SACCHETTI; THIS PAGE: ROMAN MEHRA







СВЕТ МОЙ, ЗЕРКАЛЬЦЕ

Еще один вид тончайшего аппарата, который фиксирует зеркало на месте перед его установкой в криогенную систему KAGRA. Сапфировое зеркало удерживается в цилиндрической камере в самой нижней ступени, подвешенной на четырех тонких сапфировых волокнах. Остальные три вертикальные ступени содержат компоненты для изоляции зеркального узла от сейсмического шума и изготовлены из разных материалов, способных выдерживать чрезвычайно низкотемпературные условия эксплуатации KAGRA.

КОМАНДНЫЙ ПУНКТ

Все приборы KAGRA управляются из этой комнаты, расположенной на поверхности в десяти минутах езды от входа в подземную пещеру. Настенный блок из шести больших экранов отображает температуру, влажность и условия эксплуатации всего комплекса KAGRA, а меньшие экраны вдоль правой стены комнаты показывают мгновенные снимки лазерных лучей, каскадно проходящих по вакуумным туннелям, а также информацию о сейсмической активности по всей Японии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Detection of Gravitational Waves with LIGO. Barry C. Barish. Доклад на конференции Отделения частиц и полей Американского физического общества (APS) 5–9 января 1999 г. в Лос-Анджелесе, штат Калифорния. Препринт доступен по адресу: <https://arxiv.org/abs/gr-qc/9905026>
- Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. The LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration in Physical Review Letters, Vol. 116, No. 6, Article No. 061102; February 12, 2016.
- KAGRA: 2.5 Generation Interferometric Gravitational Wave Detector. The KAGRA Collaboration in Nature Astronomy, Vol. 3, pages 35–40; January 2019.

АСТРОНОМИЯ

ЗОРИЗНЬ ТЕЛЕАВ

После 20 лет работы на орбите лидер
среди рентгеновских телескопов —
Рентгеновская обсерватория «Чандра» —
по-прежнему раскрывает секреты космоса

Белинда Уилкс



СЦЕНА ПОСЛЕ ВЗРЫВА

Глубоко в сердце Крабовидной туманности расположена быстро вращающаяся нейтронная звезда с мощным магнитным полем, которая образовалась, когда массивная звезда взорвалась сверхновой в 1054 г. Многоцветное изображение демонстрирует нам остатки этого взрыва: рентгеновские лучи показаны фиолетовым, ультрафиолетовое излучение — голубым, видимый свет — зеленым, инфракрасное излучение — желтым и радиоволны — красным. В области с рентгеновским излучением, ближайшей к нейтронной звезде, доминируют лучи, испущенные заряженными частицами, разогнанными до высоких энергий за счет вращения звезды.

ОБ АВТОРЕ

Белинда Уилкс (Belinda J. Wilkes) — старший астрофизик Смитсоновской астрофизической обсерватории и руководитель Центра управления Рентгеновским телескопом «Чандра», обе организации находятся в Кеймбридже, штат Массачусетс.



С момента своего запуска в 1999 г. Рентгеновская обсерватория «Чандра» американского Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства изучала звездное небо в коротковолновом рентгеновском диапазоне, предоставляющем наилучшие возможности для наблюдения колоссальных черных дыр, скоплений галактик и остатков яростных вспышек сверхновых. Телескоп фиксирует место, энергию и время попадания на детектор каждого рентгеновского кванта. Эти его возможности вместе с беспрецедентно высоким разрешением и способностью видеть рентгеновские лучи в широком диапазоне энергий (длин волн) произвели революцию в наших знаниях о рентгеновской Вселенной. Он перевернул наши представления о таких загадках, как темная материя и рождение звезд, и даже об особенностях планет Солнечной системы.

Обсерватория «Чандра» (*Чандра в древнеиндийской мифологии — бог Луны. — Примеч. пер.*) разрабатывалась, чтобы получить ответ на ключевой вопрос рентгеновской астрономии: что служит источником рассеянного рентгеновского излучения, которое, по всей видимости, можно наблюдать в каждом направлении космического пространства, — так называемого фонового рентгеновского излучения? Она также разрабатывалась как «общая обсерватория», чтобы большую часть времени наблюдения предоставить ученым во всем мире, работающим над самыми различными задачами, которые ежегодно отбираются из общего числа поступивших заявок. Даже после 20 лет работы «Чандры» мы каждый год получаем около 500–600 заявок, что примерно в 5,5 раз превышает время наблюдения, которое мы можем предоставить, — конкуренция весьма высока.

Проект «Чандра» оказался необычайно продуктивным. Он выполнил свою первоначальную цель, показав, что почти все загадочное фоновое рентгеновское излучение исходит от тысяч отдельных сверхмассивных черных дыр, расположенных в центрах галактик. Обсерватория позволила раскрыть секреты целого ряда небесных явлений: мощного рентгеновского излучения, испускаемого релятивистскими струями, вылетающими из сверхмассивных черных дыр в процессе поглощения ими вещества; природы ярких сияний, полыхающих в атмосфере Юпитера; излучения, возникающего при столкновениях нейтронных звезд, зарегистрированных также и детекторами гравитационных волн; необычайно ярких черных дыр

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В этом году отмечается двадцатая годовщина Рентгеновской обсерватории NASA «Чандра», которая непрерывно летает вокруг Земли с момента ее запуска в 1999 г.
- Телескоп совершил крупные открытия в изучении сверхмассивных черных дыр, остатков взрывов сверхновых и многого другого.
- Открыв счет своему третьему десятилетию, «Чандра» продолжает плодотворную работу. Запланированные программы сотрудничества с новыми и существующими обсерваториями позволят еще больше расширить наши знания о Вселенной.



ЗАКРУЧЕННЫЕ СПИРАЛИ

Две сталкивающиеся галактики, известные под общим именем M51, или «Водоворот», демонстрируют нам красивые рукава, характерные для спиральных галактик. Примерно 400 рентгеновских источников, большая часть которых — двойные звезды, видны здесь и расположены главным образом недалеко от областей формирования звезд. Ученые полагают, что взаимодействие между двумя галактиками спровоцировало волну формирования звезд, в результате чего в этой системе образовалось большое число двойных рентгеновских звезд. Пульсация одной из таких двойных систем наводит на мысль, что одна из этой тесной компании — нейтронная звезда, которая, должно быть, засасывает в себя гигантское количество вещества своей звезды-компаньона, формируя тем самым необычайно яркий источник излучения. Основное изображение (1) получено совмещением рентгеновского изображения обсерватории «Чандра» (2) и фотографии в оптических лучах (3), сделанной космическим телескопом «Хаббл». Совмещение данных от различных телескопов позволяет астрономам получить более полные, многоцветные картины, демонстрирующие космические явления в широком диапазоне электромагнитного спектра.

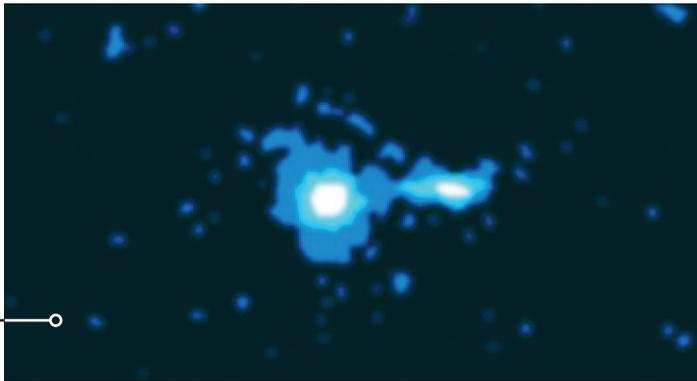
размером со звезду, метко названных сверхъяркими источниками рентгеновского излучения. Число научных статей, основанных на наблюдениях обсерватории «Чандра», превышает 8 тыс., а сообщество ее пользователей во всем мире составляет более 4 тыс. ученых.

Я присоединилась к программе за три года до запуска обсерватории в качестве руководителя группы поддержки пользователей. Я участвовала в создании сайта и подготовке документов, чтобы снабжать информацией ученых — наших пользователей, а также занималась калибровкой телескопа в ходе подготовки к запуску в Центре космических полетов им. Джорджа Маршалла NASA в Алабаме. Хотя это было нервное и напряженное время подготовки к запуску, оно

показалось «цветочками» в сравнении с несколькими первыми месяцами работы после запуска.

Обсерватория «Чандра» достигла своего двадцатилетия и по-прежнему сохраняет работоспособность. Я работаю директором Центра управления Рентгеновским телескопом «Чандра» в Кеймбридже, штат Массачусетс, где мы руководим всей работой телескопа. Мы надеемся, что вместе с новыми телескопами, вступающими в строй в настоящее время, и теми, которые появятся в будущем, такими как Телескоп горизонта событий, Космический телескоп им. Джеймса Уэбба и множеством других, «Чандра» еще долгие годы будет умножать наши знания о самых горячих и бурных областях Вселенной. ■

Перевод: А.П. Кузнецов



РАЗЛЕТАЮЩИЕСЯ РЕЛЯТИВИСТСКИЕ СТРУИ

Еще в начале своей работы в космосе «Чандра» запечатлела квазар PK5 0637-752, сверхмассивную черную дыру в ядре далекой галактики, которую за десять лет до того я изучала по данным Рентгеновской обсерватории им. Альберта Эйнштейна NASA (HEAO-2). Эта черная дыра затягивает в себя огромное количество вещества из своей галактики. При падении вещества на черную дыру оно разогревается так сильно, что сияет ярче 100 млрд звезд галактики. Засвеченный участок на западной стороне (справа) оказался полной неожиданностью, и поначалу персонал центра управления обсерваторией «Чандра» испугался, что с оптикой телескопа случилось что-то неладное. Как оказалось, «Чандра» обнаружила рентгеновское излучение, исходящее из релятивистской плазменной струи, вырывающейся из падающего на черную дыру вещества. Эта струя ранее уже была зафиксирована в радиодиапазоне, а вот ее рентгеновское излучение стало неожиданностью. Возможность обсерватории «Чандра» наблюдать релятивистскую струю позволила добиться значительного прогресса в нашем понимании релятивистских струй, истекающих из окрестностей сверхмассивных черных дыр.

ДЫМЯЩИЙСЯ ПИСТОЛЕТ

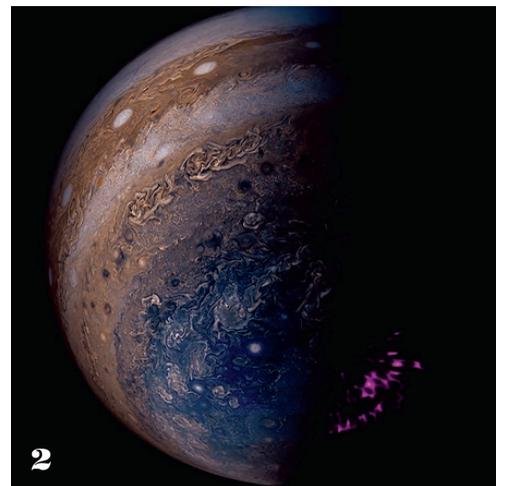
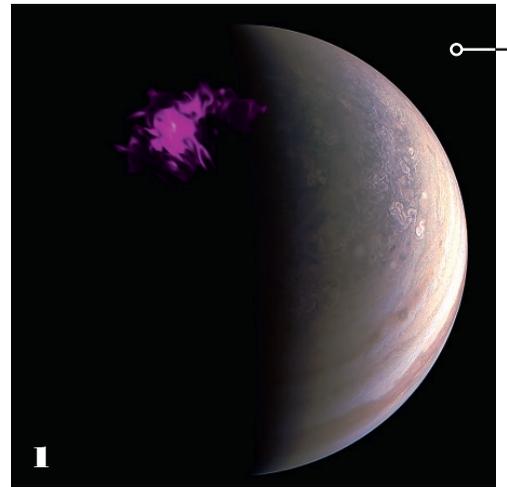
Среди результатов работы обсерватории «Чандра», получивших наибольшую известность, — композиционное изображение скопления галактик «Пуля»: наложение двух сталкивающихся друг с другом скоплений галактик. На картинке объединены данные, полученные космическими обсерваториями «Чандра», «Хаббл» и наземным телескопом «Магеллан». Горячий газ здесь проявляется в рентгеновских лучах (розовый), тогда как галактики можно рассмотреть на фотографии с «Магеллана» в видимом диапазоне (белый). На основе этого оптического изображения ученые нашли распределение темной материи (голубой), исходя из искажений на фотографиях галактики, вызванных гравитацией (явление, названное гравитационным линзированием).

Разрыв между горячим газом и темной материей стал первым непосредственным свидетельством присутствия темной материи. Он показывает, что эта мистическая субстанция не взаимодействует ни с собой, ни с обычным веществом, поскольку она движется вместе с галактиками, не замечая другую материю вокруг себя. В противоположность этому горячий газ взаимодействует и замедляет свое движение, принимая форму пули, что и дало объединенным скоплениям их имя.



РЯДОМ С ДОМОМ

Помимо того что рентгеновская обсерватория «Чандра» обнаружила далекие сверхмассивные черные дыры и скопления галактик, она позволила сделать поразительные открытия внутри нашей Солнечной системы. На этих изображениях Юпитера видно рентгеновское излучение, исходящее от полярного сияния с северного (1) и южного (2) полюсов планеты, — явление, уникальное для планет Солнечной системы. Предполагают, что рентгеновские лучи образуются, когда магнитное поле направляет к полюсам частицы из экваториального кольца вокруг Юпитера. Наблюдения, проведенные с помощью обсерватории «Чандра» в 2019 г., в сочетании с данными спутника NASA «Юнона», который сейчас находится на орбите вокруг Юпитера, как ожидается, позволят получить более подробную информацию об этом процессе. Как руководитель программы, я содействовала проведению этих наблюдений, выделив закрепленное за руководителем свободное наблюдательное время для проведения этого исследования.



X-RAY: NASA, CXO, UCL AND W. DUNN ET AL. (3); OPTICAL: SOUTH POLE: NASA, JPL-CALTECH, SWRI, MSSS, GERALD EICHSTÄDT AND SEAN DORAN; NORTH POLE: NASA, JPL-CALTECH, SWRI AND MSSS (4)



НОВОРОЖДЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Более 1,4 тыс. голубых и оранжевых светящихся точек — это недавно сформировавшиеся звезды в плотной туманности, которая видна невооруженным глазом в «Мече Ориона», в центре созвездия Орион. Острый рентгеновский взор обсерватории «Чандра» проникает сквозь газ и пыль, обнаруживая новые звезды, скрытые от телескопов оптического диапазона. Молодые звезды — горячие и яростные, поскольку гравитация стягивает вещество, магнитное поле его ускоряет, а космические ветры снова раздувают его, когда формируются и начинают сиять звезды.



ПЕРВЫЙ СВЕТ

Первое же официальное фото хрестоматийного остатка сверхновой Кассиопея А показало великолепные возможности высокого пространственного разрешения телескопа, обнаружив долгожданную нейтронную звезду в центре этой туманности. Плотную нейтронную звезду, ту, что осталась от намного более массивной звезды, взорвавшейся 340 лет назад, никто ранее не наблюдал. На этом изображении соединены данные, полученные «Чандрой» за период в несколько лет, что позволило усилить видимость деталей сложной структуры. В нем также использована возможность разрешения по энергетическому спектру, чтобы открыть различные химические элементы, которые образовались внутри звезды и были выброшены взрывом наружу: красный цвет указывает на присутствие кремния, желтый — серы, зеленый — кальция, а фиолетовый — железа. Голубоватое внешнее кольцо на изображении — это излучение, испускаемое высокоэнергетическими частицами, разогнанными ударной волной: еще одно проявление взрыва сверхновой, впервые обнаруженное «Чандрой».

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

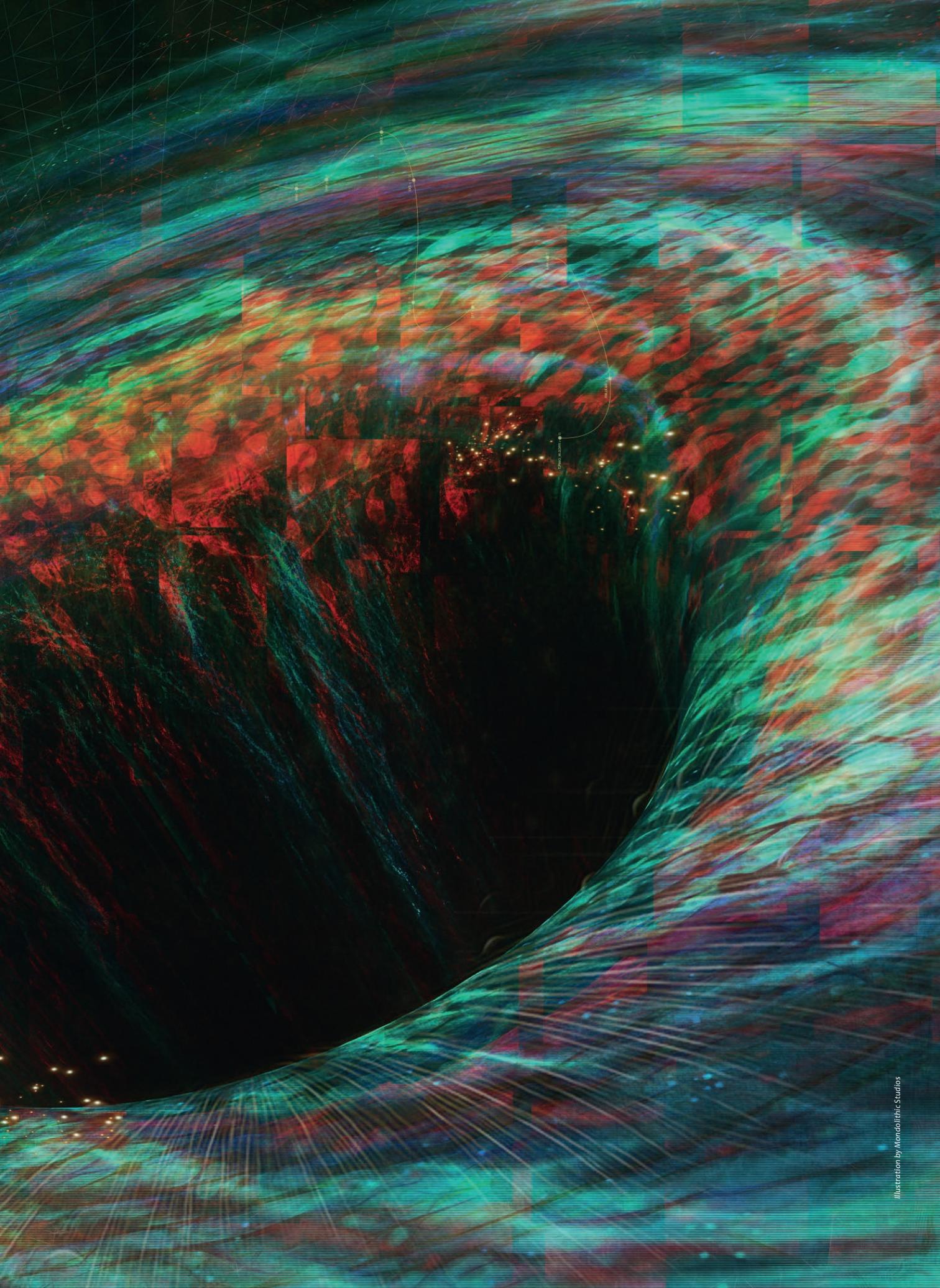
- Белл Т., Домингес А., Примак Д. Весь свет во Вселенной // ВМН, № 8–9, 2015.
- Exploring the Extreme: 20 Years of Chandra. Chandra X-ray Center. <https://chandra.si.edu/20th>

ФИЗИКА

ПОБЕГ ИЗ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

Чтобы спасти законы квантовой механики, информация с необходимостью должна уходить из черных дыр. Новые наблюдения способны помочь прояснить, как это происходит

Стивен Гиддингс



ОБ АВТОРЕ

Стивен Гиддингс (Steven B. Giddings) — физик, специалист по квантовой теории из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. Область научных интересов: теория высоких энергий, квантовые аспекты гравитации, квантовые черные дыры.



