

СПЕЦИАЛЬНЫЙ
РЕПОРТАЖ

ЧТО НЕ ТАК В НАУКЕ – И КАК ЭТО ИСПРАВИТЬ

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci.ru.org

12 2018

12+

НЕРЕШАЕМАЯ ПРОБЛЕМА

Знакомство с некоторыми странными идеями
в современных математике и физике

ПЛЮС

ПУСК, ЛОЖЬ И ВИДЕО

Особенности эры фейкового видео

ПТЕНЦЫ ГНЕЗДА ИОФФЕ

Вехи истории
санкт-петербургского Физтеха

ПОЛЬЗА ОТ БЕШЕНСТВА

Вирус помогает лучше понять,
как функционирует человеческий мозг



ISSN 0208-0621



18 012



9 770208 062001



60

Темы номера

ИСТОРИЯ РОССИЙСКОЙ НАУКИ

Птенцы гнезда Иоффе

Наталья Лескова

Знаменитый санкт-петербургский Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, один из флагманов отечественной академической науки, отметил недавно столетний юбилей

КОСМОС

Луна, Марс, Венера, далее со всеми остановками

Валерий Чумаков

Продолжение разговора (начало — в № 11) с научным руководителем Института космических исследований РАН академиком **Львом Зеленым** о непростых, но заманчивых перспективах российского научного космоса

БИОЭТИКА

Этические вызовы XXI века

Наталья Лескова

Академик **Александр Чучалин** стал председателем оргкомитета конференции «Этические вызовы XXI века», посвященной анализу официальных документов ЮНЕСКО по вопросам биоэтики



4

СОДЕРЖАНИЕ

Декабрь 2018

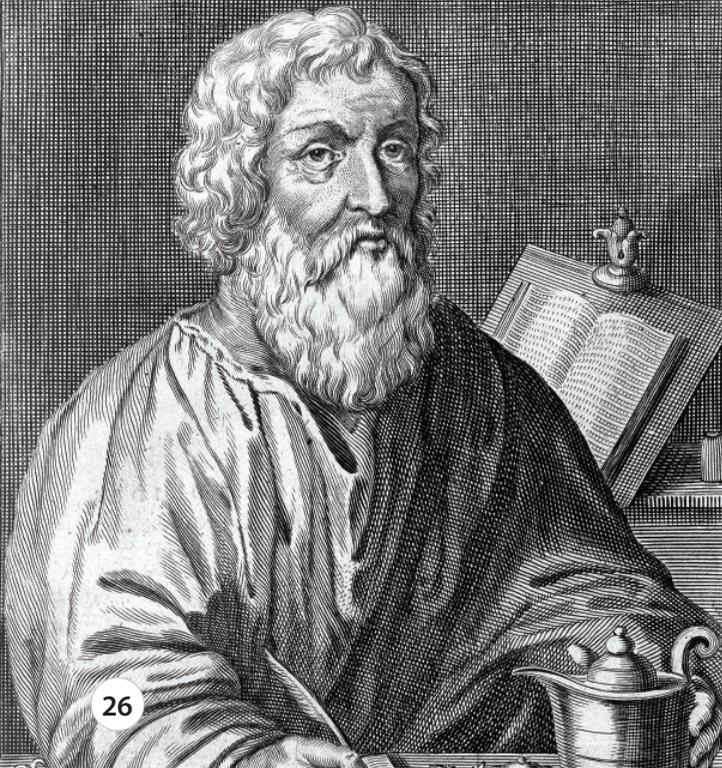
- | | | |
|----|--|---|
| 4 | НЕЙРОКОГНИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ | |
| | Интерфейс исполнения желаний из Курчатовского института | 32 |
| | <i>Наталья Лескова</i> | |
| | Возможность бесконтактного взаимодействия с компьютером и роботом открывает огромные перспективы, но с ней сопряжены и немалые сложности | |
| | |  |
| 16 | ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ | |
| | Разноцветное золото | 40 |
| | <i>Наталья Лескова</i> | |
| | Правда ли то, что запасы нефти сегодня иссякают? Сможем ли мы найти ей достойную замену? | |
| | |  |
| | МАТЕМАТИКА | |
| 26 | Неразрешимая задача | 46 |
| | <i>Майкл Вольф, Тоби Кыюбитт и Давид Перес-Гарсиа</i> | |
| | После многолетней работы три математика выяснили, что задачу первоочередной для физики важности решить невозможно, — а это означает, что и другие фундаментальные вопросы, вероятно, тоже не имеют решения | |



106



68



26



76

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Пуск, ложь и видео

Брук Борел

Системы искусственного интеллекта позволяют любому манипулировать аудио- и видеoinформацией. Это может иметь страшные последствия: мы перестанем доверять чему бы то ни было

60

СЕЙСМОЛОГИЯ

Землетрясения в небесах

Эрик Ванс

Обсуждается новое теоретическое положение, что самое раннее оповещение о крупной бедствии может появиться на высоте 290 км над землей

68

СПЕЦРЕПОРТАЖ:

СОСТОЯНИЕ МИРОВОЙ НАУКИ — 2018

Как привести в порядок науку

Чтобы бороться антинаучные течения, ученые должны поддерживать собственную отрасль изнутри. Необходимо оптимизировать финансирование науки, обеспечивать воспроизводимость результатов исследований — и это далеко не полный перечень проблем

76

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Бешенство в мозге

Эндрю Марри

С помощью модифицированных форм вируса бешенства ученые могут точно проследить нервные пути

98

ПРИРОДНЫЕ КАТАКЛИЗМЫ

Путь к спасению

Леонардо Дуэньяс-Осорио, Девика Субраманиян и Роберт Штайн

Эвакуировать целый город в преддверии надвигающегося урагана практически невозможно. Новые карты рисков указывают, кому действительно нужно бежать, чтобы спасти свою жизнь

106

Разделы

От редакции

3

Наука в графиках

59

50, 100, 150 лет тому назад

112



16



32

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



РОСАТОМ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



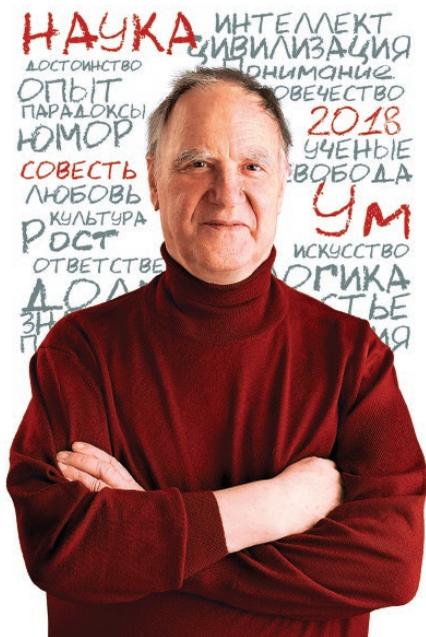
очевидное
невероятное



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

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:

к.х.н. А.С. Боев; акад. А.Г. Забродский; акад. Л.М. Зеленый; акад. А.Г. Чучалин;

к.б.н. С.Л. Шишкин

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, А.И. Прокопенко, В.И. Сидорова,
Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

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

В.Е. Фортов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

Адрес редакции:

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

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

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:

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

Заказ №12 18-12-00137

© 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.

Президент РАН Александр Сергеев: «Мечтаю о консолидации нашей науки»

Перед Новым годом принято подводить итоги, строить планы на будущее и загадывать желания. Что касается итогов — главное, что входящем году был принят закон о Российской академии наук. В наступающем году мы должны развернуть работу по реализации наших новых полномочий, а именно прогнозирования, экспертизы, научной дипломатии и просвещения.

Таким образом, итоги плавно перетекают в планы. Теперь о мечтах.

Первая мечта — чтобы следующий год стал годом консолидации всей нашей науки. Мы понимаем, что ресурсы ограничены — и в плане заимствования знаний и технологий из-за рубежа, и в плане импорта интеллекта, поэтому мы должны в будущем году объективно оценить наши ресурсы и научиться тратить их эффективно. Именно этим и должна заниматься академия наук. Необходимо консолидировать все наши ресурсы и усилия, чтобы в это сложное время мы могли эффективно развивать нашу науку и получать высокие результаты.

Вторая мечта — чтобы в наступающем году мы убедили власть и общество в том, что именно академия наук может и должна быть механизмом

консолидации. Мощные интеллектуальные силы, которые в ней сосредоточены, позволят решить эту задачу.

Третья мечта — чтобы Российская академия наук занималась не только фундаментальными исследованиями, но и приоритетами научно-технологического развития страны. Это поручение у нас уже есть, в РАН сформированы советы по приоритетам. Это означает, что власть понимает: именно академия наук сможет запустить эти технологии.

Четвертая мечта — чтобы мы продолжили восстанавливать международные научные связи, которые были оборваны из-за сложной геополитической обстановки. В этом году мы получили обратную связь от иностранных членов РАН, которые ждут нас в своих странах.

Пятая мечта — чтобы мы активнее занимались просветительской деятельностью. Если общество не поверит в науку, у нас ничего не получится. И мы должны быть теми, кто будет просвещать людей.

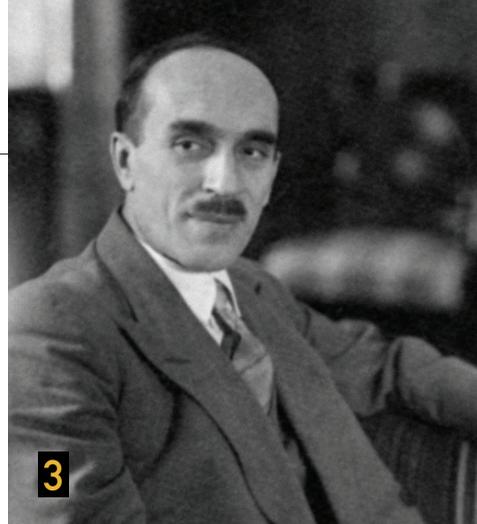
Шестая мечта — чтобы в будущем году выборы в Российскую академию наук были чистыми, объективными и демократичными. И чтобы мы выбрали в академию наук самых достойных, умных и талантливых.

Седьмая мечта — чтобы академия наук оставалась сплавом мудрости старших и активности молодых. А мы будем заботиться о тех и других.

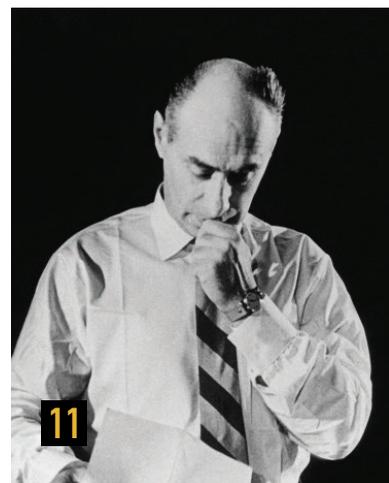
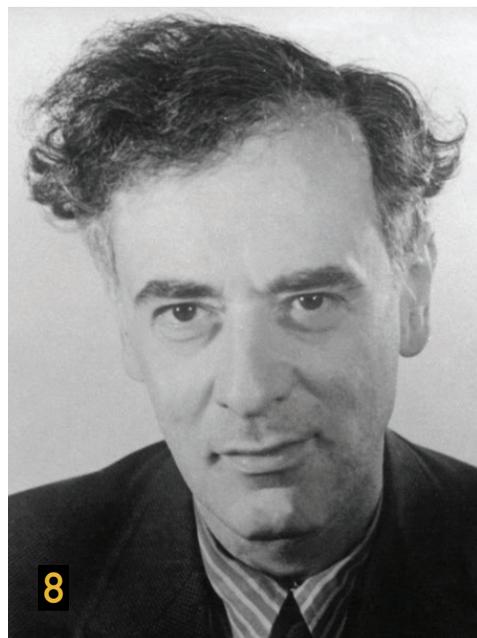
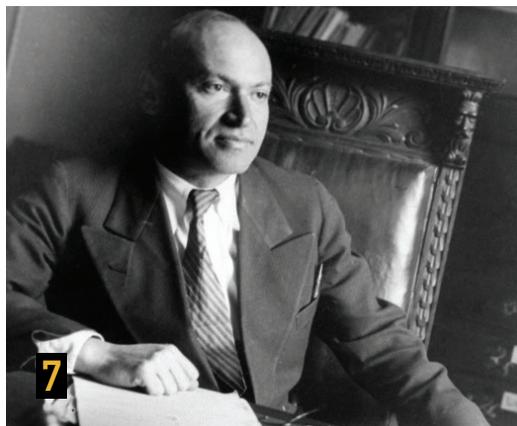


В заключение хочу поздравить вас, дорогие читатели, с наступающим Новым годом и пожелать крепкого здоровья, счастья, мира и согласия! До встречи в новом году!