Человечество впервые увидело черную дыру 10 апреля 2019 г. благодаря работе научной команды Телескопа горизонта событий (*Event Horizon Telescope, EHT*). Этот проект представляет собой сеть синхронно работающих радиобсерваторий, которая охватывает всю нашу планету. Команда поделилась попавшими в поле зрения сети снимками черной дыры, расположенной в центре соседней галактики *M87*. Масса этой черной дыры оказалась в 6,5 млрд раз больше массы нашего Солнца. Трудно переоценить важность сделанного открытия — ведь оно стало нашим первым взглядом на один из самых загадочных объектов во Вселенной, давно предсказанный, проявлявший себя по косвенным наблюдениям, но сам никогда непосредственно не наблюдаемый. Вскоре последуют еще более захватывающие изображения, которые покажут результаты наблюдений, планируемых в ближайшем будущем. Нам откроются новые подсказки об одной из самых таинственных загадок физики.

Загадка заключается в так называемом информационном парадоксе. Что происходит с информацией в черной дыре? Исследуя этот вопрос, физики обнаружили, что само существование черных дыр несовместимо с квантово-механическими законами, которые тем не менее правильно описывают все остальное в нашей Вселенной. Разрешение этого противоречия может потребовать кардинальной революции наших представлений о мире, столь же глубокой, как и свержение классической физики квантовой механикой.

Теоретики опробовали много подходов, но прямых доказательств, которые могли бы решить эту проблему, оказалось

мало. Первое изображение черной дыры дает начало потоку реальных наблюдательных данных для проверки наших теорий. Будущие наблюдения на *EHT* — особенно те, которые могут показать, как черные дыры эволюционируют с течением времени, — и недавние обнаружения гравитационно-волновыми обсерваториями сталкивающихся черных дыр могут дать важные новые идеи и помочь вступить в эру совершенно новой физики.

Проблема информации

Хотя черные дыры глубоко загадочны, они распространены в космосе повсеместно. Наблюдения *EHT* и гравитационно-волно-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Согласно квантовой механике, информация никогда не может быть уничтожена. Но в сочетании с общей теорией относительности квантовые правила гласят, что черные дыры уничтожают информацию.
- Ученые предлагают модификации классической картины черных дыр, которые могли бы разрешить парадокс, но не хватает доказательств, чтобы проверить новые теории.
- Эта ситуация меняется с появлением нового Телескопа горизонта событий (*EHT*), который недавно сделал первый снимок черной дыры, а также с гравитационно-волновыми измерениями слияний черных дыр.

Проблема информации

Черные дыры были предсказаны общей теорией относительности, и все больше астрофизических свидетельств подтверждают их существование. Но в 1974 г. Стивен Хокинг утверждал, что черные дыры в конечном итоге испаряются. Если это так, то все, что попадает в них, в конечном счете уничтожается, включая информацию, содержащуюся в материи, которая попала в них. Проблема в том, что квантовая механика и закон сохранения энергии запрещают такое разрушение информации. В ответ физики выдвинули несколько предложений о том, как изменить наше понимание черных дыр, чтобы сделать их совместимыми с квантовой физикой:

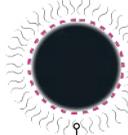
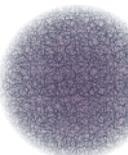
	ГИПОТЕЗА	ОПИСАНИЕ	ПРОБЛЕМА
Уничтожение информации	«Классическая» черная дыра  Горизонт событий	Черная дыра с горизонтом событий; информация, которая попадает в черную дыру, разрушается, когда черная дыра испаряется.	Противоречие с квантовой механикой и законом сохранения энергии, согласно которому информация не может исчезнуть.
	«Мягкие волосы»  Отпечаток информации	Информация не полностью попадает в черную дыру, а вместо этого оставляет «отпечаток» снаружи, непосредственно перед горизонтом событий.	Большинство экспертов не считают эту картину убедительным решением проблемы.
Информация не уничтожается	«Пушистый шар» 	Тип массивного остатка, в котором горизонт событий черной дыры заменяется струнами и геометрией высоких размерностей.	Все три сценария требуют модификации общепризнанного принципа локальности, согласно которому ничто, включая информацию, не может передвигаться со сверхсветовой скоростью.
	Экран  Стена из частиц	Тип массивного остатка, в котором «стена» частиц с высокими энергиями замещает горизонт событий; у такого объекта нет внутренней части черной дыры.	
	Квантовое гало 	Квантовая черная дыра взаимодействует со своим окружением, возможно, с помощью малых флуктуаций в пространстве-времени, приводя к выходу информации наружу.	

Illustration by Amanda Montefez

вые измерения — это всего лишь самые последние и надежные доказательства того, что черные дыры, несмотря на свою фантастичность, действительно реальны и многочисленны. Однако само существование этих объектов угрожает основам современной физики. Считается, что базовые принципы квантовой механики управляют всеми другими законами природы, но когда они применяются к черным дырам, то приводят к противоречию, обнажая недостатки современных формулировок этих законов.

Проблема возникает из рассмотрения одного из простейших вопросов, которые мы можем задать о черных дырах: что происходит с падающим в них веществом? Тут нам необходимо привести некоторое уточнение. Во-первых, согласно квантовомеханическим законам в их современной формулировке, материя и энергия могут преобразовываться из одной формы в другую: например, одни частицы могут превращаться в разные частицы других видов. Однако единственное, что не должно разрушаться ни при каких процессах, — это квантовая информация. Если мы знаем полное квантовое описание системы, то мы всегда должны уметь точно определить ее более раннее или более позднее квантовое состояние без потери информации. Можно более конкретно сформулировать первоначальный вопрос: что происходит с квантовой информацией, которая попадает в черную дыру?

Наше понимание черных дыр восходит к общей теории относительности Альберта Эйнштейна, которая описывает гравитацию как возникающую из кривизны пространства и времени. Популярной визуализацией этой идеи служит тяжелый шар, лежащий на поверхности батута и деформирующий ее. Искривление пространства-времени вызывает искривление траекторий массивных тел и света, и мы называем это гравитацией. Если масса очень сильно сконцентрирована в достаточно малой области, то ближайшее к ней искривление пространства-времени настолько велико, что даже свет не может покинуть область, ограниченную так называемым горизонтом событий. Это и есть черная дыра. Если ничто не способно двигаться быстрее света — включая информацию, — то все должно застрять внутри этой границы. Черные дыры становятся своего рода космическими воронками, поглощающими информацию вместе со светом и материей.



Гравитация искривляет свет вокруг видимой черной дыры в центре галактики M87 (изображение получено телескопом ЕНТ)

Однако история становится все более странной. Возможно, величайшее научное достижение Стивена Хокинга — это его предсказание 1974 г. о том, что черные дыры испаряются. Это утверждение привело к поразительной идее, что черные дыры уничтожают квантовую информацию. Согласно квантовой механике, пары «виртуальных частиц» появляются всегда и везде. Обычно такая пара, состоящая из частицы и ее двойника-античастицы, быстро аннигилирует. Однако если пара рождается вблизи горизонта черной дыры, то одна частица может оказаться внутри области,

ограниченной горизонтом событий, а другая частица — снаружи. Внешняя частица может уйти далеко от черной дыры, унося с собой энергию. Закон сохранения энергии говорит нам, что черная дыра таким образом теряет энергию, поэтому излучение уходящих частиц заставляет черную дыру с течением времени сжиматься, пока та полностью не исчезнет, «испарится». Проблема заключается в том, что уходящие частицы, известные как излучение Хокинга, практически не несут информации о том, что ранее попало в черную дыру. Итак, расчеты Хокинга, по-видимому, показывают, что

квантовая информация, которая попадает в черную дыру, в конечном счете разрушается. Это утверждение противоречит законам квантовой механики.

Указанное обстоятельство вызвало глубокий кризис в физике. В прошлом попытки разрешить кризисы физических теорий приводили к прорывным успехам. Так, в начале XX в. классическая физика, казалось, предсказывала неизбежную нестабильность атомов, что явно противоречило существованию устойчивого вещества. Эта проблема сыграла ключевую роль в квантовой революции. Классическая физика подразумевает, что из-за того, что орбитальные электроны внутри атомов постоянно меняют направление, они постоянно излучают, в результате чего теряют энергию и спирально падают в ядро. Однако в 1913 г. Нильс Бор предположил, что электроны на самом деле перемещаются только по квантованным орбитам и не могут двигаться по спирали. Эта радикальная идея помогла заложить основы квантовой механики, которая в корне переосмыслила наше понимание законов природы. Некоторые ученые полагают, что проблема финальной стадии испарения черных дыр точно так же сможет привести к очередному сдвигу парадигмы в физике.

Квантовые альтернативы

Когда Стивен Хокинг впервые теоретически предсказал испарение черной дыры, он сделал это в предположении, что квантовая механика с необходимостью должна быть неправильной и что разрушение информации разрешено. Однако физики вскоре поняли, что внесение изменений в квантовую механику приведет к кардинальному нарушению закона сохранения энергии, из-за чего, в свою очередь, наше нынешнее описание Вселенной катастрофически сойдет на нет. Очевидно, что решение должно быть найдено как-то иначе.

Другая из высказанных ранее идей заключалась в том, что черные дыры не полностью испаряются, а вместо этого в какой-то момент перестают сжиматься, оставляя после себя микроскопические остатки, содержащие исходную информацию. Но согласно мнению некоторых ученых, окажись это правдой, по основным свойствам квантовой физики возникли бы катастрофические нестабильности. В результате последних при образовании остатков черных дыр должны были бы происходить взрывы обычного вещества, что противоречит наблюдениям.

Очевидно, что-то в используемых подходах глубоко неправильно. Заманчиво сделать заключение, что недостаток заключается в первоначальном анализе Хокинга и что каким-то образом информация действительно ускользает из черной дыры, испуская излучение Хокинга. Проблема в том, что этот сценарий будет противоречить основополагающей концепции современной физики, принципу локальности, который утверждает, что информация не может перемещаться из одного места в другое сверхсветовым способом — то есть быстрее скорости света. Но согласно нашему определению черных дыр, единственный способ уйти от них — это путешествовать быстрее света, так что если информация действительно ускользает, то она должна делать это со сверхсветовой скоростью, в конфликте с принципом локальности. За четыре десятилетия, прошедшие с момента теоретического вывода Хокинга, физики пытались найти лазейку в этом аргументе, которая оставалась бы в рамках обычной физики, однако ничего не вышло.

Недавней попыткой продвинуться дальше в этих исследованиях было предложение Стивена Хокинга, Малкольма Перри (Malcolm Perry) и Эндрю Строминджера (Andrew Strominger). Ученые предположили, что в отличие от начальной модели следует считать информацию никогда полностью не входящей в черную дыру. Другими словами, информация оставляет своего рода отпечаток в виде того, что они назвали «мягкими волосами» (*продолжая терминологию в ключе названия теоремы об отсутствии волос. — Примеч. пер.*), снаружи черной дыры. Однако более пристальный анализ такой модели, похоже, делает ее менее реалистичной. Большинство экспертов не верят, что она может дать правильный ответ на вопрос об испарении черной дыры. Короче говоря, необходимы более радикальные шаги.

Очевидная идея заключается в том, что есть какая-то неизвестная физика, которая предотвращает существование истинных черных дыр вообще. Общепринятая картина образования черных дыр гласит, что когда очень большие звезды сгорают и умирают, их масса коллапсирует под действием силы тяжести в черную дыру. Но что если они никогда не достигнут этой стадии и действительно превратятся в объекты с более «примерным» поведением? На самом деле мы знаем, что когда звезды с меньшей массой, такие как наше Солнце, выгорают

и коллапсируют, они не образуют черных дыр, а вместо этого образуют плотные остатки — например, белые карлики или нейтронные звезды. Возможно, некоторые неизвестные законы физики также препятствуют образованию больших звезд из черных дыр и вместо этого приводят к формированию своего рода «массивных остатков», которые больше похожи на нейтронную звезду, чем на черную дыру.

Проблема с последним предположением заключается в том, что нет возможности объяснить причину устойчивости таких объектов, поскольку ни один из известных физических процессов не должен препятствовать непрерывному коллапсу под действием гравитации. Другими словами, любая воображаемая физика, в рамках которой такое оказалось бы возможным, потребовала бы, по-видимому, обмена сверхсветовыми сигналами от одной части коллапсирующего вещества к другой. На самом деле обычные большие черные дыры могут

Сами наши представления о пространстве и времени, лежащие в основе остальной науки, по-видимому, требуют значительного пересмотра

образовываться из вещества с очень низкой плотностью. Например, если бы черная дыра массой 6,5 млрд солнечных масс в M87 возникла в результате коллапса пылевого облака (что теоретически возможно, хотя на самом деле процесс был, по-видимому, более сложным), то это могло бы произойти, когда пыль достигла плотности воздуха на вершине Эвереста. (Воздух на вершине Эвереста не образует черной дыры, потому что его количества недостаточно; для этого потребуется накопить 6,5 млрд солнечных масс.) Какой-то принципиально другой и к тому же сверхсветовой физический процесс должен был бы взять верх в режиме низкой плотности, чтобы мгновенно преобразовать коллапсирующее облако в массивный остаток вместо того, чтобы позволить черной дыре образоваться.

Продолжая развивать мысль в русле предыдущей идеи, можно предположить существование чего-то такого, что может заставить черные дыры превращаться в массивные остатки, содержащие исходную информацию, уже после того, как они

сформируются, но задолго до того, как они испарятся. Однако такой вариант снова потребует нелокальной передачи информации из недр начальной черной дыры в конечный остаток.

Несмотря на обнаруживаемые трудности, физики исследовали версии обоих этих сценариев. Так, в 2003 г. Самир Матур (Samir Mathur) выдвинул предложение, основанное на теории струн. Согласно этой теории, фундаментальные частицы — это крошечные струны (*колебания крошечных струн*. — Примеч. пер.). Идея Матура состояла в том, что черная дыра превращается в этакый «пушистый шар», своего рода массивный остаток, или что этот «пушистый шар» вообще образуется вместо черной дыры. Благодаря сложной физике теории струн и ее учету большего, чем традиционные четыре измерения, пространства-времени, у «пушистых шаров» может быть сложная геометрия более высоких измерений; вместо резкой традиционной границы черной дыры на горизонте событий у «пушистого шара» будет более размытая и большая граница, где мы сталкиваемся со струнами и геометрией более высоких измерений.

В качестве альтернативы более поздняя версия сценария остатка — это предположение, что вместо черной дыры с горизонтом событий образуется массивный остаток с поверхностным защитным «экраном» частиц высокой энергии, где будет горизонт. Этот экран испепелит все, что с ним столкнется, превратив все в чистую энергию, которая добавится к энергии самого экрана. И экран, и «пушистый шар», однако, разделяют проблему необходимости нарушения принципа локальности, и результирующие объекты будут иметь другие свойства, которые очень трудно объяснить.

Изменяя локальность

Общее положение в теориях массивного остатка заключается в том, что сохранение квантовой механики, по-видимому, требует нарушения принципа локальности. Но небрежное обращение с ним, как ожидается, будет столь же катастрофичным, как и изменение квантовой механики, и, по сути, приведет к другому парадоксу. В частности, законы теории относительности говорят, что если вы посылаете сигнал быстрее света в пустом плоском пространстве, то наблюдатели, путешествующие мимо вас с высокой скоростью, увидят сигнал, идущий назад во времени. Парадокс возникает потому, что этот сверхсветовой обмен сигналами

позволяет вам отправить сообщение в ваше прошлое, например, попросить кого-то убить вашу бабушку до рождения вашей матери.

Хотя такой ответ, по-видимому, противоречит фундаментальным физическим принципам, он заслуживает более пристального внимания. Изменение принципа локальности кажется безумным, но мы не нашли альтернативы, которая его не меняет. Серьезность вопроса о природе кризиса черных дыр действительно предполагает введение некоторого тонкого нарушения принципа локальности, которое не порождает подобных парадоксов. Иначе говоря, квантовая механика подразумевает, что информация никогда не уничтожается, поэтому информация, которая попадает в черную дыру, в конечном счете должна уйти, возможно, через какую-то новую, тонкую «делокализацию» информации, которая может стать ясной, когда мы наконец найдем способ объединить квантовую механику с гравитацией. Последняя задача представляет собой одну из самых глубоких проблем современной физики. На самом деле, у нас есть и другие причины думать, что такая тонкость может присутствовать. Сама идея локализованной информации — то, что она может существовать в одном месте, а не в другом, — более сложна в теориях, которые включают гравитацию, чем в тех, которые этого не делают, потому что гравитационные поля простираются до бесконечности, усложняя концепцию локализации.

Если информация действительно ускользает от черной дыры, последняя может не потребовать столь очевидного и резкого изменения, как образование массивного остатка, будь то «пушистый шар», экран или что-то иное. Растущее число свидетельств существования черных дыр говорит о том, что во Вселенной есть объекты, которые выглядят и действуют во многом как классические черные дыры, без больших отклонений от предсказаний Эйнштейна. Настолько ли кардинально неверна общая теория относительности Эйнштейна в своем описании черных дыр или могут быть какие-то более безобидные, неизвестные в настоящее время эффекты, которые делокализуют информацию и позволяют ей просачиваться из черных дыр, избегая такого драматического обрушения нашей картины пространства-времени?

В моей недавней теоретической работе я нашел два возможных варианта таких эффектов. В одном случае геометрия

пространства-времени вблизи черной дыры изменяется: она искривляется и идет рябью определенным образом, зависящим от информации в черной дыре. Эти изменения незначительны, «мягки» — другими словами, они не разорвут космонавта, пересекающего горизонт событий. В таком сценарии (я назвал его «сильным») мерцание пространства-времени может передавать информацию. Интересно то, что я также обнаружил существование более тонкого, квантового способа выхода информации из черной дыры. В этом сценарии (я назвал его «слабым») даже крошечные квантовые флуктуации геометрии пространства-времени вблизи черной дыры могут передавать информацию частицам, исходящим из этой черной дыры. Количество переданной информации все еще достаточно велико для того, чтобы спасти квантовую механику, потому что черная дыра может содержать огромное количество возможной информации. В любом случае черная дыра фактически имеет «квантовое гало», окружающее ее. В этом гало взаимодействия передают информацию в него же обратно.

Примечательно, что эти сценарии, несмотря на кажущуюся необходимость сверхсветового перемещения информации, не обязательно порождают парадокс путешествия назад во времени. Обмен информационными сигналами здесь связан с существованием черной дыры, которая имеет геометрию пространства-времени, отличную от геометрии плоского пространства, так что ранее высказанный аргумент об общении с прошлым больше не имеет силы. Эти возможности провокационны с другой точки зрения: принцип локальности — это то, что препятствует нашему собственному путешествию быстрее света; квантовая механика черных дыр, кажется, дает указания на нечто неправильное в нынешней формулировке этого принципа.