Президент Российской академии наук
Александр Сергеев



ПТЕНЦЫ ГНЕЗДА ИОФФЕ



Санкт-петербургский Физико-технический институт, знаменитый Физтех имени его первого директора А.Ф. Иоффе, один из флагманов отечественной академической науки, отметил недавно столетний юбилей. Пожалуй, ни один другой институт не дал миру такого количества выдающихся ученых. В разные годы здесь работали Н.Н. Семенов и П.Л. Капица, Л.Д. Ландау и Ю.Б. Харитон, Г.А. Гамов и Д.В. Скобельцын, И.В. Курчатов и А.П. Александров, Я.И. Френкель и Б.П. Константинов, Ж.И. Алферов. И даже Л.С. Термен, создавший удивительный музыкальный инструмент, — выходец из этих стен. История Физтеха необычайно богата на великие открытия, масштабные проекты и драматические моменты. Но не менее интересен Физтех сегодня, его перспективы впечатляют. Об этом и о скрытой от постороннего глаза логике развития ФТИ рассуждает главный научный сотрудник института академик **Андрей Георгиевич Забродский**, бывший шестым директором Физтеха в 2003–2018 гг.

НА ФОТОГРАФИЯХ СЛЕВА:

- | | |
|---|---|
| 1 А.Ф. Иоффе | 6 Ф.Ф. Витман и Б.П. Константинов |
| 2 А.Ф. Иоффе, П.Л. Капица
и А.Н. Крылов | 7 Я.И. Френкель |
| 3 Н.Н. Семенов | 8 Л.Д. Ландау |
| 4 А.Ф. Иоффе с молодежью | 9 Ж.И. Алферов |
| 5 И.В. Курчатов
и А.П. Александров | 10 Я.И. Френкель, Г.А. Гамов,
Ж.Б. Перрен |
| | 11 Г.Н. Флеров |



Академик А.Г. Забродский

КАК НАЧИНАЛСЯ ФИЗТЕХ

Чтобы понять логику развития нашего Физтеха, начать надо, по-видимому, с работы А.Ф. Иоффе в Германии в начале XX в. Там, в Мюнхене, он приобщался к самостоятельным физическим исследованиям под руководством самого Вильгельма Рентгена, ставшего самым первым лауреатом Нобелевской премии по физике за открытие лучей, названных его именем. Немецкая физика начала XX в. была самой передовой в мире.

Вооруженный ее идеями, А.Ф. Иоффе в 1906 г. возвращается в Петербург. Ищет работу в профессуре университета, но находит ее в Политехническом институте. Организует там кружок по изучению новой физики.

Грянула революция. Кто-то окупился в политику, кто-то думал о развитии науки в России. А.Ф. Иоффе вместе со своим коллегой по Политеху М.И. Менделеевым вынашивали идею создать исследовательский институт, сориентированный по передовым научным направлениям того времени: радиологическому с медико-биологическими применениями, рентгеновскому и физико-техническому. Потом возникло еще оптическое направление.

2 ноября 2018 г. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе отметил столетний юбилей. В этот день состоялось выездное торжественное заседание президиума РАН совместно с ученым советом ФТИ с повесткой «100 лет развития ФТИ им. А.Ф. Иоффе: от опыта прошлого — к проектам будущего».

По легенде, на подножке поезда, отходившего из Петрограда в Москву 23 сентября 1918 г., нарком просвещения А.В. Луначарский подписал «на коленке» решение об открытии Государственного рентгенологического и радиологического института (ГРРИ). Через два месяца оптический отдел выделился из него в качестве самостоятельного Государственного оптического института.

В 1921 г. принимается решение и о выделении оставшихся в ГРРИ отделов в самостоятельные институты. На основе физико-технического отдела, который возглавлял А.Ф. Иоффе, образуется под его же руководством Государственный физико-технический рентгеновский институт (ГФТРИ), который и дал начало нашему Физико-техническому институту.

НАРКОМТЯЖМАШЕВСКИЕ ГЕНЫ

А.Ф. Иоффе разворачивает значительную часть института в направлении решения научно-технических задач индустриализации, создает под своим руководством прикладную лабораторию,

которая подчинялась непосредственно Высшему совету народного хозяйства (ВСНХ). Она работала по заказам промышленности, поднимала научно-технический уровень производства и быстро расширялась. Например, когда в 1925 г. молодой Игорь Курчатов приехал по приглашению А.Ф. Иоффе работать в Физтех, он был оформлен на ставку именно в этой лаборатории. А когда по стране прокатилось волна коллективизации, А.Ф. Иоффе открывает Физико-агрономический институт (которым руководит до самой смерти в 1960 г.), имевший главной задачей разработку агротехнологий для ускоренного развития сельского хозяйства страны.

В 1933 г. институты становятся независимыми. Один из них, руководимый А.Ф. Иоффе, получает название «Ленинградский физико-технический институт» (ЛФТИ), которое сохраняется за ним вплоть до 1960 г. В 1939 г. ЛФТИ и все созданное им в годы индустриализации большое семейство физико-технических институтов по всей стране перешли в ведение АН СССР и академий союзных республик.

Но наркомтяжмашевское прошлое по сей день продолжает оказывать огромное влияние на формирование тематики исследований института и на менталитет его сотрудников. В сознании нескольких поколений физтеховцев прочно укоренилось, что Фихтех — институт государственный. Государство ставило перед Физтехом важнейшие научно-технические задачи, и институт их с честью выполнял, чем и прославился не менее, чем научными открытиями.

Вершина мирового научного признания — две Нобелевские премии за работы, сделанные в Физтехе. Их получили Н.Н. Семенов и Ж.И. Алферов. Три нобелевских лауреата сделали свои отмеченные

премией работы в других институтах, но в разные годы работали в ЛФТИ: П.Л. Капица, Л.Д. Ландау и И.Е. Тамм. Тесное сочетание фундаментальной и прикладной науки, сферы исследований и разработок, взаимодействия с гражданским и оборонным секторами промышленности характерно и для сегодняшнего Физтеха.

ФИЗТЕХ — АВИАЦИИ, АРМИИ И ФЛОТУ

В 1934 г. на имя академика А.Ф. Иоффе поступает запрос из управления войск ПВО — провести совещание о возможности создания радиолокации на основе электромагнитных волн. В то время приближение самолетов определялось «на слух», с помощью звуковых пеленгаторов. Но скорость распространения звука относительно невелика — 350 м/с. Поэтому по мере возрастания скоростей в авиации стали недопустимо уменьшаться как точность определения координат самолетов, так и время от их обнаружения до подлета к цели. Надо было осуществить переход в локации к «быстрым» электромагнитным волнам. Мирового опыта не было.

По итогам проведенного А.Ф. Иоффе совещания в ФТИ была создана лаборатория по разработке импульсных радиолокационных станций (РЛС), которую возглавил Д.А. Рожанский, а после его смерти — Ю.Б. Кобзарев. Уже в 1939 г. была принята на вооружение созданная физтеховцами РЛС «Редут» с дальностью обнаружения 150 км. К началу войны появился и ее корабельный вариант. Но хорошо прикрыть радиолокационными комплексами в годы войны удалось только Москву и Ленинград. Если общие потери Ленинграда в годы войны составили около 1 млн человек (в основном, от голода), от артиллерии — примерно 40 тыс., то от бомбежек — только около 8 тыс.

В 1936 г. командующий Балтийским флотом адмирал И.С. Исаков поставил перед А.Ф. Иоффе и ЛФТИ задачу борьбы с магнитными минами, которые представляли собой реальную угрозу для крупных военных кораблей. Их взрыватель похож на стрелку компаса — реагирует на магнитное поле корабля. Поле возникает еще на этапе строительства, когда идутковка, штамповка и деформация металла. Потом корабль



С юбилеем институт поздравили президент РАН А.М. Сергеев (слева) и министр науки и высшего образования РФ М.М. Котюков

дополнительно намагничивается уже магнитным полем Земли. Это оружие было известно еще со времен Первой мировой войны. Магнитные мины располагали на дне, как правило, на мелководье, вблизи военно-морских баз. Флот оказывался заблокированным на базе и не мог выйти в море.

А.Ф. Иоффе поручил эту ответственную работу будущему президенту Академии наук СССР А.П. Александрову, который в то время занимался совсем другой темой — полимерами. Правда, у него был опыт работы с Военно-морским флотом — когда-то занимался разработкой резака для преодоления противолодочных сетей. За три года была разработана и создана система размагничивания кораблей, которая вошла в историю как «система ЛФТИ». Сразу после начала войны под руководством А.П. Александрова была сформирована команда из 24 физтеховцев (в нее вошел и И.В. Курчатов, оставивший на время ядерную физику). Ее разделили на группы, занимавшиеся во фронтовых условиях размагничиванием кораблей на всех флотах и флотилиях. Без разрешения руководителя группы ни один военный корабль не мог выйти в море. «Прежде чем в поход идти, побывай у ЛеФеТи», — говорили моряки. В годы войны «система ЛФТИ» доказала свою стопроцентную надежность. Ни один из военных кораблей, на которых она работала, не подорвался на магнитной мине.

«НАУКА В ГОДЫ БЛОКАДЫ НЕ ЗАМИРАЛА НИ НА МИНУТУ»

Блокада — особая страница в истории ФТИ, Ленинграда и ленинградцев, к которой относишься с трепетом и благоговением. В первые месяцы

войны половина мужской части ЛФТИ добровольно или по призыву ушли в Ленинградскую армию народного ополчения и действующую армию. Из второй половины 70 сотрудников во главе с А.Ф. Иоффе были эвакуированы в Казань, а 103 человека во главе с П.П. Кобеко, которого называли «блокадным директором», остались в окруженном городе. В 1941–1943 гг. город потерял от голода половину населения, а ЛФТИ — лишь одного! Почему? Тому было две причины.

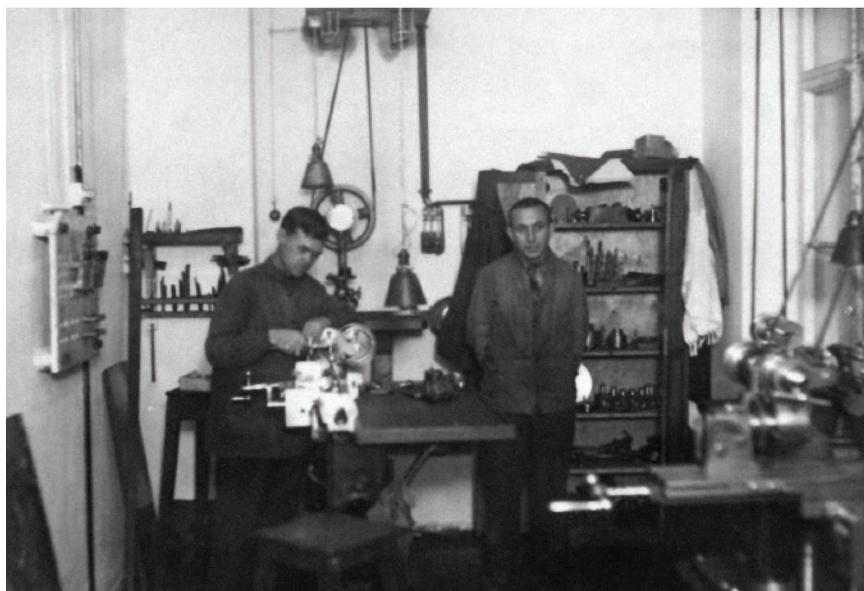
П.П. Кобеко, будучи специалистом по химической физике, разработал технологию очистки запасенных в институте для ремонта натуральной олифы и масляных красок, чтобы их можно было употреблять в пищу. Получился весьма калорийный продукт. Потом стали очищать олифу и краски, которые привозили и с других предприятий города. Очищенными их возвращали обратно. А еще Павел Павлович вместо типичной для института лабораторной структуры организовал в блокадном Физтехе систему мастерских по очистке масел и красок, размагничиванию кораблей, производству гидрофобной земли и т.п., что позволило снабжать физтеховцев продовольствием уже по рабочим карточкам.