Переписывая законы физики

До сих пор сценарий существования рассмотренного выше квантового гало не был предсказан никакой расширенной физической теорией, совмещающей квантовую механику с гравитацией. Однако такой сценарий имеет право на существование из-за необходимости решения проблемы и исходя из предположений, основанных на наблюдениях. Если такой сценарий верен, он, вероятно, представляет собой приблизительное описание более глубокой реальности. Сами наши представления о пространстве

и времени, лежащие в основе остальной науки, по-видимому, требуют значительно-го пересмотра. Моя работа по пониманию черных дыр может оказаться сродни первым попыткам моделирования физики атома Нильсом Бором и другими учеными. Эти ранние описания атомов также были приближенными и лишь позднее привели к глубокой теоретической структуре квантовой механики. Хотя изменение принципа локальности кажется слишком смелым шагом, мы могли бы найти утешение, заметив, что законы квантовой механики также казались очень безумными для классических физиков, борющихся с их открытием. Учитывая огромную трудность в выяснении истории квантовых черных дыр и поиске более полной теории, описывающей их, физики стремятся к получению экспериментальных и наблюдательных следствий, которыми можно было бы руководствоваться. Захватывающие последние достижения дали человечеству два прямых окна для наблюдения за поведением черных дыр. В дополнение к изображениям черных дыр с помощью *EHT* Лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория (*LIGO*) и сотрудничающие с ней проекты начали обнаруживать гравитационные волны от столкновений между черными дырами. Гравитационные волны несут с собой ценную информацию о свойствах и поведении породивших их объектов.

С наивной точки зрения кажется абсурдным, что *EHT* или *LIGO* могли обнаружить какое-либо отклонение от описания черных дыр Эйнштейном. Традиционно считалось, что его теория нуждается в модификации только тогда, когда кривизна пространства-времени становится чрезвычайно большой вблизи центра черной дыры; напротив, кривизна очень слаба вблизи горизонта большой черной дыры. Но описанная мной проблема потери информации говорит об обратном. В настоящее время часть научного сообщества пришла к мнению, что для описания явлений, происходящих не только глубоко внутри черной дыры, но и за горизонтом, необходимы некоторые изменения в существующих законах физики. Похоже, мы перешли Рубикон. Для случая черной дыры в *M87* расстояние, на котором мы ожидаем найти отклонения от классических предсказаний, в несколько раз превышает размер нашей Солнечной системы.

Проекты *LIGO* и *EHT* уже исключили более экзотические возможности, которые можно было бы рассмотреть в попытке дать

логически последовательное описание черных дыр. В частности, если бы черные дыры были заменены массивными остатками, более чем вдвое превышающими диаметр предполагаемой черной дыры, то мы бы увидели признаки в обоих экспериментах. В случае *EHT* большая часть света, который дал известное теперь изображение, исходит из области, примерно в полтора раза превышающей диаметр горизонта событий. И для *LIGO* часть зарегистрированного гравитационно-волнового сигнала также производится из области, где сталкивающиеся объекты достигают столь же малых взаимных расстояний. Хотя изучение этих сигналов все еще находится на ранних стадиях, *EHT* и *LIGO* выявили очень темные и очень компактные объекты, которые производят точно такие же сигналы, как предсказанные для «классических» черных дыр.

Тем не менее важно исследовать эти сигналы детально. Достаточно тщательный анализ мог бы на самом деле открыть больше ключей к квантовой физике черных дыр. Даже если никаких новых эффектов наблюдать не будет, мы уже сейчас получаем информацию, которая ограничивает возможные описания квантового поведения черных дыр.

Остатки большого диаметра теперь исключаются, но как насчет сценариев остатков, которые изменяют описание черной дыры только очень близко к горизонту? Хотя полное обсуждение потребовало бы более полной теории этих остатков — таких как «пушистые шары» или экраны, — у нас есть некоторые начальные указания. В частности, если бы эти объекты имели радиусы, чуть превышающие радиус соответствующего горизонта черной дыры, то вполне вероятно, что ни наблюдения *EHT*, ни наблюдения *LIGO* не смогли бы выявить такую структуру, потому что очень мало света или гравитационного излучения выходило бы из области, настолько близкой к горизонту событий.

Одно возможное исключение — это гравитационное «эхо». Как впервые предложили в 2016 г. Витор Кардосо (Vitor Cardoso) из Лиссабонского университета, Эдгардо Францин (Edgardo Franzin) из Барселонского университета и Паоло Пани (Paolo Pani) из Римского университета, если два таких остатка объединяются, образуя конечный остаток, обладающий сходными свойствами, то гравитационные волны могут отражаться от поверхности объединенного остатка и быть наблюдаемыми. В то время

как большинство близких к горизонту сценариев трудно исключить с помощью наблюдений, нелегко также объяснить, как такие структуры могут быть устойчивыми, не разрушаться под собственным весом с образованием черных дыр. Конечно, это общая проблема для всех сценариев с массивными остатками, но она становится еще более сложной при наличии экстремальных сил в таком столкновении.

Перспективы лучше для тестирования таких сценариев, где новые взаимодействия ведут себя как малые изменения геометрии пространства-времени, но простираются далеко за горизонт. Например, в моем «сильном» сценарии дрожание квантового гало черной дыры может исказить свет, проходящий вблизи этой черной дыры. Если такой сценарий верен, то могут возникнуть искажения изображений *EHT*, которые изменяются со временем.

В моем совместном труде с работающим на *EHT* ученым Димитриосом Псалтисом (Dimitrios Psaltis) мы обнаружили, что эти изменения могут произойти примерно за час для черной дыры в центре нашей Галактики. Поскольку *EHT* объединяет многочасовые наблюдения в среднее значение, то такие эффекты трудно увидеть. Однако за соответствующее время флукутации для черной дыры в *M87*, которая более чем в тысячу раз больше, эта величина составит уже десятки дней и больше. Наша работа предполагает, что следует искать эти искажения, используя более длительные наблюдения *EHT*, чем первоначальный семидневный период проекта. Если бы эксперимент обнаружил такие искажения, это был бы впечатляющий ключ к квантовой физике черных дыр. Если же они не появятся, это будет указанием на более тонкий «слабый» квантовый сценарий или на что-то еще более экзотичное.

«Слабый» сценарий труднее проверить из-за относительной малости ожидаемых изменений геометрии. Однако предварительное исследование показывает, что этот сценарий может изменить способ поглощения или отражения гравитационных волн, возможно, приводя к заметному изменению гравитационно-волновых сигналов.

Окажись верным любой из этих сценариев — и мы узнаем больше не только о том, что такое квантовые черные дыры, но и о более глубоких законах природы. Сейчас мы не до конца понимаем, как трактовать принцип локализации информации при наличии гравитационных полей. Квантовая физика

предполагает, что само пространство-время — не фундаментальная часть физики, но возникает лишь как приближение более фундаментальной математической структуры. Доказательства квантовых эффектов черных дыр могут помочь сделать эту концепцию более конкретной.

Для того чтобы понять больше, важно расширить и улучшить как измерения *EHT*, так и гравитационно-волновые измерения. В случае *EHT* было бы полезно осуществлять значительно более длительные наблюдения, а также получать изображения других целей, таких как центральная черная дыра нашей Галактики, которые ожидается получить в ближайшем будущем. Для гравитационно-волновых наблюдений важно повышать чувствительность. Ряды гравитационно-волновых детекторов скоро пополнятся проектами Японии и Индии, которые будут добавлены к уже существующим проектам в США и Европе. Кроме того, необходимы серьезные дополнительные теоретические усилия для уточнения сценариев, выяснения их происхождения и математических обоснований, а также для более тщательной оценки вопроса о том, насколько существенно они могут влиять на ожидаемые сигналы *EHT* или гравитационно-волновые сигналы.

Каким бы ни оказалось решение проблемы существования и испарения черных дыр, эти объекты содержат важнейшие ключи к основам квантовой физики гравитации, а также к самой природе пространства и времени. Как и в случае с атомом и квантовой механикой, лучшее понимание черных дыр, вероятно, поможет направить следующую концептуальную революцию в физике. Наблюдения *EHT* и гравитационных волн потенциально могут дать нам ключевую информацию, либо исключив сценарии квантовых черных дыр, либо открыв новые явления, связанные с ними. ■

Перевод: *О.С. Сажина*

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Полчински Д. Огненная грань миров // ВМН, № 5–6, 2015.
- Particle Creation by Black Holes. Stephen W. Hawking in *Communications in Mathematical Physics*, Vol. 43, No. 3, pages 199–220; August 1975.
- Jerusalem Lectures on Black Holes and Quantum Information. Daniel Harlow in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 88, Article No. 015002; February 2016.
- Black Holes in the Quantum Universe. Steven B. Giddings in *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 377, Article No. 20190029; November 2019.



НЕИЗБЕЖНО КАЗНЮ ЭКОНОМИКА

Новый подход, разработанный физиками и математиками, с беспрецедентной точностью описывает распределение материальных ценностей в современной экономике

Брюс Богосян

ОБ АВТОРЕ

Брюс Богосян (Bruce Boghosian) — профессор математики Университета Тафтса, исследовательские интересы которого лежат в области прикладных динамических систем и прикладной теории вероятности.



Имущественное неравенство растет с пугающей быстротой не только в США, но и в столь отличающихся друг от друга странах, как, например, Россия, Индия и Бразилия. Согласно данным инвестиционного банка *Credit Suisse*, доля глобального состояния, находящегося в распоряжении 1% самой богатой части населения планеты в промежутке между двумя финансовыми кризисами 2008 и 2018 гг., выросла с 42,5% до 47,2%. Другими словами, в 2010 г. 388 человек владели таким же богатством, что и беднейшая половина населения Земли — примерно 3,5 млрд человек. (Сегодня, по оценке международной организации *Oxfam*, богатейшие 62 человека владеют таким же количеством активов, как беднейшая половина населения.) Статистика почти всех государств мира, в которых ведется оценка благосостояния их населения, показывает, что концентрация богатства постоянно увеличивается.

Хотя о причинах возникновения неравенства ведутся горячие споры, один из подходов, разработанный физиками и математиками, включая мою группу в Университете Тафтса, предполагает, что долгое время они прятались у всех на виду — в хорошо всем известной особенности арифметики. Этот метод использует модели распределения общественного богатства, в совокупности называемые агентным моделированием, которое начинается с разовой сделки между двумя «агентами», или участниками сделки, каждый из которых пытается оптимизировать свое финансовое состояние. В современном мире нет ничего, казалось бы, более честного или естественного, чем ситуация, когда два человека решают совершить

товарообмен, согласившись с ценой и пожав друг другу руки. И впрямь, кажущаяся стабильность экономической системы, возникающая на основе баланса предложения и спроса отдельных действующих лиц, рассматривается как апофеоз мышления эпохи Возрождения — в такой степени, что многие дошли до того, что приравнивают понятие свободного рынка к понятию самой свободы. Наши обманчиво простые математические модели, базирующиеся на добровольных сделках, тем не менее дают основания полагать, что настало время серьезного переосмысления этой идеи.

В частности, аффинная модель благосостояния (названная так в силу своих математических свойств) способна описывать

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Имущественное неравенство увеличивается во многих странах с пугающей скоростью, при этом в США наблюдается, вероятно, наивысшая степень неравенства среди развитых стран.
- Удивительно простая модель, созданная физиками и математиками, может воспроизвести неравенство в ряде стран с беспрецедентной точностью.
- Поразительно, но несколько математических моделей экономики свободного рынка демонстрируют характеристики сложных макроскопических физических систем, таких как ферромагнетики, включая фазовые переходы, нарушение симметрии и дуализм.

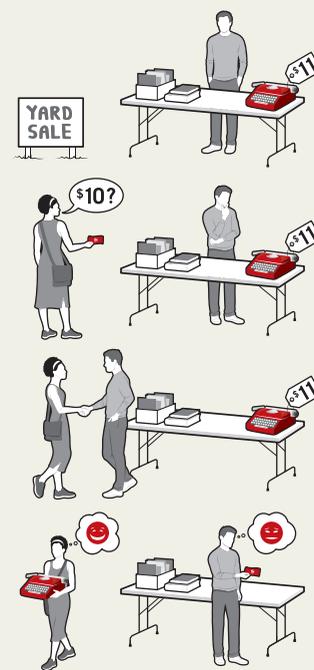
распределение богатств между домохозяйствами в различных развитых странах с исключительной точностью, обнаруживая едва заметную асимметрию, которая приводит к концентрации богатства. Мы полагаем, что этот чисто аналитический подход, в чем-то схожий с рентгеновским обследованием, — ведь он используется не столько для того, чтобы показать болезни реального мира, сколько для того, чтобы снять с него покров и открыть лежащий под ним скелет, — способен обеспечить глубокое понимание сил, способствующих увеличению нынешних бедности и неравенства.

Олигархия

В 1986 г. социолог Джон Энгл (John Angle) первым описал движение и распределение материальных ценностей, возникающее в результате попарных сделок «агентов экономики», которые могут быть отдельными лицами, домохозяйствами, компаниями, фондами или другими субъектами. К концу века физики Слава Исполатов, Павел Крапивский и Сидни Реднер (Sidney Redner), работавшие в то время совместно в Бостонском университете, а также Адриан Драгулеску (Adrian Drăgulescu), в настоящее время работающий в группе компаний *Constellation Energy*, и Виктор Яковенко из Мэрилендского университета показали, что эти модели, основанные на агентном моделировании, можно проанализировать методами статистической физики, что привело к быстрому прогрессу в нашем понимании их поведения. Как оказалось, многие такие модели демонстрируют, что богатство неумолимо перемещается от одного агента к другому, даже если они базируются на честном обмене между равными действующими лицами. В 2002 г. Анирбан Чакраборти (Anirban Chakraborti) из индийского Института ядерной физики им. Мегнада Сахи в Колкате ввел в обращение то, что теперь называется моделью гаражной распродажи имущества, поскольку она имеет некоторые черты реальных экономических операций между двумя лицами. Он использовал также численное моделирование, чтобы показать, что она неумолимо концентрирует богатство, приводя к олигархии.

Кто-то теряет, кто-то находит

Гаражная распродажа, простая математическая модель, разработанная физиком Анирбаном Чакраборти, предполагает, что богатства перетекают от одного человека к другому, когда первый совершает «ошибку» при экономическом обмене. Если сумма, уплаченная за товар, в точности соответствует его стоимости, богатство не меняет хозяина. Но если один из участников переплачивает или если другой согласен на меньшую сумму, чем стоит вещь, происходит перемещение богатства от одного другому. Поскольку ни один из них не хочет разориться, Чакраборти предположил, что сумма, составляющая лишь часть имущества более бедного человека. Он обнаружил, что даже если определять исход каждой сделки подбрасыванием монеты, то после большого количества таких актов купли-продажи все имущество неизбежно перейдет в руки одного человека, что приведет к ситуации вопиющего неравенства.



Чтобы понять, как это происходит, предположим, что вы находитесь в казино и вас приглашают принять участие в игре. Вы должны сделать какую-нибудь ставку, скажем \$100, а затем подбрасывается симметричная монета. Если выпадет орел, казино выплатит вам 20% вашей ставки и в результате на столе окажется \$120. Если же выпадет решка, казино заберет 17% вашей ставки, в результате на столе останется \$83. Вы можете делать ставки сколько угодно раз (но не добавляя и не забирая деньги со стола). Каждый раз когда вы играете, вы выигрываете 20% от того, что лежит на столе, если выпадает орел, и теряете 17%, если выпадает решка. Стоит ли соглашаться играть в такую игру?

Вы можете выстроить две линии аргументов, обе достаточно убедительные, чтобы решить, как поступить. Вы можете рассуждать следующим образом: «У меня вероятность выиграть \$20 равна 1/2, вероятность проиграть \$17 также равна 1/2. Итак, математическое ожидание выигрыша у меня следующее:

$$1/2 \times (+\$20) + 1/2 \times (-\$17) = \$1.50.$$

Это положительная величина. Другими словами, мои шансы выиграть и проиграть равны, но мой выигрыш, если это произойдет, будет больше проигрыша в случае, если я проиграю». С этой точки зрения кажется, что играть в эту игру имеет смысл.

Или же, как шахматист, вы, возможно, будете просчитывать на несколько шагов вперед: «Что будет, если я сыграю в эту игру десять раз? Вероятный исход, что пять раз выпадет орел, а остальные пять — решка. Каждый раз когда выпадает орел, моя ставка умножается на 1,2. Каждый раз когда выпадает решка, моя ставка уменьшается на 0,83. После пяти выигрышей и пяти проигрышей на столе останется:

$$1,2 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,2 \times 0,83 \times 0,83 \times 0,83 \times 0,83 \times 0,83 \times \$100 = \$98,02.$$

Так что я проиграю примерно \$2 из своей первоначальной ставки \$100». Еще немного пораскинув мозгами, вы сможете подсчитать, что для того, чтобы компенсировать потери при выпадении решки 91 раз, вам необходимо, чтобы орел выпал 93 раза. С этой точки зрения кажется, что играть в эту игру не имеет смысла.

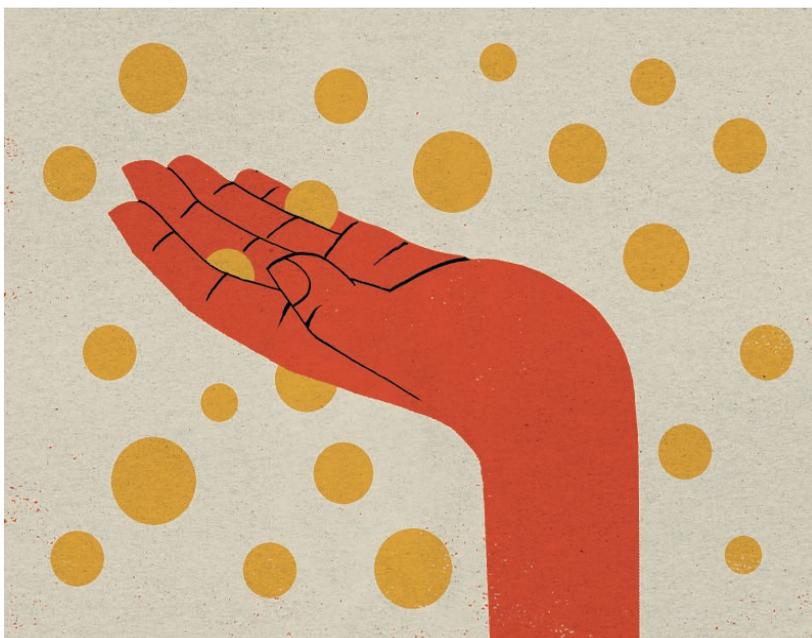
Противоречие между двумя представленными выше аргументами на первый взгляд кажется неожиданным, но оно хорошо известно в теории вероятности и науке о финансах. Однако его связь с симуственным неравенством известна в меньшей степени. Чтобы распространить модель казино на движение материальных ценностей в экономике (сильно упрощенной), давайте представим себе систему из 1 тыс. отдельных лиц, которые участвуют в попарном обмене друг с другом. Пусть каждый из них начинает этот обмен с некоторой первоначальной суммы, одинаковой у всех. Выберем случайным образом двух агентов, и пусть они совершат сделку, затем то же

самое повторим с двумя следующими и т.д. Другими словами, эта модель подразумевает последовательные обмены между случайными парами агентов. Наша цель — совершить миллион или миллиард таких обменов в нашей группе из 1 тыс. человек и посмотреть, как в конечном итоге распределятся материальные ценности.

На что будет похож один акт обмена между парой агентов? Всем людям присуще естественное желание не прогореть, поэтому мы предположим, что сумма, поставленная на карту, которую мы назовем Δw , — всего лишь часть состояния самого бедного из группы человека, Шоны. Таким образом, если даже Шона потеряет при обмене с Эриком, самым богатым в группе, ее потери всегда будут меньше, чем ее суммарное состояние. Это допущение взято не с потолка и на самом деле отражает самостоятельно наложенные ограничения, которых большинство людей инстинктивно придерживаются в своей экономической жизни. Для начала предположим — просто потому, что числа эти нам уже знакомы, — что Δw составляет 20% имущества Шоны (w), если в результате сделки она окажется в выигрыше, и 17% от w , если в проигрыше. (Наша реальная модель предполагает, что проценты при выигрыше и проигрыше равны, но общий итог остается тем же самым. Более того, увеличивая или уменьшая Δw , мы всего лишь расширяем временной масштаб, и поэтому потребуются большее число актов обмена прежде, чем мы сможем увидеть итоговый результат, который остается неизменным.)

Если наша цель — построить модель честной и стабильной рыночной экономики, мы должны начать с предположения, что ни у кого нет какого-либо преимущества, поэтому давайте предположим, что направление, в котором происходит перемещение Δw , определяется подбрасыванием симметричной монеты. Если выпадает орел, Шона получает 20% суммы своего состояния от Эрика, если же выпадает решка, она должна отдать 17% от нее Эрику. Теперь случайным образом выберем другую пару агентов из общего числа в 1 тыс. человек и снова сделаем то же самое. Теперь продолжайте и сделайте это миллион или миллиард раз. Что получится?

Если вы промоделируете экономику такого рода — один из вариантов



Измерение неравенства

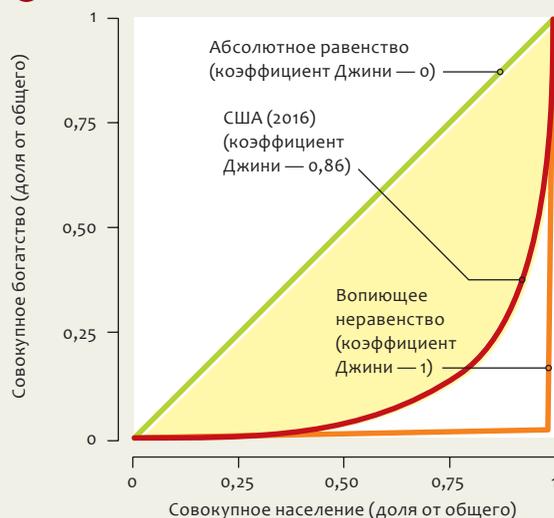
В начале XX в. американский экономист Макс Лоренц (Max Lorenz) придумал удобный способ количественной оценки имущественного неравенства. Он предложил изобразить зависимость доли имущества, которым владеют лица с имуществом стоимостью менее w , от доли лиц, обладающих имуществом менее w . Поскольку обе величины — дроби в диапазоне от нуля до единицы, график аккуратно помещается в единичный квадрат. Удвоенная площадь между кривой Лоренца и диагональю называется коэффициентом Джини, широко используемой мерой неравенства.

Давайте сначала рассмотрим случай всеобщего равенства. Если каждый человек имеет в точности такое же состояние, как и любой другой, любая данная часть населения имеет в точности такую же долю общественного богатства. Следовательно, кривая Лоренца в этом случае — диагональ (зеленая линия на рисунке А), а коэффициент Джини равен нулю. В противоположность этому, если один олигарх захватил все богатства, а все остальные не имеют ничего, самая бедная часть f населения не имеет никаких средств для любого значения f , меньшего единицы, таким образом, кривая Лоренца пригнана к нулю. Но когда f равно единице, олигарх учитывается и кривая внезапно подпрыгивает до единицы. Площадь между этой кривой Лоренца (оранжевая линия) и диагональю равна половине площади квадрата, или $1/2$, следовательно, коэффициент Джини равен 1.

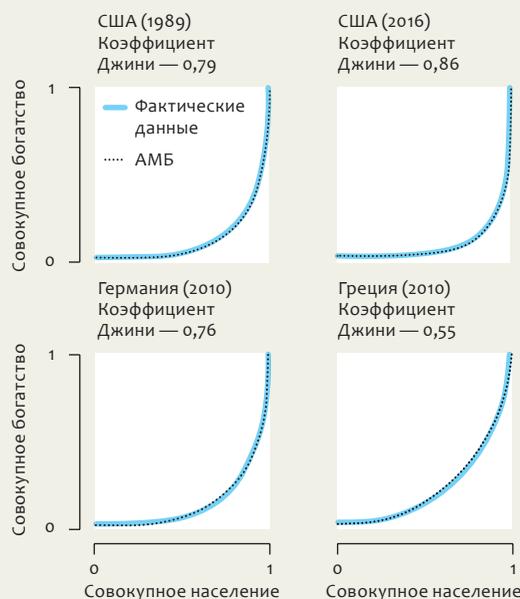
Итак, коэффициент Джини может изменяться от нуля (абсолютное равенство) до единицы (олигархия). Неудивительно, что действительность лежит между этими двумя крайностями. Красная линия показывает реальную кривую Лоренца распределения богатства в США в 2016 г., построенную на основе данных Исследования финансов потребителей, проводимого Федеральным резервным банком. Удвоенная заштрихованная область (желтый) между этой кривой и диагональю равна примерно 0,86 — один из самых больших коэффициентов Джини в развитых странах.

Четыре графика меньшего размера на рисунке В показывают хорошее совпадение кривой, полученной с помощью аффинной модели благосостояния (АМБ), и реальной кривой Лоренца для США в 1989 и 2016 гг., а также для Германии и Греции в 2010 г. Данные получены от Федерального резервного банка (США, как было сказано ранее) и Европейского центрального банка (Германия и Греция). Расхождение между АМБ и кривыми Лоренца — менее одной пятой процента для США и менее одной трети процента для европейских стран. Коэффициент Джини для США (показан на графиках), выросший в промежутке с 1989 г. по 2016 г., указывает на рост неравенства.

А Кривые Лоренца



В Фактические данные в сравнении с аффинной моделью благосостояния (АМБ)



гаражной распродажи имущества, — вы получите поразительный результат: после большого числа актов обмена один из агентов в результате станет олигархом, за получив практически все материальные ценности экономики, а другие 999 останутся практически ни с чем. И не играет роли, насколько богаты были люди в начале торговли. Не играет роли, что монета подбрасывалась без какого-либо жульничества. Не играет роли, что ожидаемый исход для более бедного из агентов

был положительным при каждом акте обмена, тогда как для более богатого — отрицательным. Любой отдельно взятый агент в такой экономике мог стать олигархом; фактически все имели бы одинаковую вероятность, если бы они начинали с одинаковых долей общего богатства. В этом смысле все имели равные возможности. Но только один из них действительно стал олигархом, а все остальные увидели, как их личное состояние в среднем стремится к нулю, по мере того как они совершают все больше

и больше сделок. Чтобы добавить соли на рану, следует отметить, что чем ниже у кого-то относительный уровень благосостояния, тем быстрее оно уменьшается.

Такой исход особенно неожидан потому, что он остается прежним, даже если бы все агенты начали с равных долей имущества и были подвержены симметричному воздействию. Физики описывают подобного рода явления как один из видов «нарушения симметрии». Самое первое подбрасывание монеты переводит деньги от одного агента другому, устанавливая дисбаланс между этими двумя. А когда мы имеем некоторую разницу в имуществе, какой бы несущественной она ни была, последующие акты обмена будут систематически двигать «тонкую струйку» богатства вверх от более бедных агентов к более богатым, умножая неравенство до тех пор, пока система достигнет состояния олигархии.

Если экономическое неравенство существовало с самого начала, личное состояние самого бедного агента, вероятно, будет уменьшаться быстрее всего. Куда оно уходит? Оно должно перейти к более богатым агентам, поскольку более бедных не существует. Не намного лучше дела и у второго в списке самых бедных агента. В конце концов все участники такой экономики за исключением самых богатых увидят, что их состояние уменьшается экспоненциально. В отдельных статьях 2015 г. я с коллегами из Университета Тафтса и Кристоф Шорро (Christophe Chorro) из Университета Пантеон-Сорбонна привели математическое доказательство результатов, полученных с помощью моделирования Чакраборти, — что модель гаражной распродажи неизбежно двигает богатства от одной стороны к другой.

Означает ли это, что более бедные агенты никогда не выигрывают, а более богатые — никогда не проигрывают? Нет, конечно. Модель имеет сходство с казино: что-то вы выигрываете, что-то проигрываете, но чем дольше вы остаетесь в казино, тем с большей вероятностью вы проиграете.

Физика неравенства

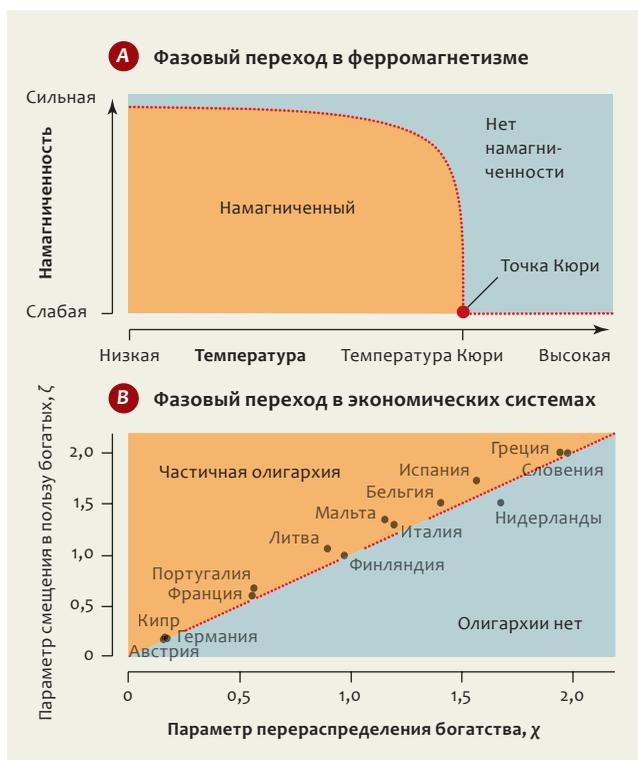
Когда при 100°C вода закипает и превращается в пар, происходит фазовый переход — быстрое и резкое изменение состояния. Например, занимаемый ею объем (при данной температуре) скачкообразно увеличивается с температурой. Аналогично сила ферромагнетика падает до нуля (оранжевая линия на рис. А), когда его температура возрастает до значения, называемого точкой Кюри, T_c . При температурах выше T_c у вещества нет магнетизма. Падение магнитного поля до нуля происходит непрерывно, когда температура приближается к T_c снизу, но график зависимости намагниченности от температуры при T_c имеет резкий изгиб.

И наоборот: когда температура ферромагнетика снижается сверху до T_c , спонтанно возникает намагниченность там, где раньше ее не было. Намагниченности присуще свойство пространственной ориентации — направление от южного полюса магнита к северному, — и можно задаться вопросом, в каком направлении она возникнет. В отсутствие внешнего магнитного поля, которое может задать предпочтительное направление, нарушение осевой симметрии происходит «спонтанно». (Осевая симметрия — это свойство оставаться неизменным при любой ориентации, которым система обладает при температурах выше T_c .) То есть намагниченность возникает внезапно и направление магнитного поля случайно (или, точнее, зависит от микроскопических флуктуаций, вне нашего идеализированного представления о ферромагнетике как непрерывной макроскопической системе).

Экономическая система также может испытывать фазовые переходы. Когда ζ , параметр смещения в пользу богатых, аффинной модели благосостояния меньше, чем χ , параметр перераспределения, распределение материальных ценностей не приводит к олигархии, даже частичной (область, закрашенная голубым, на рис. В). Однако когда ζ больше χ , конечная доля богатства всего населения «конденсируется» в руках бесконечно малой части самых богатых агентов. Роль температуры здесь играет отношение χ/ζ , и конденсация богатства показывает, когда эта величина падает ниже единицы.

Другой вид скрытой симметрии, проявляющейся в сложных макроскопических системах, — «дуализм», описывающий взаимно однозначное соответствие между состояниями системы выше и ниже критической температуры, при которой происходит фазовый переход. В случае ферромагнетиков он связывает упорядоченную намагниченную систему при температуре T ниже T_c с его «двойником» — неупорядоченной, немагнитной системой при так называемой инверсной температуре $(T_c)^2/T$, которая выше T_c . Критическая температура — это точка, в которой температура системы и инверсная температура пересекаются (то есть $T = (T_c)^2/T$). Теория дуализма играет все большую роль в теоретической физике, включая квантовую теорию гравитации.

Свободный рынок — это, по сути, казино, из которого вам никогда не уйти. Когда тонкая денежная струйка, о которой было сказано ранее, при каждой сделке текущая от бедного к богатому, умножается на 7,7 млрд человек в мире, ежегодно производящих бесчисленное количество актов купли-продажи, она становится огромным потоком. Неравенство неизбежно увеличивается все больше в результате коллективного воздействия гигантского числа кажущихся безобидными, но немного несимметричных актов купли-продажи.



Как и ферромагнетизм, аффинная модель благосостояния демонстрирует дуализм, как это было показано Цзе Ли и мною в 2018 г. Состояние с $\zeta < \chi$ — это не частичная олигархия, тогда как соответствующее состояние с обратным этому соотношением — то есть с «температурой» χ/ζ , обратной ζ/χ , — именно она и есть. Интересно, что эти два двойственных состояния имеют одно и то же распределение богатства, если олигарха удалить из экономики с конденсированным богатством (и пересчитать суммарное богатство, чтобы учесть эту потерю).

Важно отметить, что большинство стран очень близки к критическому состоянию. График на рисунке **В** с координатами χ — ζ , на котором показаны 14 стран, обслуживаемых Европейским центральным банком, показывает, что большинство из них располагаются вблизи диагонали. Все за исключением одной (Нидерланды) лежат выше диагонали — показатель того, что в них в небольшой степени присутствует олигархия. Возможно, что неравенство растет естественным образом до тех пор, пока не начинает формироваться олигархия, и в этой точке вмешиваются политические силы, прекращающие дальнейшее ущемление равноправия.

Конденсация богатства

Вас, возможно, заинтересует, каким образом эта модель, даже если она математически безупречна, имеет какое-то отношение к реальному миру. Ведь, в конце концов, она описывает абсолютно нестабильную экономику, которая неизбежно вырождается в абсолютную олигархию, а в мире не существует абсолютных олигархий. Верно и то, что сама по себе модель гаражной распродажи неспособна объяснить наблюдаемую картину распределения богатства. Чтобы разобраться с этим недостатком, моя группа

усовершенствовала модель тремя способами, чтобы сделать ее соответствующей действительности.

В 2017 г. Адриан Девиитт-Ли (Adrian Devitt-Lee), Мерек Джонсон (Merek Johnson), Цзе Ли (Jie Li), Джереми Марк (Jeremy Marcq), Хуньянь Ван (Hongyan Wang) и я, все из Университета Тафтса, ввели в модель перераспределение материальных ценностей. Сохраняя простоту, желательную в прикладных математических моделях, мы проделали это, позволив каждому агенту после совершения сделки сделать шаг к среднему значению благосостояния в обществе. Величина этого шага была равна некоторой доле χ («хи») его или ее расстояния от среднего значения. Это эквивалентно плоской шкале имущественного налога для богатых (с процентной ставкой χ за единицу времени) и, соответственно, взаимосвязанной с этим дотацией для бедных. В сущности, это перераспределение материальных ценностей от тех, чье состояние выше среднего, тем, у кого оно ниже этой величины. Мы обнаружили, что эта простая модификация стабилизирует распределение таким образом, что олигархия уже не возникает. Невероятно, но это позволило нашей модели достичь соответствия фактическим данным распределения благосостояния в США и европейских странах в период с 1986 г. по 2016 г. с точностью выше 2%. Всего лишь один параметр χ , по-видимому, включает в себя семейство реально существующих в мире налогов и субсидий, которые было бы слишком трудно включить по отдельности в скелет такой модели, как наша.

Помимо этого, существует хорошо задокументированный факт, что богатые пользуются такими системными экономическими преимуществами, как более низкие процентные ставки на займы и лучшие возможности консультирования по финансовым вопросам, в то время как бедные страдают от системных неблагоприятных условий, таких как ростовщички, выдающие краткосрочные кредиты, и отсутствие времени, чтобы совершать покупки по наиболее выгодным ценам. Как

однажды заметил Джеймс Болдуин (James Baldwin): «Любой, кому пришлось хоть раз бороться с бедностью, знает, как страшно дорого быть бедным». Соответственно, в той же упомянутой выше статье мы включили в рассмотрение то, что мы называем преимуществом достигших богатства. Мы сместили при подбрасывании монеты вероятность в пользу более богатых лиц на величину, пропорциональную еще одному параметру ζ («дзета»), умноженную на разницу в состояниях, деленную на величину среднего состояния. Эта довольно простая модификация, которая служит замещением множества параметров, дающих преимущество богатым, улучшила соответствие между моделью и верхним хвостом кривой распределения богатства.

Включение параметра, связанного с состоянием, открыло явление частичной олигархии, а также дало ему точное математическое определение. Когда влияние связанного с богатством преимущества превышает влияние перераспределения (более точно — если ζ превышает χ), ничтожно малая часть населения получит конечную долю, $1 - \chi/\zeta$, общего богатства. Возникновение частичной олигархии на самом деле — это фазовый переход в другой модели экономических операций, как в 2000 г. впервые описали это явление физики Жан-Филипп Бушо (Jean-Philippe Bouchaud), в настоящее время работающий в Политехнической школе, и Марк Мезар (Marc Mézard) из Высшей нормальной школы. В нашей модели, когда ζ меньше χ , система имеет лишь одно устойчивое состояние без олигархии; когда ζ больше χ , появляются новые, олигархические состояния и становятся устойчивыми. Двухпараметрическая (χ и ζ) расширенная модель гаражной распродажи, таким образом, может соответствовать данным наблюдений распределения общественного богатства в США и европейских стран в интервале с 1989 г. по 2016 г. с точностью 1–2%.

Такой фазовый переход, возможно, сыграл решающую роль в конденсации общественного богатства после развала Советского Союза в 1991 г. Принудительное проведение так называемой шоковой терапии экономик бывших республик СССР привело к кардинальному уменьшению перераспределения богатства (то есть уменьшению χ) их правительствами и сопутствующему этому резкому скачку преимуществ для владеющих богатствами (увеличению ζ) из-за суммарного эффекта поспешной приватизации

и отсутствия регулирующих механизмов. Возникшее в результате увеличение «температуры» χ/ζ отбросило эти страны в состояние конденсированного богатства, так что эти бывшие коммунистические республики практически за одну ночь стали частичными олигархиями. В настоящее время по крайней мере десять из 15 бывших советских республик можно с большой точностью охарактеризовать как олигархии.

В качестве третьего приближения в 2019 г. мы включили в нашу модель отрицательное богатство — один из самых тревожных аспектов современных экономических систем. В 2016 г., например, приблизительно 10,5% населения США имели чистую задолженность как результат получения ипотечных ссуд, студенческих займов (кредитов, взятых для обучения в высших учебных заведениях) и других факторов. Поэтому мы ввели третий параметр k («капша»), который смещает распределение богатства вниз, тем самым отвечая за отрицательное состояние. Мы предположили, что нижний предел благосостояния самого бедного агента в любое время не может быть менее $-S$, где S равно произведению k на средний размер состояния. Перед началом каждой сделки мы давали ссуду S обоим агентам так, что у каждого из них состояние было положительно. Затем они совершали сделку в соответствии с расширенной моделью гаражной распродажи, описанной ранее, после чего оба они выплачивали свой долг S .

Полученная таким образом трехпараметрическая (χ , ζ и k) модель, так называемая аффинная модель благосостояния, смогла соответствовать данным трех десятилетий наблюдений распределения общественного богатства в США с точностью выше, чем одна шестая процента. (В математике термин «аффинный» описывает величину, которая изменяет масштаб мультипликативно, а параллельно переносится аддитивно. В этом случае некоторые характеристики модели, такие как величина Δu , масштабируются мультипликативно с размером благосостояния агента, тогда как другие характеристики, такие как прибавление или вычитание S , — это аддитивный параллельный перенос или перемещение в «пространстве благосостояний».) Соответствие с европейскими данными распределения благосостояния за 2010 г., как правило, лучше, чем одна треть — половина процента.