Зачем была нужна гидрофобная земля, которая не впитывала воду? Очень просто. На производство бетонных укреплений (дотов) не хватало цемента. Приходилось вместо них строить земляные укрепления — дзоты, которые размывали ленинградские дожди.

Еще один сюжет, имевший первостепенное значение для блокадного Ленинграда. С открытием в конце ноября 1941 г. Дороги жизни — по льду Ладожского озера — возникла серьезная проблема ее эксплуатации. Машины, преимущественно легкие, почему-то разрушали лед, гибли люди и ценные грузы. Обратились в ЛФТИ к П.П. Кобеко — разобраться, в чем дело.

Было специально сконструировано и изготовлено более 50 приборов, получивших название «прогибографы», для изучения колебаний льда. В результате быстро проведенного исследования выяснилось, что дело в резонансе, который возникает при совпадении скоростей машины и волны подо льдом. Прimesивается также интерференция от разных машин, их колонн, с отраженными от берега и препятствий волнами.

Результатом стали строгие рекомендации по организации движения на Дороге жизни, которую поддерживали указатели



Довоенный ЛФТИ, мастерская



С.Е. Бреслер и М.В. Гликина в лаборатории

по трассе и девушки-регулировщицы. Дорога жизни функционировала до апреля 1942 г. при толщине льда всего в 10 см! Впоследствии физтеховские прогибографы успешно применялись при подготовке крупных войсковых операций 1943–1945 гг., включая частичное снятие и прорыв блокады, связанных с переброской войск и тяжелой техники по льду.

Еще одна беда, с которой столкнулся блокадный Ленинград, состояла в том, что из-за мутации микробов, вызывающих газовую гангрену, болезнь развивалась настолько стремительно, что раненых не успевали довести до госпиталя. А созданного англичанами перед войной пенициллина не было...

Задача создания собственного антибиотика была решена в ФТИ под руководством С.Е. Бреслера и М.В. Гликиной в 1941–1942 гг. Из штамма плесневых грибов была сделана культура, которая была быстро доведена до клинических испытаний и применения в самом большом эвакогоспитале города № 1170. Тысячи обреченных на смерть от газовой гангрены бойцов были спасены.

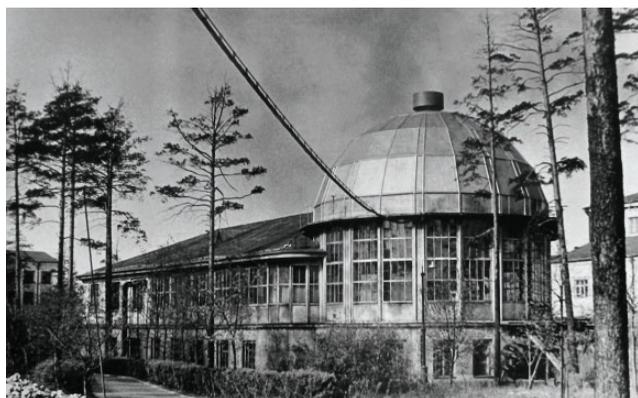
ВСЕ ДЛЯ ПОБЕДЫ!

Это трудно сейчас представить, но в голодающем Ленинграде научная жизнь не замирала ни на минуту! В нем в самом начале войны при горьком партии был создан комитет по быстрому внедрению разработок ученых и инженеров в интересах обороны города. В первые месяцы войны им руководил выдающийся физтеховец Н.Н. Семенов. В состав его входили также А.Ф. Иоффе и другие сотрудники ЛФТИ. За первые четыре месяца было внедрено около 850 разработок! Одна из них, например, состояла в том, что деревянные чердачные перекрытия были обработаны смесью, которая препятствовала возгоранию от немецких бомб-зажигалок. Для оперативной передачи информации от оператора РЛС в штаб ПВО использовалось телевидение, появившееся только перед войной. Масштабы этой работы были грандиозны. А.Ф. Иоффе вспоминал: «Никогда и нигде я не видел таких быстрых темпов доведения результатов научно-технических разработок до практики, как в Ленинграде в первые месяцы войны».

Работала на победу под руководством А.Ф. Иоффе и группа лабораторий ФТИ, эвакуированных перед самым началом блокады в Казань. Упрочнение танковой и авиации, приборы ночного вождения для танков, термоэлектрические источники тока для партизанских отрядов и диверсионных групп — вот лишь некоторые из решавшихся ими задач.

Гигантское напряжение воюющих сторон в ходе Второй мировой войны заставило ученых обратиться к их правительствам с предложениями о возможности создания ядерного оружия, идея которого буквально витала в воздухе уже накануне войны. Именно физтеховцы (Г.Н. Флеров, Н.Н. Семенов и А.Ф. Иоффе) выступили инициаторами советского атомного проекта, начавшегося с создания руководимой И.В. Курчатовым Лаборатории № 2. Кадровую основу этого проекта составили привлеченные им сотрудники ЛФТИ. Все пять трижды Героев Социалистического Труда, удостоенных этого звания за разработку советского ядерного и термоядерного оружия, в разные годы работали в ФТИ. Созданное в СССР оружие сдерживания на долгие годы определило паритет между ведущими ядерными державами и препятствовало разжиганию ядерного конфликта на планете.

А.Ф. ИОФФЕ ВСПОМИНАЛ: «НИКОГДА И НИГДЕ Я НЕ ВИДЕЛ ТАКИХ БЫСТРЫХ ТЕМПОВ ДОВЕДЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ДО ПРАКТИКИ, КАК В ЛЕНИНГРАДЕ В ПЕРВЫЕ МЕСЯЦЫ ВОЙНЫ»



Строительство циклотрона завершено 21 июня 1941 г. Циклотрон запущен в 1946 г. Неоднократно модернизировался. В 2015 г. получил статус уникальной научной установки.

ОБМАЗКА ДУНАЕВА

Сделать мощную бомбу — это полдела. Требовалась еще и доставить ее до цели. Американцы решили эту задачу, окружив нашу страну своими авиабазами. Ответить зеркально СССР не имел возможности и начал форсировать разработки в области ракетостроения. Вначале на основе немецких «Фау». Потом была сделана первая отечественная ракета среднего радиуса Р-5, затем — межконтинентальная баллистическая Р-7. Их испытания сопровождалось частыми авариями — разрушением головной части при входе в плотные слои атмосферы. На разбор после одной из таких аварий генеральный конструктор ОКБ-1 С.П. Королев пригласил Ю.А. Дунаева из ФТИ. Юрий Александрович попросил необходимые данные конструкции и ночь на размышления и анализ.

Утром назвал причину: графитовый теплозащитный кожух был слишком туго посажен на корпус ракеты и потому разрушился. С.П. Королев поверил ему и дал Физтеху задание разработать тепловую защиту головной части баллистических ракет и спускаемых космических аппаратов. Работа распалась на две части — аэрогазодинамическую задачу оптимизации формы головной части и материаловедческую — по разработке теплозащитного покрытия.

В течение нескольких месяцев был сооружен комплекс ударных труб для испытаний макетов головной части (он, кстати, до сих пор работает). Параллельно занялись разработкой покрытия, получившего название «обмазка Дунаева». Обмазка — потому что ее наносили вручную сотрудницы Физтеха прямо на космодроме. Кстати, ею был покрыт и спускаемый аппарат — шарообразная капсула, в которой Юрий Гагарин спустился на Землю.

ТЕХНОЛОГИЯ АЛФЕРОВА

Физтех наш, в отличие от многих других академических институтов, сильно технологизирован. Это позволяет, с одной стороны, делать разработки, интересные для наукоемких промышленных предприятий, с другой — производить объемы исследований, необходимые для самой передовой фундаментальной науки. Вот, скажем, прорыв Ж.И. Алферова в физике полупроводниковых гетероструктур. В чем была идея? В полупроводниковых приборах, как правило, работает так называемый *p-n*-переход. Он разграничивает две области полупроводника, в одной из которых носителями заряда выступают электроны, а в другой дырки — электронные вакансии с положительным зарядом.

В начале 60-х гг. XX в. *p-n*-переход получали путем диффузии легирующих примесей.

В ДЕКАБРЕ 1932 Г. А.Ф. ИОФФЕ СОБРАЛ ГРУППУ ПО АТОМНОМУ ЯДРУ. МЕНЕЕ ЧЕМ ЧЕРЕЗ ГОД БЫЛА ПРОВЕДЕНА КОНФЕРЕНЦИЯ, А ЧЕРЕЗ ЧЕТЫРЕ ГОДА В ХОДЕ ОТЧЕТА В АН СССР О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФТИ А.Ф. ИОФФЕ НАЗВАЛ ЯДЕРНУЮ ФИЗИКУ ВТОРЫМ ГЛАВНЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ ИНСТИТУТА ВСЛЕД ЗА ФИЗИКОЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Такая технология в принципе не могла обеспечить высокого качества перехода, необходимого для производства оптоэлектронных и СВЧ-полупроводниковых приборов, мешало их миниатюризации; поэтому, например, первые полупроводниковые лазеры работали только при низких температурах.

Прорыв сулили так называемые эпитаксиальные технологии роста гетероструктур, которыми одним из первых в мире занялся в своем секторе в ФТИ Ж.И. Алферов. В отличие от своих зарубежных коллег-конкурентов он не только смог создать совершенный гетеропереход, правильно подобрал систему твердых растворов $AlGaAs$, но и практически сразу же отказался от использования одиночной гетероструктуры в пользу двойной. В результате удалось получить первые в мире полупроводниковые лазеры, работающие при комнатной температуре, и обойти американцев буквально на две недели! Студентом четвертого курса, будучи на преддипломной практике в секторе Ж.И. Алферова в 1968 г., я увидел и навсегда запомнил подъем и воодушевление, которые царили среди сотрудников. Это и определило место будущей работы — Физтех.

Через 30 лет Ж.И. Алферов пригласил меня работать в дирекцию, а еще через пять лет передал руководство институтом.

ГЕНЫ ИОФФЕ

Тесно соприкасаясь с историей нашего Физтеха, ловлю себя на мысли, что А.Ф. Иоффе смог передать далеким преемникам свое видение развития института и тем самым продолжил в их делах. Это касается баланса фундаментальных и прикладных исследований, способа открытия новых направлений в институте, отношения к его научно-образовательной деятельности и поддержания демократической атмосферы научного поиска в коллективе физтеховских ученых.

Важнейшим элементом этой деятельности было развитие содружества Физтеха с Ленинградским политехническим институтом, начало которому положил созданный А.Ф. Иоффе в 1919 г. физико-механический факультет. В разных институтах, потом в университетах Ленинграда (Санкт-Петербурга) появились базовые кафедры ФТИ, затем — базовый физико-технический факультет

в Политехе. Был открыт Физико-технический лицей, затем Научно-образовательный центр ФТИ, который в 2004 г. превратился в Академический университет.

А опыт А.Ф. Иоффе по созданию в ФТИ новых направлений исследований? Конец 1932 г. — время великих открытий в ядерной физике. Абрам Федорович берет обязательство провести силами ФТИ первую российскую конференцию по физике атомного ядра с приглашением зарубежных ученых. Но конференция — это только средство, цель — открыть в Физтехе новое направление. А специалистов — всего несколько: Д.В. Скобельцын, Г.А. Гамов и Д.Д. Иваненко, который создал протонно-нейтронную модель ядра. И А.Ф. Иоффе собирает в декабре 1932 г. группу по атомному ядру. Себя делает руководителем, И.В. Курчатова — замом. Группа еженедельно проводит семинары по самым актуальным вопросам ядерной физики. Их участники, как губка, впитывают новые знания. Меньше чем через год конференция была проведена, и на самом высоком уровне. Абрам Федорович открывает в ФТИ лабораторию, а вскоре и отдел ядерной физики. Руководителем ядерно-физического направления ФТИ он назначает И.В. Курчатова. Именно под его руководством в ФТИ были открыты явления ядерной изомерии искусственно радиоактивных ядер и спонтанного деления ядер урана. А уже через четыре года в ходе своего отчета в АН СССР о деятельности ФТИ А.Ф. Иоффе называет ядерную физику вторым главным направлением института вслед за физикой твердого тела.

ЧЕЛОВЕК ПРОЕКТА

Брали пример с А.Ф. Иоффе, организуя в Физтехе новые направления, и другие его директора — в первую очередь, конечно же, Б.П. Константинов, директор ФТИ в 1957–1967 гг., при котором в ФТИ получили развитие направления управляемого термоядерного синтеза, астрофизики и голографии. Сегодня первое и второе из этих направлений стали важнейшими по значимости в институте.