Чтобы получить сравнение с фактическими данными, нам нужно было решить

«обратную задачу». То есть дано распределение благосостояния, полученное опытным путем, а мы должны найти значения параметров (χ , ζ , κ), при которых результат нашего моделирования наилучшим образом ей соответствует. В качестве всего лишь одного примера: в 2016 г. распределение богатства среди домохозяйств США лучше всего описывалось при $\chi = 0,036$, $\zeta = 0,050$ и $\kappa = 0,058$. Аффинная модель благосостояния была применена к фактическим данным для многих стран и разных эпох. Насколько нам известно, она описывает данные распределения богатств более точно, чем любая из существующих моделей.

Струйка, текущая вверх

Мы посчитали необходимым отметить, что модель, наилучшим образом описывающая фактическое распределение благосостояния, из построенных до сих пор — это модель, которая становится абсолютно нестабильной без перераспределения [богатств], а не та, которая базируется на гипотезе о равновесии рыночных сил. На самом деле эти математические модели демонстрируют, что денежные ручейки текут отнюдь не вниз, к бедным, естественное стремление богатства — течь вверх, так что «естественное» распределение благосостояния неуправляемой рыночной экономики — это абсолютная олигархия. И только перераспределение устанавливает предел неравенству.

Математическая модель также обращает внимание на огромную степень, с которой на распределение богатства влияют нарушение симметрии, случай и преимущество на раннем этапе (например, в результате наследования). А наличие нарушения симметрии ставит крест на аргументах в пользу справедливости имущественного неравенства, которые ссылаются на «добровольность» — точку зрения, что личность несет всю ответственность за свое экономическое благосостояние просто потому, что она участвует в сделках на добровольной основе, или идею, что накопление богатства — это, должно быть, результат таланта и трудолюбия. Действительно, расположение человека в спектре благосостояния в определенной степени коррелирует с такими качествами, однако общие контуры этого спектра можно объяснить с точностью выше 0,33% статистической моделью, которая их полностью игнорирует. Удача играет гораздо более важную роль, чем принято считать, поэтому качества, которые традиционно связывают с богатством в современном обществе —

и, аналогичным образом, стереотипы, которые связывают с бедностью, — не находят никакого подтверждения.

Более того, в рыночной экономике только тщательно выверенный механизм перераспределения может компенсировать естественную склонность богатства течь от бедных к богатым. Перераспределение часто путают с налогами, но эти два понятия должны рассматриваться независимо друг от друга. Налоги текут от людей к их правительствам, чтобы финансировать деятельность этих правительств. Перераспределение, в отличие от этого, может быть установленным правительствами, но лучше всего рассматривать его как денежный поток от одних людей к другим с целью компенсации несправедливости, присущей рыночной экономике. В схеме плоского перераспределения все те, чей уровень благосостояния находится ниже среднего, получают чистые средства, тогда как те, уровень благосостояния которых выше среднего, будут платить. И именно потому, что степень неравенства в настоящее время столь высока, намного больше людей будут получать, а не платить.

С учетом того, насколько сложна реальная экономика, нам приятно осознавать, что простой аналитический подход, разработанный физиками и математиками, описывает существующее в действительности распределение благосостояния во многих странах с беспрецедентными соответствием и точностью. Кроме того, довольно любопытно, что это распределение демонстрирует едва различимые, но ключевые характеристики сложных физических систем. Однако более важен сам факт, что такая достаточно схематичная модель свободного рынка, как простая и убедительная аффинная модель благосостояния, приводит к экономике, которая далеко не свободна и не честна, и это должно стать как причиной беспокойства, так и призывом к действию. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Стиглиц Д. Нечестная экономика // ВМН, № 1–2, 2019.
- A Nonstandard Description of Wealth Concentration in Large-Scale Economies. Adrian Devitt-Lee et al. in SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol. 78, No. 2, pages 996–1008; March 2018.
- The Affine Wealth Model: An Agent-Based Model of Asset Exchange That Allows for Negative-Wealth Agents and Its Empirical Validation. Jie Li et al. in Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, Vol. 516, pages 423–442; February 2019.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УЧЕНЫЕ
БЛИЗКИ
К РАЗГАДКЕ,
ГДЕ И КОГДА
ОБРАЗУЮТСЯ
ЭТИ СМЕРТЕЛЬНЫЕ
ВИХРИ

Огненные торнадо

Джейсон Фортофер



Огненный вихрь создан вращением потока воздуха, вдуваемого в чашу с горящим спиртом, в Лаборатории изучения пожаров в Мизуле, штат Монтана

ОБ АВТОРЕ

Джейсон Фортофер (Jason M. Forthofer) — сотрудник пожарной команды, инженер-механик Лаборатории изучения пожаров при Лесной службе США в Мизуле, штат Монтана. Его работы включают связанные с лесными пожарами полевые, лабораторные и компьютерные исследования теплообмена и динамики жидкостей.



Как только самолет пошел на спуск над Медфордом, мы погрузились в густую дымовую завесу, окутавшую юго-запад Орегона и север Калифорнии. Это было в конце июля 2018 г., когда несколько серьезных пожаров бушевали в этом районе. Я был в пути, чтобы присоединиться к группе Калифорнийского департамента лесного хозяйства и пожарной охраны (*Cal Fire*), исследовавшей несчастный случай со смертельным исходом, произошедший двумя днями ранее. У меня по спине пробежал холодок ужаса от того, что руководитель группы сказал мне по телефону: «Пожарный погиб в огненном смерче, а его автомобиль разметало на сотни метров».

Возможно, я более других был уверен, что когда-нибудь это случится. За десять лет до того я впервые видел последствия огненного смерча. Тогда столб огня диаметром почти 305 м вышел из горящего леса во время «Индейского пожара» в Калифорнии и перебрался на группу пожарных. Один из выживших рассказывал мне, что ветер был настолько сильным, что в попытке добраться до безопасного места ему казалось, будто он пробирается по глубокой воде. К счастью, мужчины стояли тогда на асфальтированной двухполосной автостраде, которая, вероятно, и спасла им жизнь: если бы они находились всего на несколько шагов в стороне, среди деревьев и травы, то они бы погибли. Когда я добрался до того места, повсюду лежали массивные дубовые ветви, а земля была очищена от камней.

Картина оставила сильное впечатление и крайне обеспокоила меня. Огненный смерч, очевидно, мог нанести вред пожарным, укрывшимся в местах, которые обычно считаются безопасными. Они были на волоске от гибели. Многие из нас видели огненные вихри, крутящиеся столбы пламени, соразмерные с пылевой бурей, но не считали их особенно опасными. Надо сказать, огненные смерчи, сочетающие в себе разрушительную силу огня и мощь ветров, столь же свирепых, как и в настоящих торнадо, были настолько редки, что их можно считать почти мифом. Даже я, пожарный с 1996 г., имеющий восьмилетний стаж исследователя распространения огня, слышал только об одном таком случае, рассказанном мне ветераном-пожарным.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Огненные смерчи — это вихри огня, где скорости ветра достигают значений, характерных для сильных ураганов. Они чрезвычайно редки, но смертельно опасны. Огненный смерч во время пожара «Карр» в Калифорнии убил четверых человек.
- Помимо самого пожара, для возникновения огненного смерча важен источник вращения в атмосфере. Огонь может закрутить вихревые токи воздуха в трубу и высоко поднять ее.
- Специалисты достаточно хорошо представляют себе физику огненных торнадо, но пока не могут предсказать, когда и где они могут появиться.



Горящие доски уложены в виде треугольника, позволяя воздуху кружиться в центральной части, где другое пламя закручивает его в вихрь. Лесной или городской пожары определенных очертаний могут таким образом породить огненные смерчи.

По возвращении на свою научную базу, в Лабораторию изучения пожаров в Мизуле, штат Монтана, я предпринял обзор литературы. Обнаружились сообщения, по большей части схематичные, о нескольких огненных торнадо, которые прокатились по всему миру как в недалеком, так и в отдаленном прошлом. Информация по этому вопросу была настолько скудной, что было неясно, что именно среди ученых принято считать огненными торнадо. Мощные лесные пожары могут образовывать так называемые пирокумулятивные облака на больших высотах. Это увенчанные льдинками грозовые тучи, которые конденсируются из влаги, выделяющейся над пожаром из уничтоженной им растительности, из водяного пара в атмосфере и как побочный продукт самого сгорания. Несколько исследователей считали, что только те огненные вихри, что соединяются с верхними облаками пирокумуляусов, превращаются в настоящие огненные смерчи. Такому определению соответствовал только один огненный вихрь, зарегистрированный в 2003 г. в Австралии близ Канберры. Он оставил догую повреждений длиной почти 24 км.

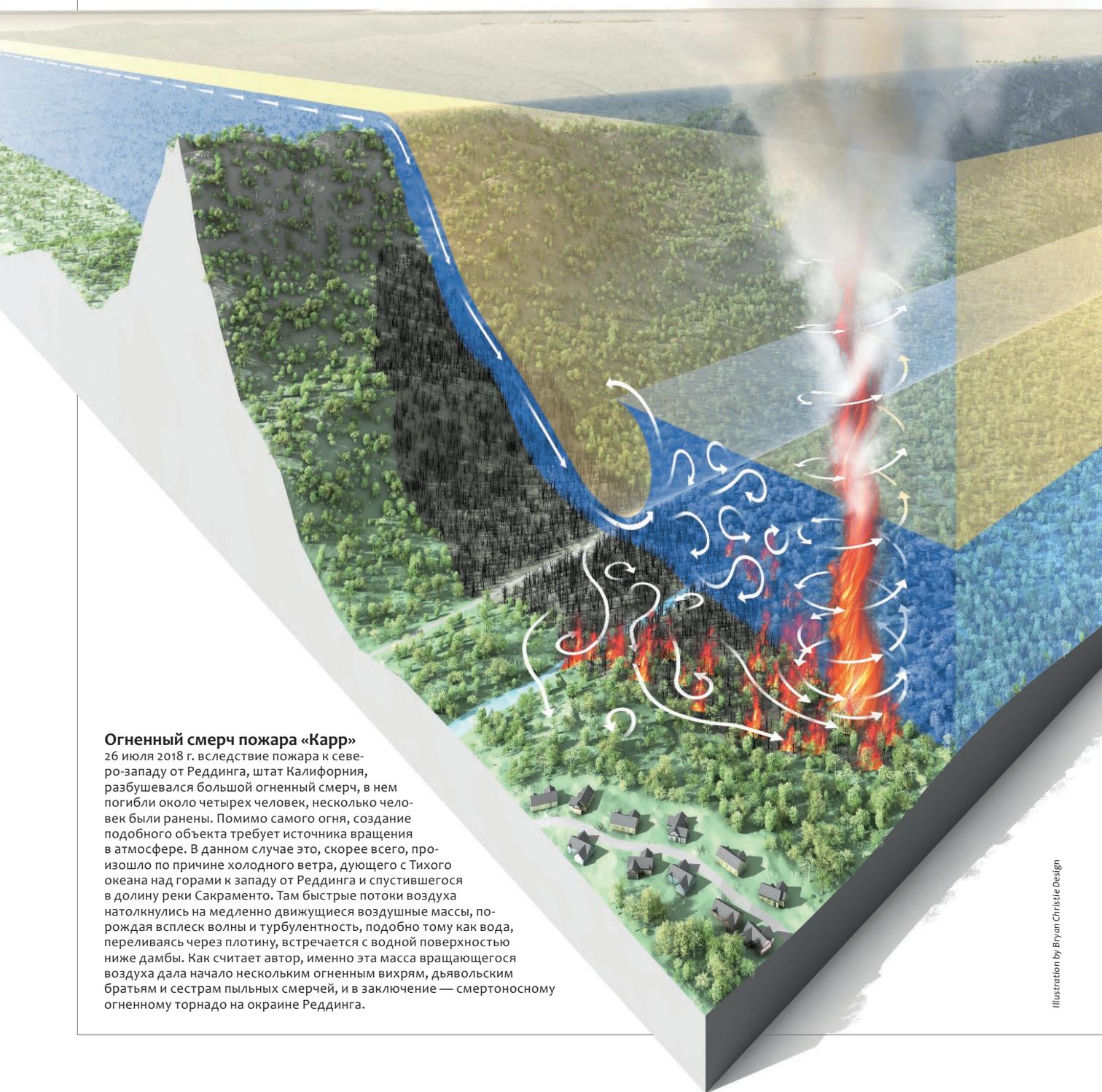
Необходимо отметить, что данная концепция, казалось, имела слишком много ограничений, чтобы ее можно было широко применять в противопожарных целях. Используя рабочее определение огненного смерча как огненного вихря с ветрами, скорости которых приближены к тем, что развиваются в торнадо, мы с моим коллегой Бретом Батлером (Bret Butler) собрали всю документацию, которую смогли найти, и объединили ее в учебные пособия и уроки по пожарной подготовке. Но тут я должен был поехать на юг, на пепелище лесного пожара «Карр» под Реддингем, штат Калифорния, чтобы расследовать смерть пожарного в огненном смерче — трагедию, способы предотвращения которой я так давно искал.

Огненный смерч пожара «Карр»

Место происшествия было похоже на зону военных действий. Ни знаменитый исследователь торнадо Джош Вурман (Josh Wurman), которого я привлек к расследованию, ни я никогда не видели ничего подобного. Целые кварталы домов сравнялись с землей, остался лишь их фундамент.

Смерчи лесных пожаров

Огненные смерчи, вращающиеся столбы огня и дыма, обладающие ветрами со скоростями, сопоставимыми с теми, что преобладают в настоящих торнадо, считаются редкими, но чрезвычайно разрушительными. Продолжаясь удивительно долго, эти смертоносные феномены могут отделяться от основного пожара, поражая людей вокруг, в том числе пожарных. Они могут захватить с земли мусор, такой как, например, горящие бревна, и выбросить его на далекое расстояние, что приводит к непредсказуемому возгоранию в новых местах. Хотя исследователи достаточно хорошо изучили физические свойства огненных смерчей, предсказать, когда и где они появятся, остается сложной задачей.



Огненный смерч пожара «Кэпп»

26 июля 2018 г. вследствие пожара к северо-западу от Реддинга, штат Калифорния, разбушевался большой огненный смерч, в нем погибли около четырех человек, несколько человек были ранены. Помимо самого огня, создание подобного объекта требует источника вращения в атмосфере. В данном случае это, скорее всего, произошло по причине холодного ветра, дующего с Тихого океана над горами к западу от Реддинга и спустившегося в долину реки Сакраменто. Там быстрые потоки воздуха натолкнулись на медленно движущиеся воздушные массы, порождая всплеск волны и турбулентность, подобно тому как вода, переливаясь через плотину, встречается с водной поверхностью ниже дамбы. Как считает автор, именно эта масса вращающегося воздуха дала начало нескольким огненным вихрям, дьявольским братьям и сестрам пыльных смерчей, и в заключение — смертоносному огненному торнадо на окраине Реддинга.

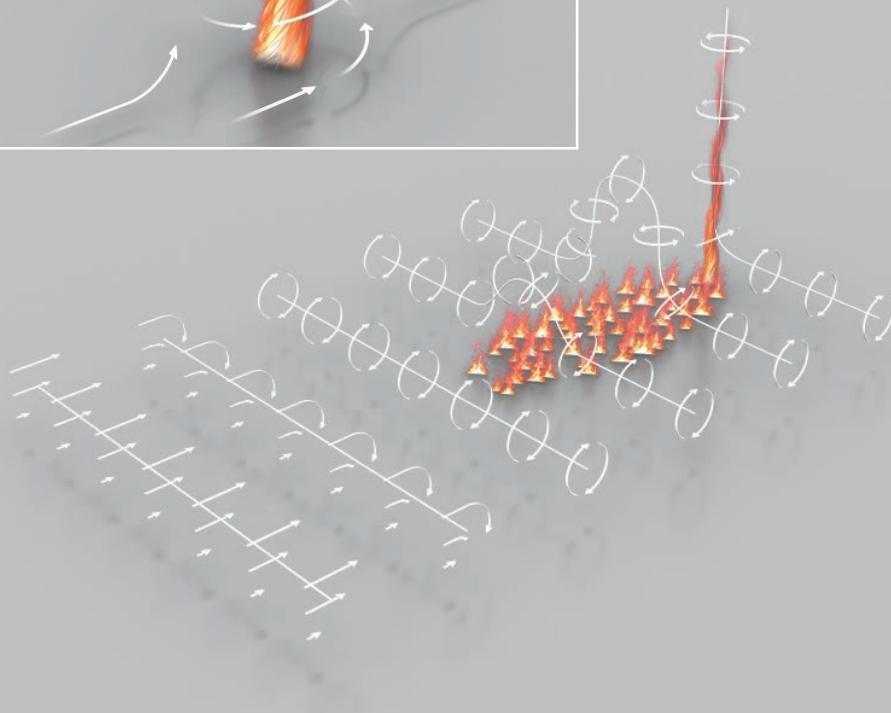


Огненные вихри, созданные в лаборатории

Небольшие вихри огня, воссозданные в лаборатории, помогли пролить свет на физическую сущность огненных смерчей, которые сжигают горючий материал в несколько раз быстрее, чем, например, в отсутствие вращения, и чрезвычайно эффективны в сохранении энергии, что поддерживает их существование.

Ускорение вращения

Закручивание столба воздуха, превращающегося в огненный смерч, может исходить из разных источников, в том числе из сопротивления приземного воздуха. Вихри образуются в горизонтальном направлении, но раскаленный воздух пожара легко всплывает наверх, вытягивая один (или более) виток в столб. Горящие газы нагревают воздух в пламени так, что он движется с ускорением вверх, усиливая и растягивая огненный вихрь в длинную тонкую трубку. Когда вихрь становится тоньше, он набирает обороты, как фигуристка, вытянувшая руки, до тех пор пока не сформируется высокий, устойчиво вращающийся столб огня.





Пожар «Корона» в Йорба-Линде, штат Калифорния, в ноябре 2008 г. породил пылающий вихрь, возможно, огненный смерч, который угрожал жилым домам

По всей территории были разбросаны куски кровли и другие обломки, а машины, очевидно, были несколько раз перевернуты ветром. Деревья были вырваны с корнем или сломаны, а летучие частицы песка и камней сорвали с них кору. Три линии электропередач, собранные из металлических решеток, каждая примерно 30,5 м высотой, были прибиты к земле, причем одна из них была поднята над основанием и перенесена на более чем на 300 м по воздуху. 12-метровый транспортный контейнер был разорван на части, а стальная труба обмотана вокруг опрокинутых силовых опор.

Мы подсчитали, что ветры могли достигать 265 км в час, скорость, которая наблюдается в торнадо категории 3 согласно Улучшенной шкале Фудзиты. (По этой шкале дается оценка торнадо от 0 до 5, где 5 указывает на самые быстрые и разрушительные ветры.) В Калифорнии было зарегистрировано только два четко выраженных торнадо такой силы. Максимальная температура горящих газов внутри огненных смерчей, возможно, достигала почти 2,7 тыс. градусов по Фаренгейту (1482° C). Столб был шириной более 305 м в основании и, согласно радиолокационным изображениям, 4,8 км

в высоту. Он продержался не менее 40 минут, в течение которых медленно двигался у поверхности, оставляя путь разрушений длиной почти 1,6 км.

Наша команда опросила свидетелей и собрала видеоданные в надежде извлечь уроки из этого происшествя. Огненный смерч возник вечером 26 июля 2018 г. Во время лесного пожара, охватившего десятки квадратных километров земель к северо-западу от Реддинга. Огонь был настолько обширным и интенсивным, что породил пироккумулятивные облака на высоте около 5 км. Около 17:30 пламя внезапно устремилось на восток, и в нем погиб бульдозерист-пожарник Дон Смит (Don Smith), а также один человек в своем доме. По мере того как лесной пожар приближался к предместью Реддинга, он извергал множество огненных вихрей, горячие угли летели в разные стороны более чем на 1,5 км и через реку Сакраменто. От них распространилось несколько очагов возгораний — небольших изолированных пожаров — возле двух земельных участков в самом тупике дороги. Развернулась чрезвычайно хаотическая ситуация, когда пожарные пытались эвакуировать домовладельцев и спасти дома, несмотря

на то что их путь к отступлению был отрезан. Люди буквально боролись за свою жизнь.

Джереми Стоук (Jeremy Stoke), пожарник из Реддинга, направился к месту происшествия на помощь. Когда он прибыл, примерно в 19:30, над дорогой формировался огненный смерч, окружая жителей и пожарников. Видимо, Стоук был захвачен на дороге. Он передал по радиации сигнал о помощи, прежде чем сильный ветер несколько раз перевернул его грузовик; в итоге он упал на дерево за сотни метров. Стоука нашли через несколько часов, он скончался от полученных травм.

У двух автомобилей *Cal Fire*, проезжавших по дороге, большинство окон были выбиты и раскрошены летевшими обломками. Как ни странно, один из грузовиков был поврежден в основном со стороны водителя, а другой — со стороны пассажира, хотя они находились на расстоянии всего 45 м друг от друга и ехали в одном направлении, что указывает на вращательное движение воздуха. Все попавшие в беду устроили полевое совещание, как спастись от летящих предметов. У трех стоявших рядом бульдозеров также были выбиты стекла, одному водителю осколок повредил глаз, а другой получил серьезные ожоги рук. Один полицейский в отставке, выезжая, понял, что кузов его грузовика загорелся, тогда он остановился у дороги, благодаря чему выжил, но получил ожоги дыхательных путей. Самое трагическое случилось на самом краю крутящегося ада: там погибли в своем сожженном доме двое детей и их прабабушка.

В лаборатории

Какие уроки мы извлекаем из таких бедствий? Можем ли мы предсказать, когда и где произойдет огненный смерч, чтобы иметь возможность эвакуировать жителей и пожарников? Что служит причиной возникновения огненных торнадо? Первый шаг на пути к ответу — изучение исторического прошлого. В 1871 г. один город в Висконсине был опустошен, вероятно, огненным смерчем, судя по огромному количеству обломков, в том числе разбросанного по земле дома. В 1964 г. пожар «Поло» в Калифорнии породил то чудовище, что нанесло ранения четырем людям, разрушило два дома и сарай, растерзало три машины и разорило фруктовый сад авокадо. Один из самых страшных пожаров случился во время Второй мировой войны, когда при бомбардировке зажигательными средствами

Гамбурга в результате огненного шторма возник смерч, который, по словам географа Чарлза Эберта (Charles Ebert), имел ширину до 3 км и высоту до 5 км. Более 40 тыс. мирных жителей погибли в том пожаре.

В 1923 г. в результате сильного землетрясения разразился пожар в Токио. По мере распространения огня от здания к зданию жители выходили на открытые участки между домами. Над районом пожара образовался большой огненный смерч, по подсчетам, в нем за 15 минут погибли около 38 тыс. человек. Более полувека общепринятым объяснением этого ужасного случая считалось, что обычный смерч образовался в то же время и в том же месте, что и пожар. Но в 1980-х и 1990-х гг. инженеры С. Сомы (S. Soma) и Козо Сайто (Kozo Saito) из Университета Кентукки использовали архивные записи для построения мелкомасштабной модели подлинного пожара, кропотливо воспроизводя его геометрию и наружные ветры. Их лабораторный пожар породил вихрь, который убеждал в том, что первопричина вихревого потока заключалась не в совпадении, а в самом пожаре.

Это исследование стало продолжением лабораторных работ, проведенных двумя десятилетиями ранее Джорджем Байрамом (George Byram) и Робертом Мартином (Robert Martin) с Южной научно-исследовательской станции Лесной службы США, которые создали небольшие вихри огня на своих установках в Мейконе, штат Джорджия. Их прибор состоял из небольшого круглого чана с горящим спиртом, окруженного цилиндрическими стенками с вертикальными прорезями, через которые во время вращения в пламя загонялись сквозняки. Примечательно, что образовавшийся в результате огненный вихрь помог прогореть всему топливу и высвободить энергию почти в три раза быстрее, чем без вращения. Похоже, что вихревой ветер увеличивает скорость горения, направляя пламя вниз к поверхности спирта, тем самым нагревая его. Последующее исследование показало, что скорость выделения энергии может быть увеличена до семи раз при аналогичных пожарах.

Нечто подобное происходит в вихрях лесных пожаров и в огненных торнадо. Нагретый кусок дерева образует сотни различных горючих газов, дальнейшее сгорание которых усиливает воспламенение. Сильные горизонтальные вращающиеся ветры в огненном смерче могут забить пламя в растительность, раздувая свирепый пожар сильнее.

В 1967 г. Говард Эммонс (Howard Emmons) и Шуцзин Ин (Shuh-Jing Ying) из Гарвардского университета создали стационарный огонь в лаборатории внутри цилиндрического проволочного экрана, который можно было вращать с различной скоростью, сообщая вращение воздуху, вдуваемому в пламя. Ученые измерили скорость ветра и распределение температуры внутри образованного таким образом огненного вихря, заглянув в суть его внутреннего формирования. Они выяснили, что помимо самого огня для образования такого вихря требуются источник вращения и механизм его усиления.

Гидродинамические свойства огненного смерча — практически те же самые. В атмосфере часто наблюдается значительное вихреобразование, создаваемое ветром, обтекающим горы или перемещаемым по поверхностным неровностям земли, или изменениями плотности и давления. Сам огонь выполняет две другие важные функции: он увеличивает вращение и поддерживает его так, чтобы плотный воздушный столб завершался вращением вокруг вертикальной оси.

Во-первых, горячий воздух, поднимающийся над пламенем, подсасывает в основании свежий воздух на смену, тем самым подтягивая вращающийся воздушный поток из окружающей среды. Некоторая часть области завихрений могла первоначально образоваться вокруг горизонтальной оси, но как только воздух всасывается в пламя, его горячий легкий восходящий поток заставляет ось отклоняться в вертикальном направлении. Во-вторых, находясь у поверхности Земли, воздух начинает движение вверх медленно, но при этом нагревается от сгорающих в нем газов. Давление воздуха вокруг вихря заставляет горячий легкий воздух в сердцевине подниматься вверх. Ускоряющийся поток в огненном факеле вытягивает вихрь огня или смерч вертикально вдоль своей оси, уменьшая его в диаметре, подобно тому как при разрыве куска теста образуется длинный тонкий перешеек. Уменьшение диаметра приводит к убыстрению вращения потока при сохранении крутящего момента; для сравнения: такой эффект можно наблюдать, когда, раскручиваясь, фигурист как бы вытягивается вслед за поднятыми руками.

Похоже, что когда огненный вихрь или смерч движется по горячей области, он достигает значительной высоты и вращается сжато и быстро, но продвигаясь по уже выжженной области, он растягивается

и замедляется, становясь распыленным цилиндром дыма. Иногда вращающийся столб оказывается настолько широким и медленным, что пожарные могут его не заметить. Направление движения вихря по поверхности Земли зависит от внешних ветров и характера местности, роль которых нам еще предстоит изучить.

Эммонс и Ин также выявили, что огненные вихри удивительно эффективны в сохранении своей энергии вращения, что делает их (к сожалению) весьма долгоживущими. Смерч «Индийского пожара», например, бушевал около часа. Когда огненный торнадо раскручивается, две противодействующие в радиальном направлении силы увеличиваются: центробежная сила оттягивает массу крутящегося воздуха к периферии, и в противовес низкое давление в центре затягивает ее внутрь. Складывающийся в результате баланс сил ограничивает движение воздуха в радиальном направлении и, следовательно, потери энергии из вихря. Напротив, в отсутствие вращения пожары обмениваются энергией с окружающей воздушной средой примерно в десять раз больше. Механизм образования огненных вихрей также делает их тоньше и выше, чем без вращения, так как воздух практически нигде не втягивается, кроме как у основания, и для сжигания доступно меньше кислорода. Следует отметить, что некоторые горючие газы должны пройти высоко по центру, прежде чем они встретят достаточное количество кислорода для горения.

Опасная ситуация возникает и тогда, когда вздымающийся столб горячих газов с низкой плотностью создает очень низкое давление в основании вихря. Соппротивление при перемещении масс воздуха у земли тормозит вращение, ослабляя центробежную силу, выталкивающую воздух наружу. Однако поскольку внутренняя сила, обусловленная давлением, остается неизменной, приземный ветер устремляется внутрь огненного смерча. В конечном итоге он действует как гигантский пылесос; всасывая воздух и часто сжигая мусор у основания, поднимая его вертикально по центру на высочайших скоростях и выбрасывая его с высоты, порождает непредсказуемые очаги пожаров.

В природе

Несмотря на наши обширные знания о физических основах огненных торнадо, мы еще не можем предсказать, где и когда они произойдут. Но ясно одно: учитывая, насколько редки огненные смерчи, и несмотря

на то что большой, мощно горящий огонь всегда сам способен усилить вращение, существенным фактором их появления, по-видимому, можно считать наличие сильного источника вращения.

Например, мы знаем из конкретных исследований, что одно из наиболее вероятных мест образования огненных смерчей — это подветренная сторона горы. Ветер, дующий вокруг горы, вызывает вихревые движения с подветренной стороны, как вода, движущаяся вокруг большой скалы в реке. Загоревшийся там огонь может поглотить и вытянуть это вращение в огненный смерч. Но на самом деле все обстоит сложнее: огненные вихри могут появляться также на ровной поверхности земли и в условиях тихого ветра. Например, большой огненный вихрь в Канзасе, вероятно, был вызван холодным фронтом, который столкнулся с теплым воздухом, проходя над пожаром в поле. А в 2007 г. исследование, которое осуществили Жуй Чжоу (Rui Zhou) и Цзыню У (Zi-Niu Wu) из Университета Цинхуа в Пекине, показало, что многочисленные пожары, расположенные особым образом и возникающие, когда пламя выбрасывает горячие разгорающиеся угли впереди себя, могут даже образовывать свое собственное вращение при раздувании струй воздуха между очагами.

Так откуда же взялось вращение, вырвавшее смертоносный огненный смерч из пожара «Карр»? Учитывая существование нескольких огненных вихрей, предшествовавших огненному торнадо, можно сделать вывод, что в этом районе явно существовало необычно большое вращение. Интуитивно я попросил Натали Вагенбрэннер (Natalie Wagenbrenner), коллегу из нашей лаборатории в Мизуле, построить несколько специальных компьютерных моделей погоды на тот день. Ее исследования показали, что прохладные густые массы воздуха двигались на восток из Тихого океана на вершину горного хребта к западу от Реддинга. Этот прохладный воздух был намного тяжелее, чем горячий в долине реки Сакраменто: в аэропорте Реддинга сообщалось о рекордной максимальной температуре в тот день — 113 градусов по Фаренгейту (45° C). Таким образом, сила тяжести вызвала ускорение движения воздуха при спуске по склонам в долину, подобно воде, бегущей под гору. Как ни странно, эти сильные приземные ветры внезапно прекратились — прямо там, где образовался огненный смерч.

Что случилось с ветром? Наконец я понял, что происходит: это как гидравлический скачок, атмосферный эквивалент того, что случается с водой, когда она сбрасывается в нижний бьеф плотины. Когда быстрые воды попадают в нижнее водохранилище, где их скорости низки, водная поверхность делает скачок вверх, образуя бурун, который стоит на месте и отмечает границу между двумя потоками. В этом месте много сильных вихревых движений. Почти таким же образом холодный плотный воздух, несущийся вниз с горы, ударил в медленные массы воздуха в долине реки Сакраменто, скорее всего, создав мощное вращение, которое и образовало огненный смерч пожара «Карр». В 2018 г. Н.П. Ларо (N.P. Laro) из Невадского университета и его коллеги сделали в докладе предположение, что верхние облака пирокумулятивов, достигнув высоты 11 км в то же самое время, когда образовался огненный торнадо, помогли вытянуть вихрь на большую высоту, тем самым утончая его и раскручивая еще больше.

Если лесные пожары будут все более обширными, мы, скорее всего, будем чаще сталкиваться с подобными смертельными объектами. Уроки, извлеченные из их тщательного изучения, дают нам луч надежды и могут помочь предотвратить возможные будущие трагедии. Я надеюсь, что дальнейшие исследования огненных смерчей, если учитывать достижения в прогнозировании погоды и компьютерном моделировании, позволят нам в ближайшем будущем предупредить об образовании огненных торнадо, спасая чьи-то жизни. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Эндрюс П., Финни М., Фишетти М. Новый взгляд на лесные пожары // ВМН, № 10, 2007.
- Fire Whirls, Fire Tornadoes and Firestorms: Physical and Numerical Modeling. Robert N. Meroney in Proceedings of PHYSMOD 2003: International Workshop on Physical Modelling of Flow and Dispersion Phenomena. Edited by Giampaolo Manfreda and Daniele Contini. Firenze University Press, 2003.
- Vortices and Wildland Fire. Jason M. Forthofer and Scott L. Goodrick in Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume 1 for Fire Managers. Paul A. Werth et al. U.S. Forest Service Pacific Northwest Research Station, November 2011.

ГРЯДЕТ СУРО

КЛИМАТ

Недавние стихийные бедствия показывают, как изменение климата зимой усиливает бури, а летом вызывает ливни, наводнения и аномальную жару

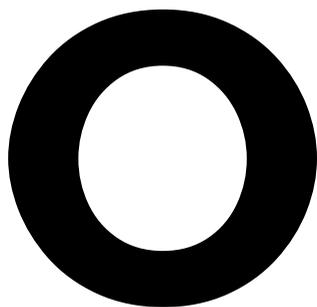
Дженнифер Фрэнсис

ВАЯ ПОГОДА



ОБ АВТОРЕ

Дженнифер Фрэнсис (Jennifer Francis) — старший научный сотрудник Вудс-Холского научно-исследовательского центра в Фалмуте, штат Массачусетс, с 1994 по 2018 г. — профессор-исследователь в Рутгерском университете, член консультативного совета *Scientific American*.



Она родилась обычным образом. Над Атлантическим океаном у выдвинутого на запад берега Африки, что севернее экватора, появился хаотический сгусток облаков. Атмосферное давление здесь было понижено, как это характерно для конца лета. Естественные колебания мирового климата каждый год создают тропические возмущения в этом регионе — иногда больше, иногда меньше, а иногда возникают ураганы. Все модели прогноза погоды безоговорочно предвещали преобразование туч в бурю, которая уйдет в безопасном направлении на северо-запад в среднюю часть Атлантического океана, вдаль от материка.

1 сентября 2018 г. тропический циклон «Флоренс» начал вести себя именно таким образом, но потом упорно направился в западном направлении, все лучше оформляясь и, казалось, нацелившись в Карибский бассейн. Другое вызывающее тревогу возмущение уже притаилось вблизи Пуэрто-Рико — отголосок разрушений, нанесенных ураганом «Мария» год назад. Три крупных циклона также закручивались в тропиках Тихого океана, подогреваемые установившейся здесь аномальной температурой. Группировка штормов несла энергию рекордно

теплых вод океанов, температура которых устойчиво поднималась с 1970-х гг. в тесной связке с подъемом температуры воздуха, вызванным удерживающим тепло парниковым эффектом — глобальным действием изменения климата. Штормы подпитывают атмосферу теплом океанов и водяным паром, которые также устремляются вверх.

Следует отметить, что противоборствующие силы ослабляли «Флоренс». И несмотря на то что внешне все выглядело благополучным, многое вызвало беспокойство синоптиков. Более слабые бури легче управляются ветрами на малых высотах, а те дули прямо с востока на запад, в сторону восточного побережья США. Они обошли южный край большого круга необычно сильного центра высокого давления, расположенного в середине Северной Атлантики. Центры высокого давления образуются силами природы, но есть свидетельства, что некоторые чаще задерживаются на месте: региональный признак потепления климата. Блуждающий антициклон, похожий на этот, отправил ураган «Сэнди» необычным путем из Атлантики в Нью-Джерси в 2012 г.

Кое-что нестандартное произошло и 4 сентября: слабая «Флоренс» преодолела аномально теплый участок на западе центральной части Атлантического океана. Подпитываясь этим теплом, она быстро повысила свою опасность до категории 4, дойдя почти до рекордной северной широты. Случайно возникающие горячие бассейны океанической воды — еще одно региональное проявление нашего изменяющегося климата.

По мере того как «Флоренс» набирала обороты, на прогнозных моделях все чаще стали появляться предупреждения, что она может ударить по побережью штатов Северная Каролина и Южная Каролина и остановиться, там она могла бы разразиться сильным наводнением, как это сделал ураган

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Ученые сегодня могут доказать, что определенные аномальные погодные условия ухудшаются ввиду изменения климата, а не только климатической изменчивости, данной природой.
- К глобальным факторам изменения климата относится увеличение тепла в Мировом океане и паров в атмосфере.
- Региональные факторы включают в себя расширение тропического пояса, «холодную каплю» в Атлантическом океане и нарушения полярного вихря; все они могут находиться во взаимодействии с изменчивостью, обусловленной природой.



«Харви» над Хьюстоном годом ранее. Как и следовало ожидать, «Флоренс» ударила по этому побережью 14 сентября и бушевала четыре дня. Ветры на небольшой высоте были теперь слишком слабы, чтобы управлять всей системой. В результате местами выпало более 762 мм дождевых осадков и, как сообщалось, погибли более 50 человек и миллионы животных (главным образом цыплят), всего по подсчетам убытки составили около \$20 млрд. Водные потоки, стекая из крупных фермерских хозяйств, шахт и очистных сооружений, загрязняли реки и их эстуарии в течение нескольких недель.

Ярость «Флоренс» не скоро будет забыта, как и столь очевидная демонстрация изменения климата в действии. Невероятная суровость урагана может быть отнесена на счет определенных последствий климатических изменений, таких как повышение тепла в воздухе и водах океана, избыток водяного пара, блокирование сильных и слабых направляющих ветров. Эти факторы распространены во всем мире, они способствуют быстрому наращиванию силы штормов, выпадению мощных осадков, усилению наводнений и укреплению ураганов.

Ураган «Флоренс» был одним из многих примеров в 2018 г., как изменение климата разнообразными способами неблагоприятно влияет на погодные условия. Многочисленные так называемые циклоны-бомбы обрушились на северо-восток США. Прорыв арктического воздуха, который окрестили «зверем с востока», заморозил Европу. Мощные приливы жары нанесли вред Японии, скандинавским странам и Греции. Наводнениями были сильно разрушены отдельные части Венеции, Парижа и штата Мэриленд.

Без сомнения, подобные несчастья случались на Земле, еще когда люди только недавно появились на ней. Но с каждым годом становится

Разбушевавшийся в июле 2018 г. лесной пожар у Корболе (Швеция) усилился из-за аномальной жары и засухи (1). В сентябре 2018 г. неподвижный центр высокого давления задерживает ураган «Флоренс» над восточной частью США на несколько дней, в итоге затоплен Ламбертон, штат Северная Каролина (2).