Когда в 2004 г. «Норникель» объявил программу по актуальному направлению водородной энергетики с академией наук, стала понятна важность для развития ФТИ. Мы тоже начали с институтского семинара, проведения ежегодных конференций, которые продолжаются и по настоящее

время, привлечения ученых-химиков и молодых ученых. В ФТИ были открыты две химико-технологические лаборатории. Быстро прошли путь до крупных НИОКР, средства от которых использовали для создания приборно-технологической базы. Именно из этих работ выросли развиваемые сегодня в Физтехе направления: технология лазерного электродиспергирования для производства чрезвычайно эффективных катализаторов, технология портативных топливных элементов для питания бытовой электроники, технология литий-ионных аккумуляторов с большой удельной мощностью, которые востребованы сегодня в самых разных сферах. Кстати, технологии водородной энергетики позволяют сколь угодно долго сохранять накопленную энергию в виде водорода, что чрезвычайно важно для многих видов возобновляемой энергетики, например солнечной или ветровой.

Один из крупных НИОКР как раз состоял в разработке гибридной солнечно-ветровой энергоустановки с использованием технологий водородной энергетики. Когда потребляемая мощность была невелика, с помощью электролизера производился водород, который поступал на хранение, аккумулировался. Когда же потребность в электроэнергии возрастала, этот водород в топливном элементе преобразовывался в электрический ток.

ПРИРУЧИТЬ ЭНЕРГИЮ СВЕТИЛА

Постепенно мои интересы в плане развития института сместились в сторону крупных проектов по солнечной энергетике. Тому было несколько причин. В России имелись совершенно неприличные для нее мизерные мощности по солнечной энергетике, которые базировались на покупаемых за границей солнечных модулях. И это при том, что юг и восток нашей страны, где практически отсутствуют электрические сети, богаты солнцем. Его там не меньше, чем в Испании! Ну и, наконец, у ФТИ накопился богатый опыт по созданию и развитию отечественной солнечной энергетики комического базирования.

В 2010 г. ФТИ подготовил для «Роснано» проект строительства завода по самой эффективной с точки зрения КПД, так называемой концентраторной фотовольтаике на основе каскадных гетероструктурных солнечных элементов, в которых



Завод ООО «Хевел», модуль на 310 Вт для солнечных батарей

солнечный свет концентрировался с помощью линз Френеля. Проект стоил 5,5 млрд руб. И был принят. Через два года его заморозили по причине невозможности найти инвестора в России. Но без этого проекта едва ли был бы реализован следующий.

Он связан с созданием целой подотрасли отечественной энергетики — солнечной энергетики на основе кремниевых технологий в партнерстве с бизнес-группой «Ренова» и госкорпорацией «Роснано». Ключевая роль в нем отводилась строительству в Новочебоксарске в Чувашии завода «Хевел» (название по-чувашски означает «солнце»), крупнейшего в России производства кремниевых солнечных модулей по так называемой тонкопленочной технологии, а также созданию производств по проектированию и строительству солнечных электростанций и созданию Научно-технического центра (НТЦ) при ФТИ. Последний должен был обеспечить развитие промышленных технологий для завода «Хевел» и конкурентоспособность его продукции. ФТИ должен был обеспечить кадрами и этот центр, и завод.

К моменту пуска завода в 2015 г. технические специалисты для него были подготовлены нами в сотрудничестве с Санкт-Петербургским электротехническим университетом (ЛЭТИ). Штат же НТЦ был укомплектован физтеховскими учеными. Центр, который разместили в специально перестроенном здании нашего бывшего механосборочного цеха, был запущен в 2012 г. За два года он смог поднять эффективность промышленной технологии производства тонкопленочных модулей более чем на 20%.

А потом случилась катастрофа: вся кремниевая тонкопленочная солнечная энергетика мира

рухнула, и производившие ее заводы были закрыты из-за того, что рынок был наводнен дешевым кремнием китайского производства. Ее вытеснили солнечные элементы, изготавливаемые по гетероструктурной технологии на кремнии (английская аббревиатура — *HJT*), которые, хотя и потребляли большое количество кремния, но при этом были вдвое эффективнее тонкопленочных. В НТЦ была создана и доведена до уровня промышленной технология этих более эффективных солнечных элементов, которая при этом была адаптирована к основному оборудованию завода и не требовала его замены.

Со второй половины 2016 г. до начала 2017 г. завод был остановлен на модернизацию своих технологических линий. При этом сохранялось самое дорогое его ростовое оборудование стоимостью 16 млрд руб. Впоследствии в некоторых странах пытались повторить то же самое, но не смогли. После модернизации завода «Хевел» эффективность его солнечных элементов возросла вдвое и практически так же увеличилась общая мощность выпускаемых модулей, а продукция завода стала конкурентоспособной на мировом рынке. Всего с 2015 г. по всей стране ГК «Хевел» было спроектировано и сооружено 20 солнечных электростанций общей мощностью 174 МВт. Были также построены автономные энергокомплексы в отдаленных регионах России, что позволило поднять качество жизни людей. Отрадно сознавать, что положено начало отечественной солнечной энергетике и огромное солнечное богатство России начинает служить народу и экономике.

ФИЗИКА — НАУКАМ О ЖИЗНИ

Во всем мире происходит массовое перемещение интересов физиков в область наук о жизни: биологии и медицины. Почему? В отличие от, скажем, даже весьма сложных рукотворных объектов физики и технологий полупроводников объекты живой природы и ее венец — человек с его сознанием — несравненно сложнее, а результаты их исследований зачастую многократно ценнее для человечества. Наверное, есть еще и какая-то внутренняя тяга, которая заставила меня и моих коллег-физтеховцев в последние годы развивать направление, которое мы назвали «Физика — наукам о жизни».

Начали снова со «слова» — с организации одноименного семинара, который быстро вышел за рамки института и стал общегородским, объединив физиков, химиков, биологов, медиков и даже представителей сельхознаук. При этом физики и химики не пытались заменить биологов или медиков. Мы просто старались работать вместе, использовать в науках о жизни наши компетенции, касающиеся методологии и подходов, технологий

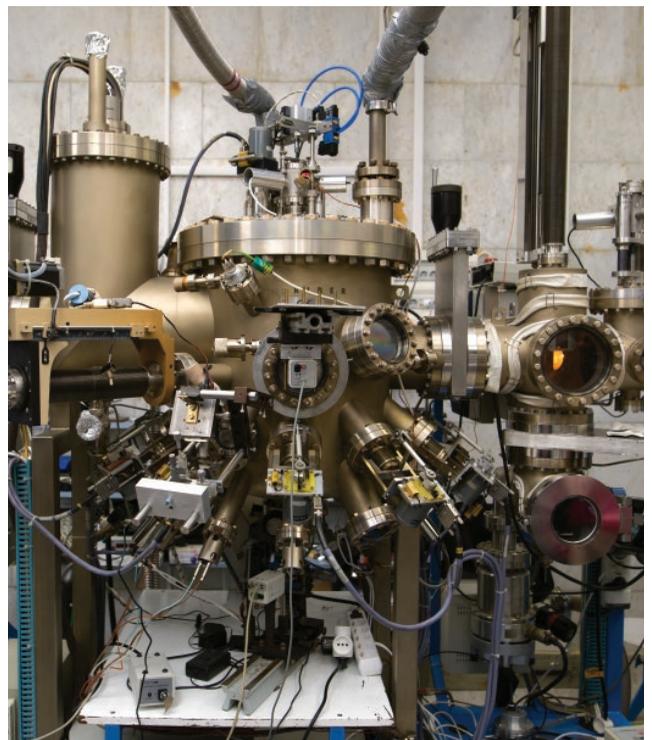
материалов, метаматериалов и структур, а также разработки медицинских приборов для диагностики и терапии различных заболеваний.

Несколько примеров. В медицине катастроф чрезвычайно важно оперативно оценить время жизни серьезно пострадавшего — минуты это или часы, — чтобы использовать правильную тактику оказания помощи. В содружестве с медиками наши ученые пытаются решить эту задачу на основе оригинальных методов исследования вариативности ритмов с помощью энтропийно-фрактального анализа данных стандартных измерений, в частности ЭКГ.

Другой пример состоит в использовании технологических компетенций в области физического материаловедения при разработке наноматериалов для тераностики. В термине «тераностика» объединены две функции этих материалов: терапия и диагностика, которые эффективно используются, например, в онкологии. Наконец, наши разработчики приборов на основе масс-спектрометрии и светоизлучающих приборов нашли свои ниши в диагностике и терапии ряда социально значимых заболеваний.

ТОКАМАКИ БОЛЬШИЕ И МАЛЫЕ

Еще один наш безусловный приоритет — физика горячей плазмы, управляемый термоядерный синтез. Здесь у Физтеха есть два основных перспективных направления работ.



Одна из диагностических систем сферического токамака

Первое связано с участием в международном проекте сооружения термоядерного реактора в Кадараше (Франция). Для реактора, который должен быть запущен в 2025 г., мы должны спроектировать, изготовить и поставить четыре оригинальные диагностические системы, которые будут в значительной степени определять устойчивость его работы. Эта работа заставила нас внедрить в ФТИ международную систему менеджмента и качества. Мы уже готовим кадры, молодых ученых, которые через несколько лет поедут в Кадараш монтировать и запускать наши диагностические системы, а также обеспечивать их функционирование в ходе работы реактора *ITER*. После накопления достаточного опыта работы *ITER* планируется спроектировать и запустить термоядерный реактор *DEMO* с положительным энергетическим выходом.

К важным для человечества практическим приложениям приведет также использование так называемых компактных токамаков. Еще в 1998 г. в ФТИ был запущен сферический токамак, который мы назвали «Глобус». В классе сферических токамаков он вошел в тройку лучших в мире. Как и его конкуренты, «Глобус» недавно прошел глубокую модернизацию, которая позволила улучшить его основные параметры и остаться одним из лучших в мире. Кстати, это был наш пусковой объект к столетию ФТИ. Учеными ФТИ подготовлен проект дальнейшего развития этого направления с целью демонстрации возможности создания непрерывно работающего нейтронного источника на основе компактных токамаков. В числе потенциальных применений такого источника — так называемые гибридные схемы безопасной ядерной энергетики, биология и медицина.

ПРОЕКТ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЫВКА

Проект НИОКР-центра стоимостью около 6 млрд руб. реализуется с 2013 г. благодаря поддержке президента России в интересах ускорения научно-технологического развития страны. С другой стороны, он позволит институту модернизировать основные направления его выхода в сферу НИОКР, прежде всего в основном направлении его лидерства — полупроводниковой оптоэлектроники и нанофотоники, и увеличить их ежегодный объем до 1 млрд руб. Речь идет о техническом перевооружении всех наших гетероструктурных технологий, создававшихся 20–30 лет назад под руководством Ж.И. Алферова и обеспечении их единой инфраструктурой. Последнее обстоятельство позволяет значительно удешевить проект по сравнению со случаем раздельного создания инфраструктуры под каждую технологию. Основу инфраструктуры составят 3,8 тыс. м² чистых

производственных помещений, в которых будет размещено современное технологическое оборудование. К настоящему времени основные строительные-монтажные работы завершены и начинается этап приобретения оборудования, который должен завершиться пуском в 2020 г.

ФИЗТЕХ XXI ВЕКА

Все мы понимаем, что фундамент и основные принципы нашего столетнего развития были заложены первым директором — А.Ф. Иоффе. Все последующие директора, развивая Физтех, также исходили из этих принципов и реалий своего времени.

Важнейший вопрос развития любого института состоит в обеспечении адекватной эволюции тематики исследований. С неизбежностью возникают новые направления, но при этом должны закрываться и некоторые из старых — как минимум для того, чтобы не погрязнуть в мелкотемье.

В Физтехе XX в. эта проблема решалась в значительной степени благодаря созданию им большого семейства себе подобных организаций из лабораторий и филиалов в разных городах страны. При этом в создаваемые институты перемещались целком многие тематики, зачастую весьма перспективные.

В тематике сегодняшнего Физтеха, в штате которого около 1 тыс. научных сотрудников, сохраняются три главных направления, которые и определяют его лидерство. Прежде всего, это физика конденсированных сред (включая физику и технологии полупроводников и полупроводниковых гетероструктур, полупроводниковые оптоэлектронику, нанофотонику, силовую электронику и солнечную энергетику). Второе направление связано с термоядерными исследованиями на токамаках. Третье — космические исследования и астрофизика высоких энергий.