очевиднее, что сегодняшняя эпидемия превратностей погоды не может быть объяснена лишь природной изменчивостью. Хотя в прошлом ученые не стремились связывать напрямую изменения климата с конкретными погодными явлениями, сегодня мы говорим, что на самом деле изменение климата стало причиной того, что крупные наводнения происходят чаще. Периоды убийственной аномально жаркой погоды продолжаются дольше и становятся горячее. Периоды похолоданий также продлеваются в отдельных районах.

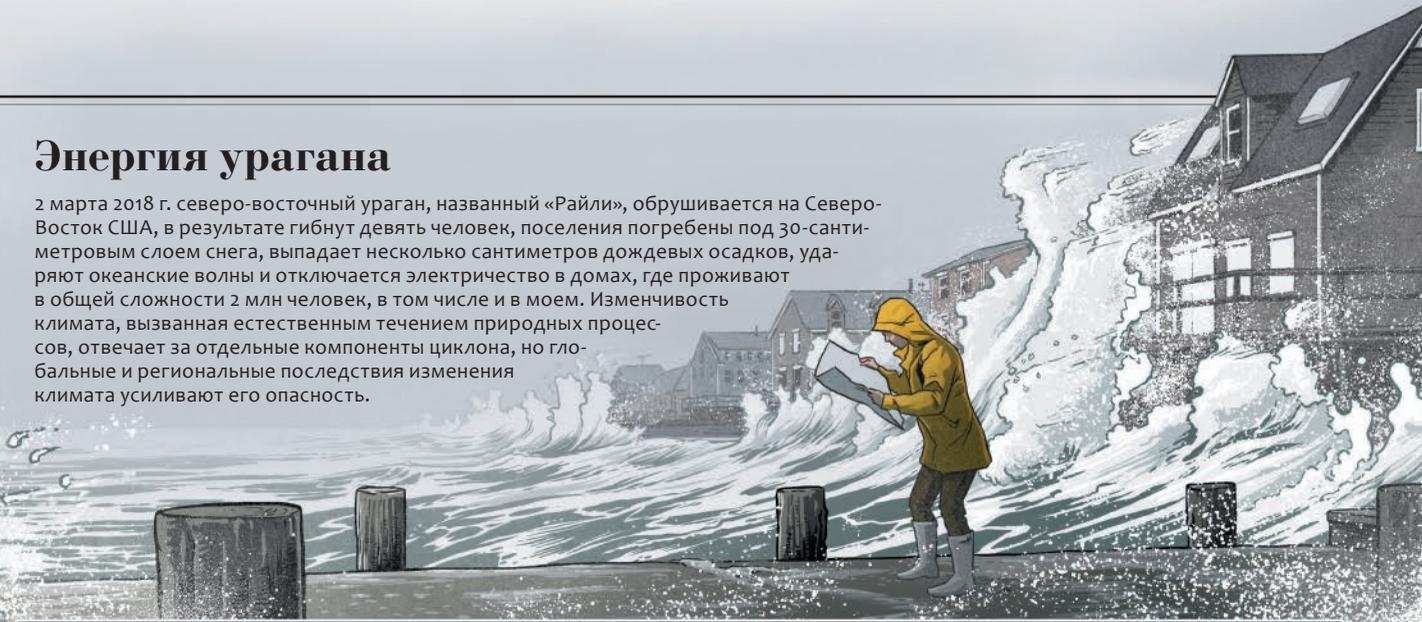
Какую часть нашей ежедневной сумасбродной погоды, которая в 2018 г. нанесла всему миру ущерб в размерах более чем \$160 млрд, можно списать на счет изменения климата? Ответ зависит от понимания ролей трех факторов широкого действия. К первому относится глобальное воздействие подъема уровня тепла в океане и атмосфере и увеличения содержания паров в атмосфере. Причем пары в воздухе заслуживают большего внимания, чем им уделяется, ведь водяной пар — это еще один парниковый газ, улавливающий тепло, и он освобождает еще больше тепла при конденсации в облаках и добавляет осадков из штормов.

Второй фактор — это региональные воздействия, как, например, устойчивые тормозящие центры высокого давления, массивы тающего морского льда, растущая так называемая холодная капля океанических вод к югу от Гренландии, замедляющий свой бег Гольфстрим и усиливающееся разрушение приполярного вихря.

Третий связан со сложностью способов взаимодействия природных изменчивых явлений, таких как Эль-Ниньо и Ла-Нинья, с региональными воздействиями. Исследование этого взаимопроникновения характеризуется как передовое, противоречивое и приносящее плоды. Сегодня мы лучше

Энергия урагана

2 марта 2018 г. северо-восточный ураган, названный «Райли», обрушивается на Северо-Восток США, в результате гибнут девять человек, поселения погребены под 30-сантиметровым слоем снега, выпадает несколько сантиметров дождевых осадков, ударяют океанские волны и отключается электричество в домах, где проживают в общей сложности 2 млн человек, в том числе и в моем. Изменчивость климата, вызванная естественным течением природных процессов, отвечает за отдельные компоненты циклона, но глобальные и региональные последствия изменения климата усиливают его опасность.



27 февраля над западной частью США как атмосферное возмущение зарождается северо-восточный ураган, который движется к атлантическому побережью.

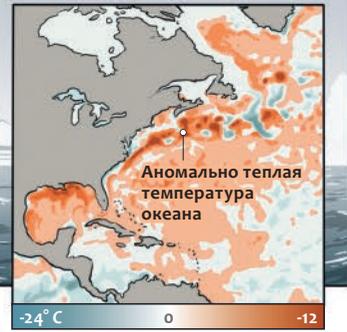
Я отдаю себе отчет в том, что над восточными штатами скопилось много холодного воздуха (природная изменчивость), создающего условия для начала зимней бури на побережье.



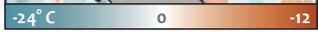
Температура

Повышенная температура в Атлантическом океане приносит дополнительную энергию и влажность растущей буре.

Температура воды в Атлантике недалеко от Новой Англии значительно превышает норму (региональный фактор изменения климата).



Аномально теплая температура океана

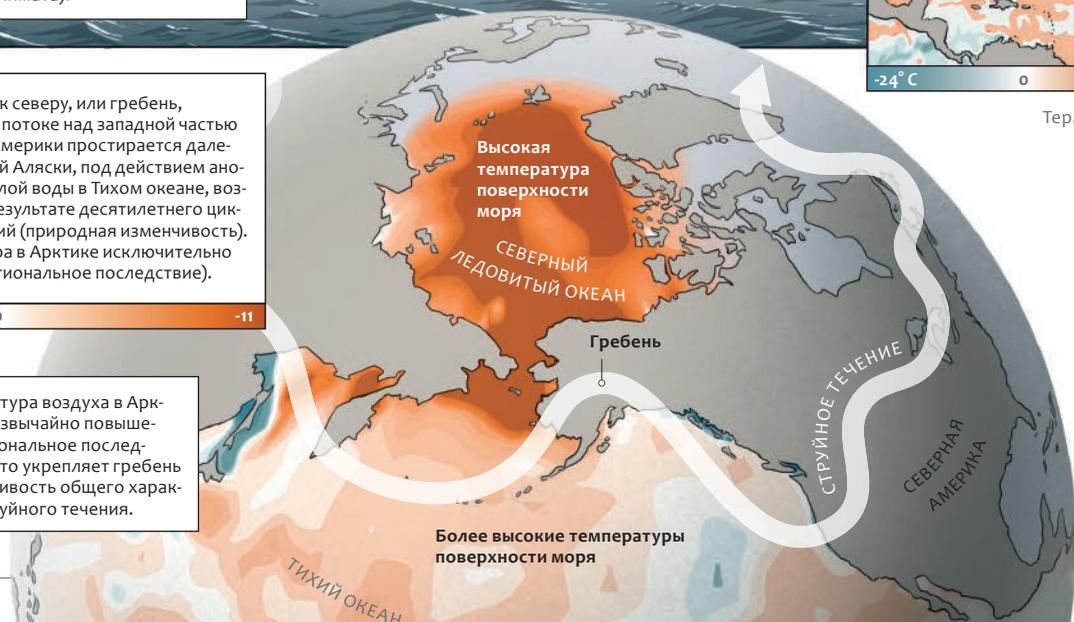


Термоаномалия

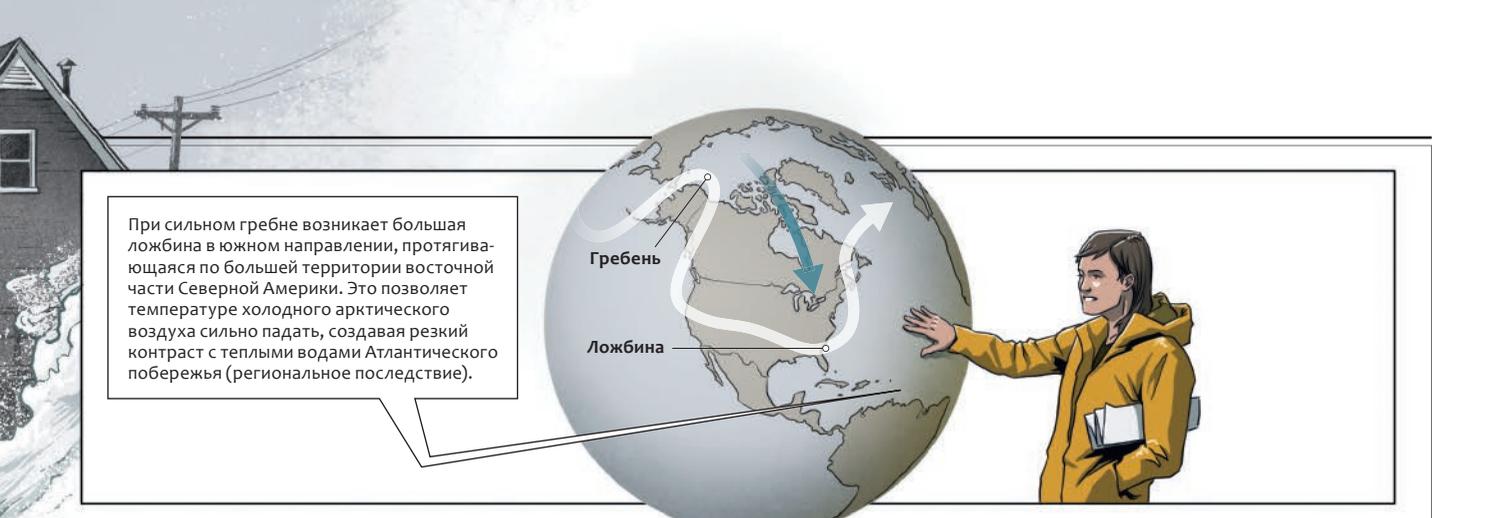
Выгибание к северу, или гребень, в струйном потоке над западной частью Северной Америки простирается далеко, до самой Аляски, под действием аномально теплой воды в Тихом океане, возникшей в результате десятилетнего цикла колебаний (природная изменчивость). Температура в Арктике исключительно высока (региональное последствие).



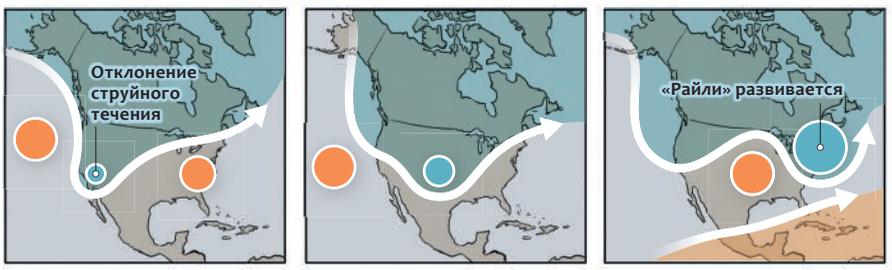
Температура воздуха в Арктике чрезвычайно повышена (региональное последствие), что укрепляет гребень и устойчивость общего характера струйного течения.



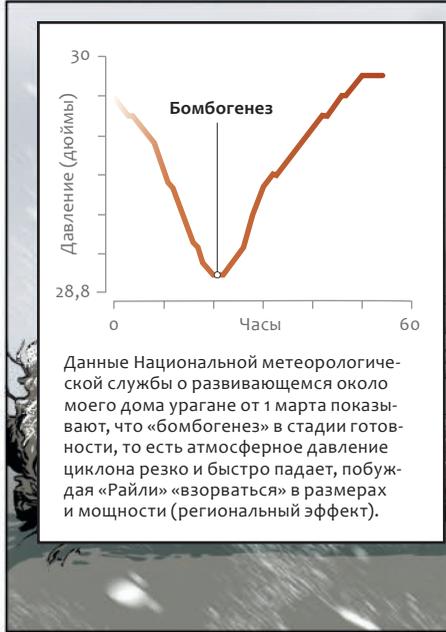
Более высокие температуры поверхности моря



При сильном гребне возникает большая ложбина в южном направлении, протягивающаяся по большей территории восточной части Северной Америки. Это позволяет температуре холодного арктического воздуха сильно падать, создавая резкий контраст с теплыми водами Атлантического побережья (региональное последствие).



Возмущение в струйном потоке (небольшая волна в более крупной структуре «гребень — ложбина») перемещается на восток и выравнивается, но когда оно сталкивается со значительной разницей температур воздуха у восточного побережья, оно снова усиливается (региональный эффект) и вбирает дополнительную энергию из субтропического струйного потока, который дует через южную часть США (природная изменчивость).

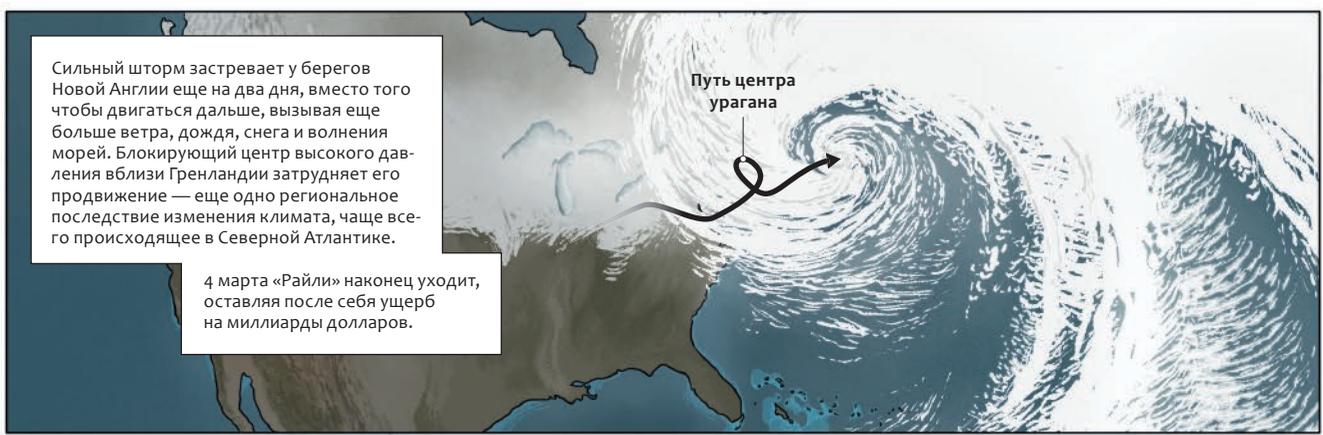


Данные Национальной метеорологической службы о развивающемся около моего дома урагане от 1 марта показывают, что «бомбогенез» в стадии готовности, то есть атмосферное давление циклона резко и быстро падает, побуждая «Райли» «взорваться» в размерах и мощности (региональный эффект).



2 марта «Райли» со скоростью ветра 129 км/ч обрушивается на Новую Англию, повалив деревья и сорвав линии электропередач на обширной территории. Проливной дождь промачивает насквозь одни районы, снег падает в других, покрывая поверхность со скоростью 76 мм/ч.

Океанские волны, достигая высоты почти 5 м, громили дома вдоль восточных берегов штата Массачусетс.



Сильный шторм застревает у берегов Новой Англии еще на два дня, вместо того чтобы двигаться дальше, вызывая еще больше ветра, дождя, снега и волнения морей. Блокирующий центр высокого давления вблизи Гренландии затрудняет его продвижение — еще одно региональное последствие изменения климата, чаще всего происходящее в Северной Атлантике.

4 марта «Райли» наконец уходит, оставляя после себя ущерб на миллиарды долларов.

понимаем, как и почему изменение климата обостряет резкие перемены погоды, нам открываются пути того, как нужно готовиться к встрече со все более частыми и напряженными опасными ситуациями.

Ненастный норд-ост

Атмосфера Земли — это внешняя оболочка из перемешивающихся газов. Воздух постоянно нагревается и охлаждается, при этом Солнце заливает все энергией днем, а ночью нагретые поверхности излучают ее обратно в космос. Из-за неравномерного прогрева возникают местные ветры, дующие в разных направлениях. Вода непрерывно испаряется с поверхности суши и моря, конденсируется в воздухе и выпадает в виде дождя или снега. И все же в этом хаосе существуют удивительно предсказуемые закономерности, обусловленные географической широтой, вращением Земли, горными системами, океаническими течениями и другими объектами влияния. В Атлантическом океане ураганы, подобные «Флоренс», формируются на востоке тропического пояса и движутся в западном направлении. В Тихом океане тропические циклоны также перемещаются на запад. Полярное струйное течение дует с запада на восток вокруг земного шара в Северном полушарии приблизительно по широте границы Канады и США; еще одно струйное течение в Южном полушарии пересекает южные оконечности Южной Америки и Африки. Более выражен циклический характер крупных ветровых систем, связанных с колебаниями температуры океана, такими как Эль-Ниньо и Ла-Нинья, которые периодически нарастают и убывают каждые три-восемь лет и управляют ветрами и осадками во всем мире. Данные исследований образцов ила, извлеченных с разных мест морского дна, свидетельствуют, что эти режимы поддерживаются в течение сотен тысяч лет.

Беспорядок и последовательность также господствуют в океанах на протяжении более продолжительных циклов на фоне постоянного нагрева, охлаждения и течений. Тихоокеанская десятилетняя осцилляция — это колебательный режим теплых и холодных температур восточной и западной частей северной зоны Тихого океана, причем каждая фаза продолжается около десяти лет.

Атлантическая меридиональная опрокидывающаяся циркуляция — это медленный поток теплых соленых поверхностных вод, который направляется на север в западной части Атлантического океана, затем теряет тепло, погружается в глубину и течет обратно на юг в Антарктиду. Движение по этому кругу занимает около тысячи лет.

Взаимодействия атмосферы и океанов запускают изменчивость климата по законам природы. Некоторые годы получаются жарче или холоднее в определенных регионах; а некоторые годы —

влажнее или суше. Но те же самые образцы придонных отложений прошлых тысячелетий показывают, что эта изменчивость имеет пределы: климатические показатели редко превышают определенные границы. Так было до сих пор.

Так, я оказалась свидетелем одного из исключений в конце зимы 2018 г. Март собирался разразиться ливневым рыком. Мать-природа устраивала парад мощных норд-остов — ураганов, бушующих только на побережье Атлантики, несущихся по восточному побережью под напором ветров с северо-востока. Все три признака изменения климата проявились в образовании этих ураганов: повышение тепла

и испарения в глобальных масштабах, региональные воздействия и их взаимосвязь с природной изменчивостью.

Я с тревогой следила за последними моделями прогноза погоды. Они показывали безопасные на первый взгляд колебания в струйном течении над северной частью Тихого океана и сходились в том, что оно по достижении Атлантического побережья породит чудовищный шторм, нацеленный на наш прибрежный город в юго-восточном Массачусетсе. Из моделей было очевидно, что снежная буря развится быстро по сценарию циклона-бомбы и сбросит снег прямо на мой микрорайон. Это был бы третий мощный северо-восточный ураган за сезон, что совсем не типично.