Но в первую очередь Физтех — это, конечно же, его ученые и сотрудники. Не просто наследники предыдущих поколений физтеховцев, тех, кто поднимал довоенную промышленность, укрепил оборонную мощь страны, приближал день победы, создавал ядерный щит, обеспечивал прорыв в космос, но и продолжатели их служения науке и стране.

Для большинства из нас Физтех — дом родной, в котором и проходит основная жизнь. Хочется, чтобы эта жизнь радовала, вселяла оптимизм. К счастью, от нас — физтеховцев от рядового сотрудника до директора — это в значительной степени и зависит, правда, от директора зависит все же больше. ■

Подготовила Наталия Лескова



1



2



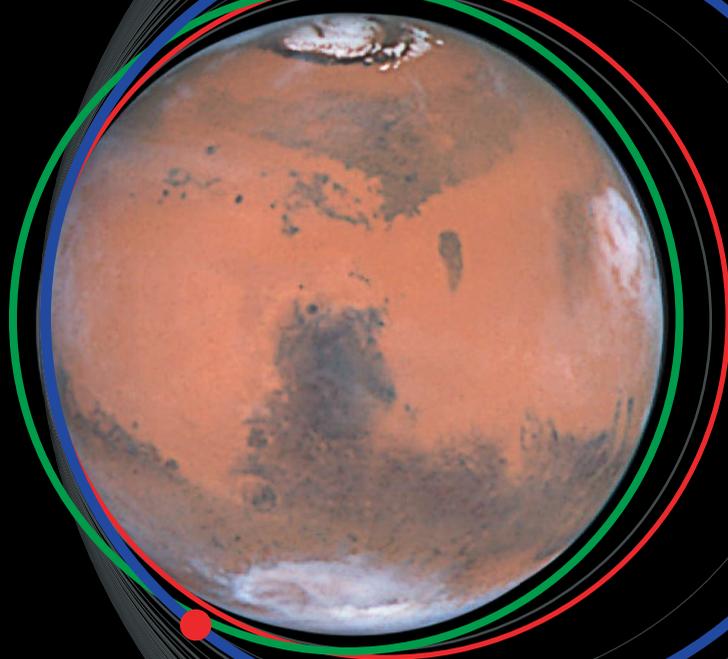
3

- 1** Главное здание ФТИ в наше время
- 2** Сферический токамак «Глобус-М»
- 3** Модуль солнечной батареи
- 4** Фрагмент производства солнечных батарей в Научно-техническом центре ФТИ



4

КОСМОС



Атмосферное торможение (*aerobraking*) — техника космического полета, когда движущийся по орбите аппарат раз за разом задевает верхние слои атмосферы планеты и переходит на более низкую орбиту

луна, марс, венера, галея со всеми остановками

(Окончание.
Начало — в № 11.)

Мы продолжаем разговор с научным руководителем Института космических исследований РАН академиком **Львом Матвеевичем Зеленым** об очень непростых, но заманчивых перспективах российского научного космоса.

«Давно нас ожидают
Далекie планеты,
Холодные планеты,
Безмолвные поля...»

Владимир Войнович

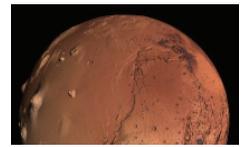


Академик Л.М. Зеленый

— Лев Матвеевич, мы остановились на том, что человечеству пора вернуться на Луну. Но на этом, если верить Стратегии развития космической деятельности России до 2030 года и на дальнейшую перспективу, мы останавливаться не собираемся. Там четко прописано: «После 2030 года <...> создание условий для осуществления пилотируемого полета на Марс». Так мы летим на Красную планету?

— Давайте вернемся к строчкам из знаменитой песни Владимира Войновича «Заправлены в планшеты космические карты...». Замечательный создатель солдата Ивана Чонкина ушел из жизни этим летом. Но песня написана в 1962 г., как раз тогда начали готовиться первые советские экспедиции к далекому и холодному Марсу. Не все знают, что самым первым на Красную планету мягко сел в 1971 г. наш аппарат «Марс-3». Проработал он, правда, совсем недолго. Дальше наши основные космические успехи были связаны с Луной и Венерой, а с Марсом как-то не везло. Две последние российские экспедиции к Марсу — «Марс-96» (1996 г.) и «Фобос-Грунт» (2011 г.) — закончились плачевно, не на Марсе, а в Тихом океане. После «Фобос-Грунта» было понятно, что следующую отечественную марсианскую экспедицию мы организуем еще очень не скоро. В это же время наши европейские партнеры совместно с американцами начали готовить программу *EchoMars*, посвященную поискам следов прошлой, а может быть, и существующей сейчас примитивной жизни.

не цвести на марсе яблоням



— Мы к ним присоединились?

— Для нас там места не было. Но неожиданно американское космическое агентство NASA, несколько обидев европейское агентство, передумало в нем участвовать, и европейцы обратились в наш «Роскосмос».

— Они решили сделать с нами совместный аппарат?

— Нет, аппарат они планировали запустить свой, им нужно было средство выведения — наша ракета-носитель «Протон-М». Тогдашний руководитель «Роскосмоса» В.А. Поповкин согласился, но поставил условие, что вклад России должен быть не только транспортный, но и научный. В результате в марте 2016 г. первая экспедиция *EchoMars* очень четко и вовремя успешно стартовала с космодрома Байконур. Отправленный к Марсу аппарат Европейского космического агентства назывался *Trace Gas Orbiter (TGO)* — «Орбитальный аппарат для исследования характеристических газов». В первую очередь всех интересовали метан и водяной пар. Осенью 2016 г. TGO успешно вышел на расчетную околомарсианскую траекторию, затем много месяцев снижался, чтобы перейти на низкую рабочую орбиту и в марте 2018 г. начать проводить штатные измерения.

На этом аппарате четыре прибора — два российских, два европейских, все прекрасно работают. Недавно были представлены первые результаты работы наших приборов, один из которых занимается исследованием химии атмосферы, а другой — мониторингом нейтронных потоков от Марса, что поможет построить карты распределения водяного льда под поверхностью.

Сейчас идет очень серьезная подготовка ко второму этапу проекта, *EchoMars-2*, который запланирован на 2020 г. НПО им. С.А. Лавочкина делает для этой экспедиции большую посадочную платформу. Специалисты ЕКА работают над марсоходом *Pasteur*. Плюс там опять будет российский носитель. Впервые наша космическая промышленность так тесно интегрируется с зарубежной.

— И на самом аппарате тоже будут наши приборы?

— Конечно, платформа несет на себе большой комплекс научных приборов, в основном российских, большей частью изготовленных в Институте космических исследований РАН. Есть несколько экспериментов, подготовленных другими институтами, и два — европейскими коллегами.

— Европейских только два? И все?

— У ЕКА там другая главная задача. Наша платформа доставит на поверхность Марса европейский ровер (марсоход) *Pasteur*, на котором установлены в основном уже европейские приборы и два российских. Вот насколько все интегрировано. Если все с божьей помощью пойдет хорошо (после прошлых аварий мы стали теперь очень суеверны), полет к Марсу займет примерно девять месяцев. После посадки ровер сползет с платформы и отправится в самостоятельное путешествие. Платформа будет работать отдельно, ровер — отдельно. Но, конечно, результаты будут координироваться. Очень важно, что у ровера есть бурильная установка, которая впервые за всю историю исследований Марса сможет исследовать подповерхностные слои грунта до глубины почти 2 м.

— **Не очень глубокий колодец.**

— Достаточный. Ведь эта глубина выбрана неслучайно. Слабенькая атмосфера Марса и почти отсутствующее у него магнитное поле практически не могут ослабить потоки энергичных частиц космических лучей, стерилизующие верхний слой марсианского грунта до глубин 1–1,5 м. Поэтому, чтобы можно было надеяться увидеть что-то интересное, надо достичь более глубоких слоев. Другие приборы научного комплекса на платформе будут исследовать химию атмосферы Марса, пыль, сейсмоку, плазменные явления и многие другие физические условия на поверхности. Так что, несмотря на все трудности, российские ученые успешно изучали и, уверен, будут и дальше изучать нашего красноватого соседа.

— **Но я имел в виду не автоматические миссии, а пилотируемые.**

— Что касается полета человека, давайте сначала вернем человека на Луну. С Марсом все проблемы полета на Луну удешевятся. Вы, наверное, смотрели голливудский фильм «Марсианин»?

— **Довелось. Ляпов там, конечно, немало.**

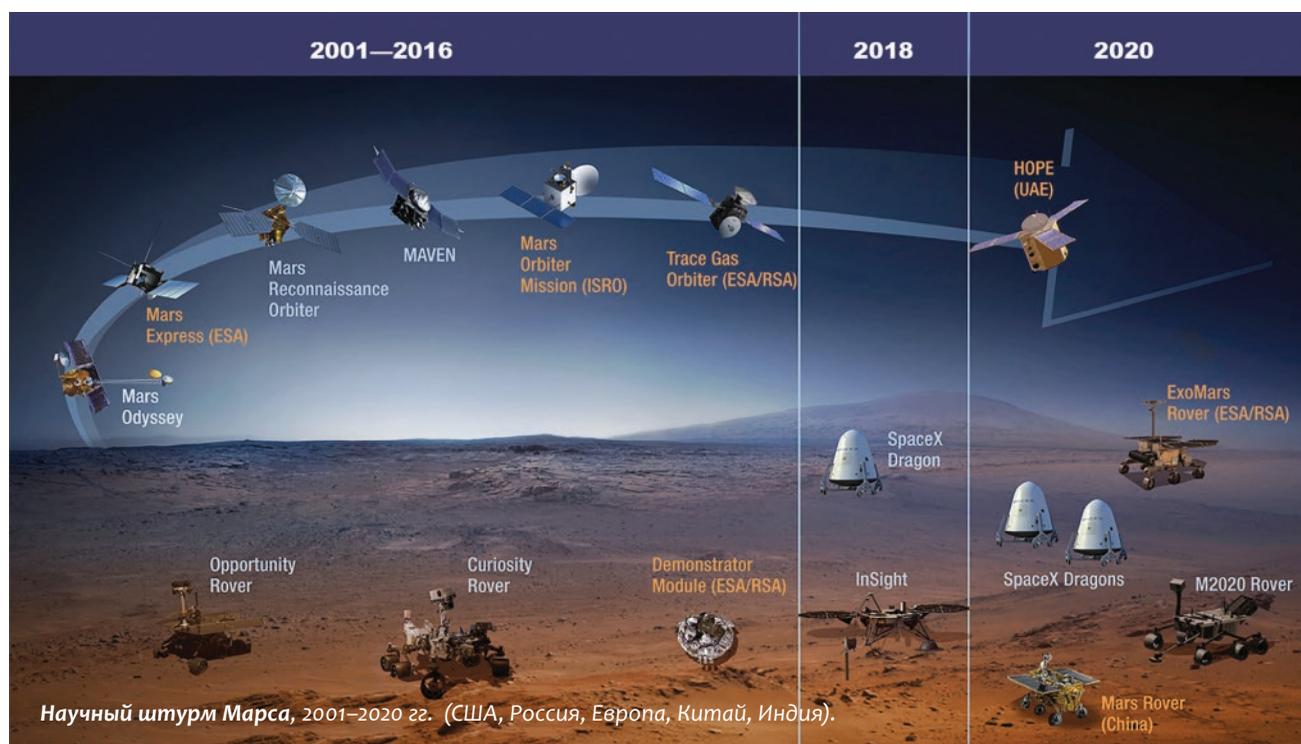
— К счастью, не так много, как могло быть, потому что консультантом был тот самый Джим Грин, о котором я вам уже говорил, мой американский однофамилец и руководитель планетного направления NASA.

— **Но про жесткую космическую радиацию в фильме все забыли...**

— Правильно, потому что если бы не забыли, то фильм бы вообще не получился. Там Мэтт Дэймон так легко и бегаёт, и катаётся на разных открытых тележках по поверхности, да еще в легоньком скафандре, скорее, просто дыхательном аппарате, что не можешь не начать считать, успел ли он уже схватить смертельную дозу, оказавшись без укрытия. Таких занимательных прогулок, к сожалению, на Марсе никогда не будет. Даже если предположить, что человек туда долетит, все равно, как и на Луне, возникнет проблема с убежищем.

— **Но ведь на Марсе есть и атмосфера, и магнитное поле...**

— Есть, но, как я говорил, очень слабенькие. Поэтому пребывание человека на Марсе всегда будет связано с серьезными опасностями, так что давайте научимся сначала жить на Луне (здесь хотя бы нет проблемы выживания во время



многomesячного перелета), и тогда уже можно будет говорить о Марсе. Но не раньше. Кстати, о Марсе всегда мечтал С.П. Королев, у него был специальный проект, посвященный марсианскому полету.

— Он не знал про жесткую радиацию?

— Знал, но планировал защищать от нее корабль баками с водой. Сейчас мы понимаем, что и это не спасет. А чем защищаться на обратном пути? Поэтому я считаю, что пилотируемый полет на Марс пока нереален. Я бы об этом — как о близких и даже среднесрочных планах — пока говорить не стал. Есть люди, такие как Илон Маск, которые об этом говорят, но я считаю, что это больше реклама. К сожалению, как я уже говорил, космос враждебен, и чем дальше мы летаем, тем лучше это понимаем. Да и незачем пока человеку лично лететь на Марс. Разве что из спортивного интереса — как опуститься в Марианскую впадину, подняться на Джомолунгму, так же покорить и Марс.

— Вот уже больше 200 лет народ интересуется одним вопросом. Развейте сомнения, скажите, есть ли жизнь на Марсе? Не обязательно разумная, хоть какая-то, на уровне бактерий или одноклеточных растений...

— Ну есть, конечно! Вы разве «Аэлиту» не читали? Помните, как пел Михаил Анчаров:

«Вот разлиты кактусной пол-литра,
Вот на Марс уносится изба,
Мужики, ищите Аэлиту:
Аэлита — лучшая из ба!»

А если серьезно, в прошлом году в планетарии я треть своей лекции посвятил эволюции представлений о Марсе в публичном сознании. Началось все со статьи Джованни Вирджинию Скиапарелли (кстати, члена Петербургской академии наук), который в 1877 г. во время великого противостояния «разглядел» и даже зарисовал марсианские каналы, которых на самом деле нет. Он выпустил джинна из бутылки, потому что дальше появились «Война миров» Герберта Уэллса, книги Эдгара Берроуза, «Марсианские хроники» Рэя Брэдбери, та же

«Аэлита» Алексея Толстого... И Марс в XX в. окутал такой романтический ореол, что он стал для землян больше, чем просто одной из планет Солнечной системы. Но потом, в середине 1970-х гг., этот ореол начал рассеиваться, поиски следов жизни на американском посадочном зонде *Viking* не дали результатов и Марс начали рассматривать как холодную безжизненную пустыню.

— Каналы тоже не нашли?

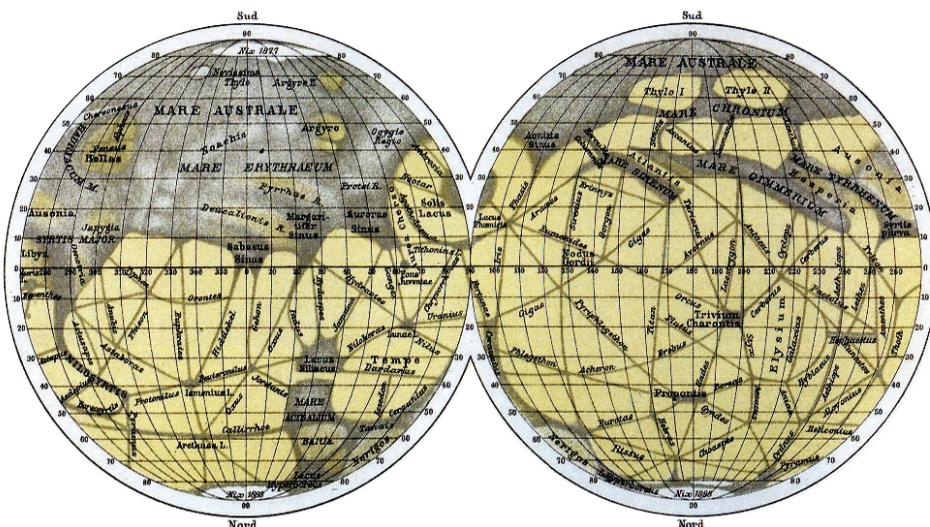
— С каналами все еще раньше выяснили, это оказалось большей частью оптическая иллюзия, и меньшей — натуральные природные структуры. Замечательный астрофизик и популяризатор науки Карл Саган, который сам отдал немало сил поискам «марсиан», потом писал: «Марсианские каналы представляются следствием какого-то странного сбоя в совместной работе рук, глаз и мозга, проявляющегося у людей в сложных условиях наблюдения <...>. Иногда говорят, что правильная форма каналов — безошибочный признак их разумного происхождения. Безусловно, это верно. Единственный нерешенный вопрос — с какой стороны телескопа находился этот разум».

Но адепты марсианской жизни (к которым и я принадлежу) на этом не остановились. Они заявили, что просто чувствительность приборов на аппаратах *Viking* была недостаточной и вопрос биологической жизни на Марсе еще не закрыт. В начале уже этого века на Марсе нашли воду. Тут тоже отличился наш прибор, установленный на американском аппарате *Mars Odyssey*. Нашли достаточно много воды под поверхностью Марса и даже иногда, несмотря на сверхантарктические морозы, следы жидкой воды на поверхности (тут помогает очень низкое атмосферное давление). Еще позже, с помощью наземных наблюдений и измерений на европейском космическом аппарате *Mars Express* (в обоих открытиях важную роль сыграли и российские ученые), были обнаружены крошечные, но отчетливо зафиксированные следы метана!

— Метан — уже органика.



Карта Марса Джованни Вирджинию Скиапарелли (1835–1910). Итальянский астроном предложил названия, на которых основывается современная система названий деталей поверхности Марса.



— Вокруг этого как раз и возникла идея проекта *ExoMars*. Как мы уже говорили, миссия *Trace Gas Orbiter* была задумана именно для систематического поиска следов метана.

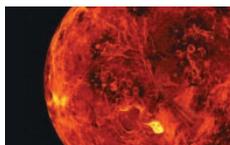
— **Нашли?**

— Пока нет, но это не удивительно. Метан вряд ли постоянно понемногу просачивается через верхние слои грунта. На Марсе предположительно идут метановые выбросы через какие-то разломы, а потом метан постепенно (за сотни лет) разлагается солнечным ультрафиолетом. Неясно пока, каково время его конвективной диффузии в динамичной марсианской атмосфере. Конечно, уверенное, статистически неоспоримое подтверждение хотя бы локальных метановых облачков может стать реальной сенсацией. Ибо наиболее вероятно, что это продукт какой-то примитивной жизни.

— **Может, это просто вулканические выбросы?**

— Нет, все другие способы его появления мы уже перебрали, там вряд ли что-то еще можно придумать. Есть более сложный вопрос о стоках метана. Так что осталось органическое происхождение. Какое-то гниение или брожение того, о чем вы говорили, — микробов или растений. Но, повторяю, измерения на *ExoMars* начались только в апреле этого года и вся основная работа еще впереди.

ЖИВОЙ кто есть?



— **В советское время мы не меньше внимания уделяли и другой нашей соседке — Венере. И там тоже романтической фантастики было немало. Одна из первых книг Стругацких, «Страна багровых туч», фильм «Планета бурь», который даже в США шел с огромным успехом...**

— Я их хорошо помню. Замечательная книга, прекрасный фильм, оба произведения увлекательные и наивные. Герои пробиваются через венерианские джунгли, тонут в венерианском болоте... А потом начались исследования Венеры. Начал их С.П. Королев, но поскольку он не мог удержать в руках одновременно и пилотируемую программу, и лунную, и планетную, он передал последнюю Г.Н. Бабакину. Это был замечательный человек, один из великой плеяды королевского Совета главных конструкторов, руководитель знаменитой космической фирмы, которая теперь называется НПО им. С.А. Лавочкина.

Но начинал все С.П. Королев. Когда лунная программа только начиналась и никто не знал, к чему готовиться, твердая у Луны поверхность или рыхлая, пылевая, в которой аппарат может утонуть,

Сергей Павлович взял лист бумаги, написал: «Луна твердая!» и отдал проектантам. И все почти угадал. Когда проектировались венерианские аппараты, об этой планете, укутанной толстым облачным слоем, тоже знали очень мало, и, кажется, никто, даже С.П. Королев, тогда не мог догадаться, какое чудовищное давление на ее поверхности — почти сотня земных атмосфер. Поэтому первые, недостаточно прочные аппараты до ее поверхности просто не долетали, их, как орехи, раздавливало по дороге. Успешно посадить модуль удалось только с седьмой попытки. «Венера-7» в 1970 г. впервые достигла поверхности, «Венера-9» и «Венера-10» в 1975 г. передали на Землю первые фотографии поверхности планеты, измерили давление на поверхности, достигающее почти 100 атмосфер, и температуру, достигающую 500° С. «Венеры» под номерами 13 и 14 в 1982 г. проанализировали состав грунта, передали звук и цветные фотографии. «Венера-15» и «Венера-16» в 1983 г. сделали съемку поверхности с разрешением 1–2 км. Потом, в 1984–1985 гг., были две интересные миссии «Вега». Они запустили в атмосферу Венеры исследовательские аэростаты и дальше отправились к комете Галлея, отсюда и название аппаратов: «Венера — Галлея». Так что сейчас благодаря этим советским аппаратам про Венеру мы знаем достаточно много.

— **А после 1985 г.? Времени-то немало прошло...**

— После про Венеру как-то забыли, были лишь довольно интересные американские миссии *Magellan* (радиолокационная съемка планеты) и *Pioneer Venus* (плазменные взаимодействия). Здесь стоит вспомнить и замечательные работы по радиолокации Венеры, которые еще раньше выполнили профессор О.Н. Ржига, академик В.А. Котельников и их сотрудники. Но, в общем, ничего сенсационного обнаружено не было. В 2005 г. с помощью нашей ракетной связки «Союз» — «Фрегат» к Венере стартовал очень удачный европейский аппарат *Venus Express*, на котором стояло и несколько российских приборов. Экспедиция проработала больше десяти лет и сильно расширила наши знания о планете и ее плазменном окружении. В частности, мы вместе с моим тогдашним аспирантом И.Ю. Васью написали статью о венерианском магнитном хвосте, который неожиданно оказался похож на хвост земной магнитосферы, только вывернутый наизнанку.

Но вы правы, для почти 30 лет это совсем немного. Венера незаслуженно ушла в тень, и мы все это почувствовали. И вот несколько лет назад во время одной из встреч тот же Джим Грин предложил обсудить совместный полет к Венере. Потому что в 2000-е гг. как-то получилось, что все космические агентства сконцентрировались на Марсе, а ведь Венера для нас — интереснейший и очень назидательный пример того, что может сделать

с обычной планетой (раньше ее любили называть сестрой Земли) самораскачивающийся парниковый эффект.

— **Земля может тоже превратиться в нечто венероподобное?**

— У нас есть три атмосферных сценария — Земля, Марс и Венера. У маленького Марса (по сравнению с Землей и Венерой) небольшая гравитация и почти исчезнувшее магнитное поле, и из-за этого его атмосфера постоянно «обдирается» потоками солнечного ветра. За миллиарды лет существования планеты почти вся атмосфера улетучилась. Осталась совсем жиденькая, почти, как мы говорили выше, не защищающая от космических лучей. У Венеры, наоборот, была плотная атмосфера, были океаны, планета стала греться, океан испарялся, а водяной пар — это тоже эффективный парниковый газ. И началась цепная реакция: чем теплее было, тем больше океан испарялся, тем больше было пара в атмосфере, тем выше поднималась температура. В итоге вся вода океана перешла в атмосферу и Венера оказалась укутанной плотным одеялом, а поверхность раскалилась до 500° С. Вместо тропических джунглей получилась своеобразная имитация дантовского ада.

— **А Венера атмосферу не теряет?**

— Теряет, но очень медленно, у нее ведь сильная — почти такая же, как у Земли, — гравитация, и свою атмосферу она крепко держит при себе. Поэтому там парниковый эффект проходит в самой экстремальной версии. Некоторые ученые считают, что такое же может произойти и на Земле. Поэтому Венеру необходимо исследовать.