Все составляющие были наготове. Холодный воздух укрепил свои позиции над восточными штатами (обусловленный природой фактор). Избыток тепла над океаном (глобальный фактор) обеспечивал достаточное количество тепла и влаги для роста шторма. Температура воды в Атлантическом океане близ Новой Англии была намного выше нормы (региональный фактор).

Наука оперативно обнаруживает, что изменение климата может быть повинно в усилении экстремальных погодных условий. Изменчивость, обусловленная лишь природными силами, не объясняет то, что мы уже видим и чувствуем

Еще одна важная движущая сила заключается во взаимодействии природных закономерностей и региональных воздействий. В конце 2013 г. Тихоокеанская десятилетняя осцилляция перешла от так называемой отрицательной фазы к положительной в соответствии с ее естественным циклом развития. В результате температура морской воды поднялась выше среднего уровня вдоль восточного побережья Северной Америки. Избыточное тепло, перекачиваемое в атмосферу из этой теплой воды, способствует образованию над западной частью Северной Америки изгиба струйного течения (называемого гребнем) в северном направлении, который может протянуться до Аляски.

Вот где начинается взаимодействие с региональными особенностями. Температура воздуха в Арктике поднялась в два-три раза быстрее, чем на остальной части земного шара, что было особенно заметно зимой. Причина большей части этого потепления кроется в колоссальной потере — 75% объема — морского льда Арктики всего за 40 лет. Тихоокеанский гребень может подключиться к этому избыточному теплу, вызывая его усиление и задержание на долгое время. Так называемый возмущительно устойчивый гребень в значительной степени ответственен за продолжительные засухи и аномальную жару, которые положили начало сильным лесным пожарам, произошедшим недавно на западном побережье США.

Прочный гребень обычно сопровождается большим южным падением (называемым ложбиной) к востоку от него, которая в данном случае нависла над восточной частью Северной Америки. Глубокая ложбина позволяет холодному арктическому воздуху продвинуться далеко на юг, создавая резкий температурный контраст с теплыми водами Атлантического океана вдоль восточного побережья. Атмосфера не выносит температурных контрастов. Возникают штормы, дабы смешать воздушные массы в попытке выравнивания различий, и циклоны-бомбы — яркий пример этого процесса. Данный режим смены гребней и ложбин имеет тенденцию порождать северо-восточные ураганы, и в последние зимы она все более укрепляется.

Без сомнения, по данным Национальной метеорологической службы, вырисовывался сценарий «бомбогенеза» — когда атмосферное давление внутри циклона падает более чем на 24 миллибара за 24 часа, в результате чего он «взрывается» в размерах и мощности. Мой микрорайон оказался в самом центре событий. 2 марта, как только опустились сумерки, завыл северо-восточный ураган, пошел проливной дождь со снегом, стало отключаться электричество, высокие волны и штормовой нагон приступили к своим разрушениям. Боясь, что одна из высоких веймутовых сосен в нашем дворе может упасть на дом, моя кошка и я

(мой муж отсутствовал) предпочли спать на диване в гостиной, а не в моей спальне наверху. Ветер ревел так громко всю ночь, что я не услышала грохота от падения ни одного из 20 больших деревьев, что росли вокруг дома и каким-то чудом не повредили нашу крышу.

Ураган вволю набушевался, разорив полдюжины штатов, пока область высокого давления близ Гренландии мешала его продвижению. Этот норд-ост унес жизни по меньшей мере девяти человек, оставил без электричества 2 млн человек (на пять дней в нашем городе) и затопил прибрежные поселения.

Плохая зимняя погода

Череда разрушительных северо-восточных ураганов была не единственной характеристикой зимней погоды 2018 г., связанной с изменением климата. Парижане и венецианцы пережили самые жестокие наводнения за последние полвека в результате продолжительных ливней, в то время как смертоносные ураганы обрушивались на Германию и северную Францию. Снег толщиной в десятки сантиметров покрыл Давос в Швейцарии, как раз когда те, кто богат и на высоких каблуках, пытались пробраться на ежегодное собрание Всемирного экономического форума.

В Северной Америке важной новостью стали «удары погоды» — внезапные и драматические сдвиги продолжительных погодных аномалий. Хотя исследования все еще немногочисленны, накапливаются доказательства того, что эти размахнувшиеся колебания происходят все чаще и что отмеченные нами три вида климатических влияний взаимодействуют. Показательный пример: в течение трех недель января восточную часть США охватила столь сильная стужа, что почти замерзшие игуаны на юге Флориды падали с деревьев в коме, а в это время жители западных штатов наслаждались теплом при температуре выше нормы. Затем в начале февраля ударили погодные аномалии. Резкое отклонение в режиме струйного течения принесло небывалое тепло сотням восточных городов. За 24 часа температура подскочила более чем на 40 градусов по Фаренгейту, вернув игуан к жизни. В то же время глубокий холод установился в западных штатах. На атмосферном поле битвы между восточными и западными воздушными массами мощные циклоны в долине Миссисипи вызвали самое сильное наводнение за последние десятилетия. Повторяемость сильных осадков в этом регионе увеличилась примерно на 40% с 50-х гг. XX в.

Глобальные, региональные силы и их взаимодействия снова проявились в одном ударе. Общее глобальное потепление и увлажнение, безусловно, усилили экстремальные погодные условия. И все те же региональные завихрения струйного

течения подготовили механизм запуска парада циклонов-бомб. Зимний удар пришелся также по США и Канаде в феврале 2019 г.; в некоторых районах температура воздуха резко упала на 50 или 60 градусов по Фаренгейту, а холодный ветер опустил ее более чем на 100 градусов по Фаренгейту всего за несколько дней.

Испепеляющее промозглое лето

В Северном полушарии лето 2018 г. ознаменовалось целым набором резких отклонений погоды, большая часть которых обострялась изменением климата. В то время как в Японии, Техасе и даже Скандинавии пекло в течение нескольких недель, на восточном побережье США выдался самый влажный сезон за всю историю. Стойкие засухи свирепствовали в западной части США, в разных районах Европы и Ближнего Востока, что привело к ужасающей катастрофе, связанной с лесными пожарами, которая обошлась в \$20 млрд только одной Калифорнии. В результате экстремальных летних условий были уничтожены посевы, разрослись ядовитые водоросли, пришлось закрыть системы охлаждения ядерных реакторов, а отключения электроэнергии прокатились по четырем континентам.

Некоторые воздействия были явно связаны с глобальными явлениями. Повышение средней температуры вызывает более сильные приливы жары. Дополнительный водяной пар питает летние ливни и, задерживая дополнительное тепло у поверхности Земли, способствует повышению ночных температур. Исключительно сильная жара плюс влажность, особенно ночью, может стать смертоносной комбинацией, так как в таких условиях человеческому организму трудно охладиться выделением пота. Во всем мире тысячи людей погибли, не имея кондиционеров.

Менее очевидным представлялось влияние климата на струйное течение в летнее время — без преувеличения горячая тема исследований. Стало уже ясным, что как глобальные, так и региональные факторы участвуют в формировании необычных волн струйного течения, как те, что ввергли Скандинавию в приступы жары, засух и пожаров. Температура там в мае-июле побилла все рекорды за 260 лет.

Какую роль играют региональные изменения? Весной и летом потепление идет по полосе суши к югу от арктического побережья Канады и России. Весеннее таяние снежного покрова происходит там даже раньше. Ввиду потери поверхности, обладающей высокой отражающей способностью, грунт еще раньше подвергается действию сильной весенней солнечной радиации, потому он и высушивается раньше. Сухая почва прогревается намного быстрее, чем влажная, и температура поднимается. Разогрев подстегивает лето, смещая

струйное течение на север раньше, чем обычно, позволяя теплоте воздуха проникать в высокие широты.

Полоса аномально теплой земли может поддерживать разделение струйного течения на две ветви, что обычно происходит зимой, но не так типично для лета. Внутри между ними устанавливаются режимы погоды на долгое время, так как слабые ветры не могут их развеять. Летом 2018 г. струйное течение над Евразией и Северной Америкой большую часть времени было разделено, создавая постоянные теплые сухие условия в одних районах и продолжительные периоды дождей в других, что побивало рекорды на обоих материках.

Пристегните ремень безопасности

Превратности погоды 2018 г. видятся анонсом к полной картине, которая открывается миру по мере продолжения накопления парниковых газов. Некоторые из последствий глобальных явлений — более теплые океаны, более теплый воздух и повышенная влажность воздуха — очевидны и неопосредованы. Глубокие исследования направлены на распутывание смеси региональных последствий и их взаимодействия с природной изменчивостью. Давайте рассмотрим четыре примера.

Есть данные, что тропический пояс Земли, охватывающий экватор, расширяется в сторону полюсов. В результате маршруты циклонов сдвигаются на север и некоторые районы с умеренным климатом становятся более жаркими и сухими. Наиболее явные проявления можно наблюдать в засушливых зонах, которые очерчивают северные и южные края тропиков, таких как южная Калифорния, Средиземноморье и Австралия, где заголовки пестрят сообщениями о наступлении небывалых засух и жаркой погоды. Специалисты работают, чтобы распознать вероятных участников — потепление, атмосферную пыль и частицы сажи, которые изменяют температуру воздуха и образование облаков.

Другой тщательно исследуемый региональный фактор — явное замедление Гольфстрима, основного океанского течения, идущего на север от Мексиканского залива у восточного побережья США, затем через северную часть Атлантики к берегам Европы. Это приповерхностное течение участвует в меридиональной циркуляции Атлантического океана. Замедление течения может нарушить погодный режим и рыболовство по обе стороны океана. Измерения поверхностных слоев океана редки, но странные особенности тщательно изучаемых приземных температур, таких как их аномальное повышение вдоль восточного побережья, а также «холодная капля» к югу от Гренландии, дают важные подсказки, что вся эта крупномасштабная циркуляционная система действительно может замедляться. Сдвиг в температурных режимах

океана изменит силу и пути циклонов. Повышенная активность циклонов на североатлантическом направлении в последние годы может быть ответом на замедление Гольфстрима наряду с неустойчивыми течениями, которые, скорее всего, запустили циклоны-бомбы зимой 2018 г.

Блокирующие центры высокого давления — еще одна региональная особенность. Согласно наблюдениям, они чаще возникают в определенных местах, например над Гренландией и западной частью России. На атмосферных моделях усердно пытаются определить развитие и затухание этих вихревых образований. Заторы могут образовываться по разным причинам, некоторые из них связаны с изменчивостью, обусловленной природой, а другие — с изменением климата. Например, остатки тропических циклонов могут естественным образом вливать энергию в струйное течение, заставляя его изгибаться и создавать дополнительные вихри. Следует отметить, что ввиду потепления океанов тропические циклоны могут сохранять силу дольше, до осеннего времени, и пройти далее на север, повышая вероятность столкновения со струйным течением и создания блокирующего воздействия, которое затем может подтолкнуть ураганы и другие погодные системы в необычных направлениях.

Например, в октябре 2018 г. ураган «Лесли» задержался в Атлантическом океане более чем на две недели и наконец направился туда, где раньше не было зафиксировано ни одного урагана: в сторону Португалии. Сильные ветры и наводнения обрушились на Пиренейский полуостров. В то время над Северо-Восточной Европой установился сильный блокирующий антициклон, создающий волновой режим струйного потока, который захватил ураган «Лесли» и отправил его в дальний путь через Атлантику.

Полярный вихрь в стратосфере — решающий из числа региональных факторов, о нем часто писали в новостях зимой 2018 г. и снова зимой 2019 г. Он отличается странным поведением, представляет собой кольцо сильных ветров, вращающееся вокруг бассейна холодного воздуха над Северным полюсом только зимой, на высоте около 48 км. Каждые несколько лет в соответствующих условиях кольцо может деформироваться или даже разбиться на два или более колец меньшего размера, которые имеют тенденцию перемещаться на юг, принося с собой суровые похолодания. В то же время теплый воздух с юга вторгается в Арктику, перевертывая температуры. В конце января этого года, в период дробления полярного вихря, около Северного полюса было теплее, чем в Чикаго. Эти так называемые внезапные стратосферные потепления могут происходить естественным образом, но в последнее время их наблюдают чаще. Несколько новых исследований показали, что серьезные потери

морского льда в Северном Ледовитом океане к северу от западной части России могут вызвать нарушения полярного вихря. Те из нас, кто живет в средних широтах, могут чаще подвергаться атакам, исходящим от полярного вихря по мере усиления глобального потепления.

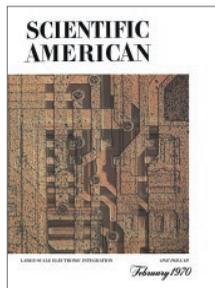
Хотя некоторые аспекты неуправляемого эксперимента, который мы навязываем климату Земли, остаются неясными, наука быстро распознает, что изменение климата может быть повинно в обострении погодных катаклизмов и их последствий. Понимание связей поможет нам четче видеть будущее и подготовиться к влиянию на сельское хозяйство, международную безопасность, морские гидробионты, леса, пресноводные ресурсы, инфраструктуру и здоровье человека. Последствия уже очевидны и будут только ухудшаться.

Тем не менее есть основания для надежды. Прорыв и распространение плохой погоды пролили яркий свет на хорошо финансируемую кампанию по распространению дезинформации и порождению сомнений среди населения в отношении изменения климата. Несмотря на то что говорят сомневающиеся, невозможно объяснить аномальные явления, которые мы уже видим и ощущаем, просто природной изменчивостью. Недавние опросы показывают, что большинство людей наконец признают, что изменение климата реально и вызвано нами. Страховщики, военачальники, застройщики и муниципальные управляющие несут ответственность за существенные риски для жизни и имущества. Возможно, мы наконец-то готовы пройти тернистый путь. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

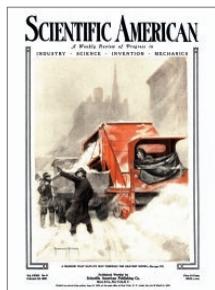
- Лозье С., Райзер С. Пересматривая роль Гольфстрима // ВМН, № 7–8, 2013.
- More-Persistent Weak Stratospheric Polar Vortex States Linked to Cold Extremes. Marlene Kretschmer et al. in Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 99, No. 1, pages 49–60; January 2018.
- Observed Fingerprint of a Weakening Atlantic Ocean Overturning Circulation. L. Caesar et al. in Nature, Vol. 556, pages 191–196; April 12, 2018.
- Re-examining Tropical Expansion. Paul W. Staten et al. in Nature Climate Change, Vol. 8, pages 768–775; September 2018.
- Rethinking the Gulf Stream. Stephen C. Riser and M. Susan Lozier; February 2013.



ФЕВРАЛЬ 1970 Эра микроэлектроники.

Со времени изобретения в 1948 г. транзистора, который в свое время казался чудом компактности по сравнению со стеклянной вакуумной лампой, размер электронных приборов уменьшался в десять раз примерно каждые пять лет.

В большой степени стимулом для миниатюризации электронных схем стали программы создания баллистических ракет. По мере совершенствования технологии микросхем они уже вскоре были применены в коммерческих вычислительных устройствах. Сегодня очевидно, что микроэлектронные схемы скоро проложат дорогу к множеству новых приложений, влияние которых на все аспекты повседневной жизни — дома, в офисе, в школе и на автотрассах — будет очень глубоким.



ФЕВРАЛЬ 1920 Первый ракетостроитель.

Доктор Роберт Годдард (Robert H. Goddard) из Университета Кларка в отчете об аппарате, изобретенном им с целью исследования крайних верхних слоев атмосферы, упомянул о возможности придать этому аппарату достаточную

движущую силу, чтобы вынести его на расстояние до Луны. Когда Годдард отправит ввысь этого небольшого посланника, он получит данные большой метеорологической ценности. Но он не будет целиться в Луну — сделать это теперь должен будет кто-нибудь другой.

Лед для охлаждения.

Для ускорения заготовки природного льда приспособили бензопилу. Она состоит из двигателя наподобие автомобильного и дисковой пилы. Пилу толкает вперед оператор, обеспечивающий движущую силу. Портативная пила разрезает лед на квадратные плиты со стороной 6 м. Их сплавляют по воде к агрегату из четырех циркулярных пил, которые разрезают их на плитки установленного размера.



Заготовка природного льда с помощью бензопилы, 1920 г.



ФЕВРАЛЬ 1870

Строители-подводники.

При сооружении подводных конструкций ни одна из операций так не важна и не несет больше персонального риска, как работа под водой. Однако это искусство продвинулось настолько и аппаратура для подводных работ была усовершенствована

до такой степени, что сейчас водолазы спускаются на глубины более 30 м. В США насчитывается примерно 30 профессиональных водолазов, и из этого числа в год в среднем погибало около четырех. ■



Уложенные в штабеля куски льда на борту парохода охлаждают свежее мясо по пути из Нью-Йорка в Ливерпуль, 1877 г.

ПРАЗДНУЕМ
175
ЛЕТ

Комфортабельная прохлада

Комментарий из номера журнала за 1848 г. по-прежнему остается справедливым: «До нынешней эры <...> человечество было постоянно занято поисками средств для охлаждения». В XIX в. лед, заготавливаемый в течение зимних месяцев, позволял сохранять продукты свежими. Искусственный холод, демонстрация которого впервые состоялась в 1756 г., оставался сложным в производстве, а иногда и опасным, и вплоть до XX в. использовался в ограниченных масштабах. К 1909 г. обычный стол «деревенских и городских жителей, бедных и богатых, претерпел большие изменения в результате практического использования холода». После 1928 г. химическое

вещество — фреон (в 1987 г. его использование было запрещено, и он был заменен) — позволило эффективным холодильникам вытеснить «домашний ледник». Холод способствовал также повышению производительности труда и уровню комфорта людей. В статье 1933 г. фирма Willis Carrier пела хвалебные гимны обретенной нами возможности управлять температурой окружающей нас атмосферы. Охлаждение (или, в феврале, нагрев) окружающего воздуха требует энергии и увеличивает эмиссию CO₂. Но усовершенствованная технология поможет снизить потребление энергии и уменьшить количество выращиваемых, а затем выбрасываемых на помойку пищевых продуктов во всем мире.

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

Cliff Ransom

Seth Fletcher

Dean Visser

Michael D. Lemonick

Mark Fischetti, Josh Fischman, Clara Moskowitz,

Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong

Lee Billings, Sophie Bushwick, Sarah Lewin Frasier,

Tanya Lewis, Gary Stix, Andrea Thompson

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

Мозгу нужны упражнения

Эволюционная история человека дает объяснения, почему физическая активность может замедлить старение мозга.

Галактический архипелаг

Даже если Млечный Путь кишит космическими пришельцами, мы не должны удивляться тому, что они до сих пор не посетили Землю.

Свобода от опиоидов

Более 7 млн пациентов, страдающих хроническими болями, продолжают принимать анальгетики рискованного характера. Исследователи ищут способы отучить людей от них, при этом сохраняя для пациентов низкий уровень стресса.

Сила птичьего ума

Некоторые виды птиц используют орудия и могут узнать себя в зеркале. Каким образом столь крошечные мозги способны на такие большие подвиги?

Трехщелевой эксперимент

Обновленная версия классического эксперимента открывает новые квантово-механические истины и прокладывает путь к новой стратегии квантовых вычислений.



ПАРАДОКС ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

Может ли информация вырваться из бездны

ГЛАЗ-РЕНТГЕН

20 лет обсерватории «Чандра»

ОТВЕТЫ ФИЛОСОФИИ

Интервью с директором ИФ РАН

В мире науки

SCIENTIFIC AMERICAN

Ежемесячный научно-информационный журнал

www.sci-ru.org

1/2 2020

12+



НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 2019 ГОДА



ISSN 0208-0621



9 770208 062001

20001



>