Вместе с учеными NASA мы начали обсуждать совместную миссию в самом начале 2014 г. Договорились о сотрудничестве, прошла первая встреча. Но потом наступил март 2014 г., и вскоре наши американские коллеги сказали, что должны

остановить эти совместные обсуждения. Но в 2015 г. в США отправилась делегация РАН, возглавляемая президентом академии В.Е. Фортовым. Я тоже был в ее составе. Там мы в неформальной обстановке встретились с научным консультантом Барака Обамы доктором Джоном Холдреном, и я рассказал ему про Венеру, почему она так важна, посетовал на наш несостоявшийся проект. Я благополучно забыл про этот разговор, и вдруг через две недели позвонили наши коллеги из NASA и, скрывая удивление, предложили возобновить наше сотрудничество по совместной венерианской экспедиции. Я долго не решался рассказать им, в чем же была интрига. Но после этого работа в нашей Объединенной научной рабочей группе (*Joint Science Definition Team, JSDT*) быстро пошла. Мы теперь встречаемся два раза в год и готовим подробный доклад руководству NASA и «Роскосмоса» о научных задачах и возможных путях реализации этого совместного проекта. Конечно, политический климат для таких работ не лучший, но мы стараемся делать, что возможно. Миссия готовится. Это и есть научная дипломатия в действии. Здорово, что политики хотя бы иногда слышат голоса ученых.

— **Но там-то вы уже не будете искать жизнь?**

— А вот тут вы ошибаетесь. У нас есть небольшая группа ученых, которые считают, что нашли на Венере жизнь. Ее возглавляет профессор Л.В. Ксанфомалити. Он тщательно изучил все изображения окружающего ландшафта, сделанные нашими посадочными станциями, а их сотни, и нашел, что довольно много таких, на которых в серии последовательных фото некоторые объекты как-то двигаются, иногда появляются, а потом исчезают. Там, например, есть объект, похожий на скорпиона, который появляется на фотографиях только через 90 минут после начала съемок, а еще через 26 минут опять пропадает, остается



Вверху: первое изображение поверхности Венеры, «Венера-9, 10»; внизу: цветные панорамы поверхности, «Венера-13, 14»



Автоматическая межпланетная станция ВЕГА. Было изготовлено два идентичных аппарата для изучения Венеры и кометы Галлея.

лишь канавка-след. Нашел он там и некие подобию растений и даже грибов.

— Но разве в таком, как вы сами сказали, маленьком аду, при температуре в полтысячи градусов и давлении 100 атмосфер может существовать какая-то жизнь?

— А почему нет? Разве есть такой закон, что жизнь обязательно должна быть белковой?

— Ну, мы же помним определение Фридриха Энгельса, что «жизнь есть способ существования белковых тел»...

— Оставим его на совести Энгельса. В то время и подумать было трудно о чем-то ином. Но наше поколение, воспитанное на книгах Лема, Брэдбери и братьев Стругацких, думаю, должно быть готово взглянуть на эту проблему шире. Не претендуя на лавры Энгельса, я бы сказал, что с точки зрения термодинамики жизнь — давайте для простоты говорить о ее примитивных, простейших проявлениях — есть высшая форма самоорганизации материи в неравновесных системах. И, в принципе, самоорганизация материи на самом деле может происходить в самых разных формах, веществах и условиях. Конечно, гипотезу Л.В. Ксанфомалити многие приняли в штыки, но и тех, кто его поддержал, тоже немало. Руководитель Института катализа СО РАН академик В.Н. Пармон, когда услышал про работы Леонида Васильевича, сказал, что у них есть установки, в которых условия схожи с венерианскими. И там тоже наблюдаются процессы, напоминающие самоорганизацию, неожиданные при таких температурах.

— Все равно, мне идея кажется очень спорной.

— Идея, несомненно, очень спорная, но для науки спор — нормальное состояние. Мне кажется, такие вещи должны печататься и обсуждаться. Помните, как говорил Нильс Бор? «Эта теория недостаточно безумна, чтобы быть верной». Мне в работе Л.В. Ксанфомалити сначала больше всего понравилось, что за неимением собственных

отечественных данных он обратился к подзабытым хранящимся в архивах изображениям, полученным десятилетия назад советскими «Венерами». Он не ждал милостей от нашего космического агентства, а нашел там что-то неожиданное. Он опубликовал на эту тему несколько статей в журнале «Астрономический вестник», и каждому найденному зернышку дал свое имя, у него там есть и «росток», и «цветок», и «ящерица», и «жертва», в общем, вся флора и фауна. Может быть, здесь и есть какой-то перебор, обычный для увлеченного человека, но даже небольшая вероятность успеха не позволяет отмахнуться от этой проблемы.

— Подтвердить его предположение может только новая экспедиция.

— Так вот это и будет одной из задач нашей совместной с американцами экспедиции. Ее рабочее название — «Венера-Д».

— Почему сразу Д? А где же А, Б, В и Г?

— Д — не индекс, Д — это «долгоживущая». Это будет именно долгоживущий аппарат на поверхности Венеры, который проведет значительно более качественную съемку, сделает более подробный анализ вещества. Американцы больше внимания уделяют атмосфере, они предложили очень интересный аппарат VAMP — «Венерианская атмосферная маневренная платформа». Это такой венерианский беспилотник с большим размахом крыльев, который будет парить на высоте 50–60 км и собирать данные о венерианских кислотных облаках и воздушных потоках. У Венеры есть интересное ротационное свойство: ее атмосфера вращается очень быстро, а сама планета — медленно. Там есть много интересного и для физиков, и для климатологов, а теперь еще и для ученых, занимающихся поиском квазижизней.

— Но колонизировать ее мы не собираемся?

— Нет, Венера — не объект для освоения, да и в нашей Солнечной системе почти и нет.

Летим комета в небе чистом



— Но и Венерой планы нашей космической стратегии до 2030 г. не ограничиваются. Там еще написано, что мы полетим к астероидам и кометам. Они-то нам зачем нужны?

— Там есть две темы. Во-первых, среди астероидов есть такие, в структуре которых колоссальная доля редких металлов: молибдена, платины, кобальта и т.д. У нас есть каталог таких железистых небесных тел.

— Железных?

— Не железных, а именно железистых. Нам эти редкие металлы нужны, но добывать их на Земле

очень дорого. И есть проекты, по которым можно такой астероид отбуксировать на околоземную орбиту и уже тут разрабатывать. Небольшой астероид диаметром в 1,5 км содержит в себе различных металлов, в том числе драгоценных, на \$20 трлн. Самый крупный известный металлический астероид (16) Психея содержит в тысячи раз больше железо-никелевой руды, чем земная кора. Его запаса хватило бы человечеству на несколько миллионов лет. Так что эта идея значительно более реальная и продуктивная, чем возить с Луны гелий-3.

Вторая тема — изучение астероидно-кометной опасности. Тут главное — составить подробный каталог опасных небесных тел. Этим активно занимаются в Институте астрономии РАН.

— От астероида можно защититься?

— Я в этом вопросе фаталист, потому что пока реальных методов защиты не вижу. Даже если мы зафиксируем движение крупного астероида к Земле, мы можем достаточно точно рассчитать его траекторию, и что дальше?

— Ну, например, мы можем его уничтожить ядерным взрывом...

— Уничтожить полностью, конечно, не можем, максимум — расколоть на несколько частей. Вы правда думаете, что несколько радиоактивных астероидов для нас лучше, чем один? С другой стороны, как бы мы ни ругали астероиды и кометы, как бы их ни боялись, следует признать, что именно столкновение их с нашей планетой дало толчок к происхождению жизни.

— Какая связь?

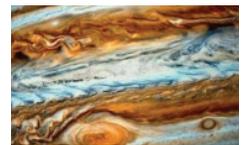
— Они приносили воду на Протоземлю, это одна из главных теорий появления воды на нашей планете. Считается, что по меньшей мере на две трети

она кометного происхождения. Далее, астероиды двигали эволюцию. Именно удар астероида 60 млн лет назад погубил динозавров и дал возможность человечеству развиваться.

— То есть астероиды — благо?

— У природы нет зла или блага, у природы есть данность. Как в песне Э.А. Рязанова «У природы нет плохой погоды...». К ней надо относиться философски. Есть и теория панспермии, по которой жизнь на нашу планету принесена из космоса астероидами и кометами. Вот мы собираемся исследовать полярные области Луны, где под поверхностью найдены относительно существенные запасы водяного льда (мы говорили об этом в прошлый раз). Скорее всего, эта вода также принесена на Луну кометами. А в кометах много органики. Недавняя знаменитая экспедиция *Rosetta* к комете Чурюмова — Герасименко или наши «Веги», пролетевшие вблизи кометы Галлея, показали, что там очень много сложных органических молекул. То есть если воду на Землю занесли кометы, в ней уже могли содержаться какие-то органические вещества, которые вполне могли стать зародышами жизни. Исследуя лунную воду, мы одновременно будем исследовать тысячи комет, которые за миллиарды лет планетной эволюции «натаскали» эту воду к Луне. И там мы вполне можем столкнуться и с вещами, очень интересными с точки зрения теории происхождения жизни.

**дорогие
спутники
МОУ**



— Земля, Луна, Марс, Венера, астероиды... А какие еще объекты Солнечной системы представляют для нас серьезный интерес?

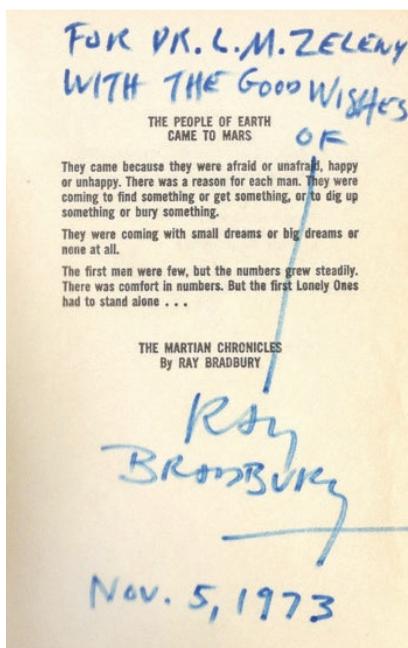
— Все планеты интересны. Знаете, если не у каждого, то у большинства ученых, связанных с космосом, есть своя любимая планета. В США каждый такой ураноман, венероман, юпитероман и т.д. ежегодно подает заявки в NASA о том, что туда надо послать экспедицию. Обычно это качественные, вполне серьезные предложения. Меня всегда интересовала Венера. Вместе с О.Л. Вайсбергом мы уже довольно давно написали несколько статей о так называемой аккреционной модели магнитосферы Венеры, на которые до сих пор часто ссылаются. Но сейчас, в связи с поисками жизни, особый интерес вызывают все-таки Марс и второй галилеевский спутник Юпитера — Европа.

— Но вы только что сказали, что жизнь может быть найдена не только на Красной планете, но и на Голубой...

— Поиски жизни или следов прошлой жизни — отдельная тема, она называется *habitability*, можно



Дарственная надпись Рэя Брэдбери Л.М. Зеленому на книгу «Марсианские хроники»



перевести как «обитаемость». Сегодня мы полагаем, что для *habitability* необходимы некоторые условия — должна быть жидкая вода, должны быть какие-то разумные перепады температур и т.д. По этим параметрам в Солнечной системе «пояс жизни» начинается где-то от Венеры и дотягивается до Марса, немного его цепляя. Земля находится в середине. Но есть еще один очень интересный «пояс жизни» в окрестностях Юпитера. Его спутники представляют огромный интерес, в том числе и в плане *habitability*. Но они находятся в таких жутких радиационных поясах Юпитера, что к ним даже автоматом долететь сложно. Там радиация в сотни, а то и в тысячи раз сильнее, чем та, с которой мы сталкиваемся при полете к Луне. Но сами объекты очень интересные. Самый интересный — шестой спутник Юпитера (второй, открытый Галилеем) Европа. Это планета-океан, размером чуть меньше Луны. Нам про нее довольно много известно, она покрыта толстой коркой льда, под которой десятикилометровая толща жидкой соленой воды. Мы в ИКИ совместно с зарубежными коллегами разрабатывали такую концепцию — *Europa Lander*. Это космический аппарат, который планировалось посадить на лед Европы, чтобы он попытался найти там органические вещества, которые просочились из океана. Но когда мы оценили реальные возможности нашей промышленности, поняли, что не сможем сделать прибор, который работал бы в радиационных поясах Юпитера. Такой электроники у нас нет и в обозримом будущем не будет. И нам ее никто не продаст.

— **Единственный способ — забыть про полупроводники и лететь на ламповой электронике.**

— И тогда мы на выходе получим огромный, тяжелый и малофункциональный агрегат. Десять лет мы этим проектом занимались, но потом отошли и переключились на Венеру.

— **Но американцы проект не забросили, они им занимаются?**

— Они сначала тоже его заморозили. И не потому, что с электроникой сложности, просто поняли, что толстый ледяной панцирь проковырять будет очень непросто. Как вещества из океана могут достичь поверхности и попасть в околоевропейское пространство, было неясно, а значит, целесообразность такой миссии оказалась под большим вопросом. Но потом «Хаббл» увидел над Европой тонкие газовые струи. Оказывается, лед там местами трескается и из-под него вырываются струи пара. И американцы немедленно расконсервировали программу и переориентировали так, что садиться на поверхность уже не обязательно, а можно летать и пытаться перехватить эти струи. Но для этого надо летать долго, а долго там летать нельзя, потому что все равно большая радиация. Но какие-то шансы уже появляются, более реальные, чем в прошлом варианте.

Первый из спутников Юпитера, Ио, тоже интересен, там идет сильнейшая вулканическая деятельность. Следующий галилеевский спутник, Ганимед, — это следующий цикл наших предпочтений. Мы по нему провели в Москве уже две конференции. Это крупнейший из спутников нашей Солнечной системы, на нем тоже много жидкой воды, но Европа в этом плане более перспективна. Очень интересен спутник Сатурна Титан. Там вместо воды метан, это такой метановый мир. Про него тоже многое известно: американская экспедиция *Cassini* в 2005 г. сбросила на поверхность спутника зонд *Huygens*. Титан, если жидкую воду поменять на жидкий метан, тоже достоин быть включенным в список *habitability*. Так что в Солнечной системе все же есть несколько мест, в которых может существовать жизнь, и пока мы их не исследуем, мечтать об экспедициях к землеподобным планетам у других звезд все же не стоит.

КЛЮЧ на старт?



— **И напоследок, раз уж мы начали разговор с фантастики, фантастикой и закончим. Раньше почти во всех романах или фильмах о покорении космоса первыми на ракетах летели ученые. В романе А.Н. Толстого «Аэлита» — инженер Лось, в первом научно-фантастическом фильме «Путешествие на Луну» — профессор Барбанфуйи, в советском мультфильме «Полет на Луну» — профессор Бобров, в фильме «Космический рейс» в ракетоплане «Иосиф Сталин» первым летит его создатель академик Седых...**

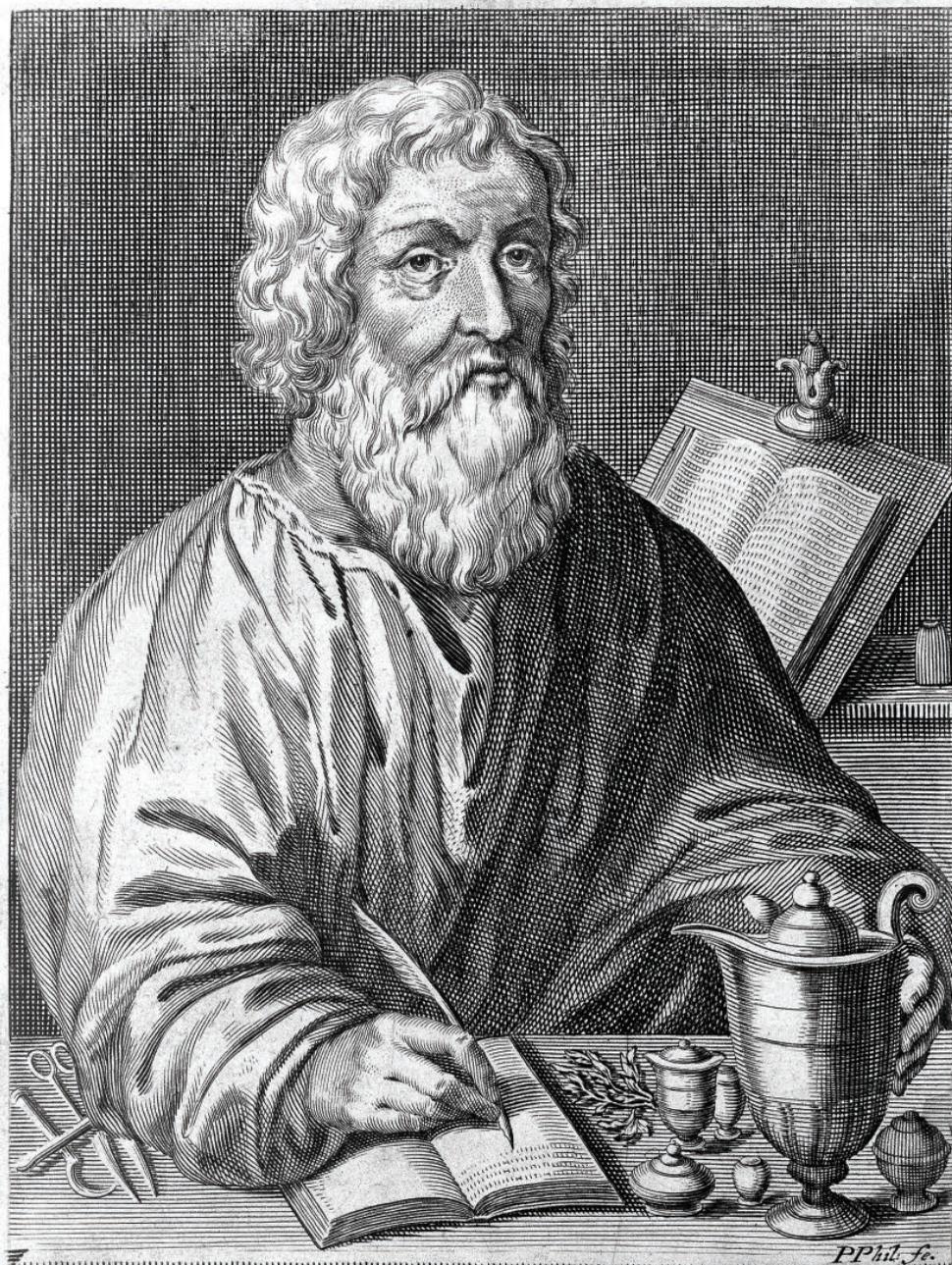
— Я этот фильм очень люблю. Когда читал в планетарии лекцию про Луну, показывал забавные фрагменты из него. Там есть замечательный момент, когда классический ученый, как его представляли в середине 1930-х гг., старый, мудрый, но наивный, в очках, ермолке и с огромной бородой, собирает в полет чемодан с книгами, а жена его умоляет взять валенки. Там же холодно!

— **Так вот, если бы вам предложили полететь в первую экспедицию на Марс или на Луну, согласились бы?**

— Сразу отвечу, не задумываясь. Я бы полетел. Даже если бы это был билет в один конец. Однако давайте вспомним последние слова из песни Владимира Войновича, с которой мы начали этот разговор:

«Но ни одна планета
Не ждет нас так, как эта
Планета дорогая
По имени Земля».

Беседовал Валерий Чумаков



HIPPOCRATIS COI
*Genuina effigies ex antiquo numismate
greco Constantinopoli reperto*
Thevet., pag. 27.

ЭТИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ XXI ВЕКА

В Москве состоялась конференция по биоэтике «Этические вызовы XXI века», в которой участвовали представители Комитета по биоэтике ЮНЕСКО Министерства иностранных дел России, члены Российской академии наук и Совета по этике Минздрава России, представители региональных этических комитетов. Встреча была посвящена анализу официальных документов ЮНЕСКО по вопросам биоэтики: «Право человека», «Биоэтика и права человека», «Геном человека», Этический кодекс профессионального сообщества врачей России. Такого рода обсуждения, выходящие на международный уровень, — новая веха в истории нашей страны, уверен академик **Александр Григорьевич Чучалин**, который стал председателем оргкомитета этого крупного мероприятия.

На гравюре слева — Гиппократ. С его именем связано представление о высоком моральном облике и этике поведения врача. Клятва Гиппократа содержит основополагающие принципы, которыми должен руководствоваться врач в своей практической деятельности.



Академик А.Г. Чучалин

— Александр Григорьевич, почему биоэтика представляется вам столь важной и актуальной?

— Это актуальная тема для всего мирового сообщества, хотя, если говорить о России, здесь есть свои нюансы. Ровно 70 лет назад закончился Нюрнбергский процесс. В ходе этого процесса немцы показали сержанта Джона Вудза. Это палач, который привел в исполнение смертные приговоры Нюрнбергского и Токийского трибуналов военным преступникам. Это событие сыграло большую роль для всего мира, и вопросы глобальной этики тесно связаны с итогами Второй мировой войны и с Нюрнбергским процессом. Весь мир искал, как решить эту проблему.

Как раз в это время, в 1945–1948 гг., появилась Всемирная медицинская ассоциация. Основным документом в работе этой структуры стал Международный кодекс медицинской этики. К сожалению, Советский Союз в этой работе не участвовал: считалось, что у нас своя этика, связанная с той идеологией, которой общество жило в тот период. Но мировое сообщество искало идею, которая была бы положена в основу этого документа. Такой основой стало произведение В.В. Вересаева «Записки врача». Это наше большое достижение — то, что русский врач и писатель создал уникальнейшую книгу, посвященную врачебным ошибкам, и она, по сути, стала мировым бестселлером именно в плане медицинской этики.

В.В. Вересаев — первый в мире автор, который так основательно и подробно подошел к анализу врачебных ошибок. В своей книге он касается своих личных ошибок, анализирует ошибки английских, немецких врачей... Это очень важная для всех нас книга. Не случайно международное

медицинское сообщество активно отметило 150-летнюю дату со дня рождения В.В. Вересаева. Кроме Российской Федерации. И это поразительно.

— Почему так?

— Думаю, злого умысла ни у кого не было, это наша безграмотность и эмоциональная тупость, которая характерна для сегодняшнего общества. Тем не менее основы международного кодекса проистекали именно из этой великой книги.

В самом ее конце В.В. Вересаев ставит вопрос: а может ли общество прожить без Толстого, без Бетховена? И отвечает: да, короткое время может, но ни одного дня оно не может жить без врача.

Он был первым, кто сформулировал эту простую, но важную мысль. Ни одного дня общество не может жить без врачей.

К сожалению, мы заплатили большую цену за то, что не вошли в мировое сообщество по вопросам этики. Вскоре наступили 1952–1953 гг., печально знаменитое «дело врачей», «заговор сионистов», как тогда считала наша общественность. И то, что мы сегодня испытываем, к большому сожалению, имеет исторические корни и связи.

— А что мы испытываем?

— Очевиден разрыв между врачебным сообществом и обществом в целом. Это началось, пожалуй, с расстрела доктора Е.С. Боткина, на который никто не отреагировал. Столетнее молчание. А ведь этот доктор был убит вместе с царской семьей потому, что не захотел покинуть своих пациентов даже в их смертный час. Это и есть служение пациенту, о котором нельзя забыть никогда. Сегодня он канонизирован и вошел в нашу историю как страстотерпец. Но я хочу сказать о другом. Наше общество нуждается в принципиально ином уровне образования по вопросам этики. На мировом уровне нет слова «этика» — там существует понятие «биоэтика». Почему? Потому что человек ведет всестороннюю деятельность, он связан с окружающей средой, имеет отношение к продуктам питания. А если говорить об этических вызовах нынешнего дня, то это проблемы, связанные с развитием искусственного интеллекта, редактированием генома человека, новым родительством. Сегодня в мире проживает уже 5 млн человек, которые родились с помощью вспомогательных репродуктивных технологий, и эти технологии развиваются. Это не только медицинские или технологические, но и этические вызовы. Поэтому в понятие биоэтики включаются вопросы медицинской этики, окружающей среды, геронтологии и гериатрии,

связанные с преклонным возрастом человека, вопросы, которые имеют прямое отношение к тяжелым болезням, терминальным их стадиям, уходу человека из жизни. Я могу говорить на эту тему, потому что имею возможность сравнить Россию и Запад. И я вижу, что у нас в этом отношении серьезные проблемы именно относительно соответствующих документов, их понимания.

— О каких документах идет речь?

— Существуют очень серьезные фундаментальные документы. Самый первый — это Всеобщая декларация прав человека 1948 г. После этого в составе ЮНЕСКО как международной структуры на протяжении значительного периода времени, вплоть до 2005 г., работала группа, которая в конечном счете написала документ «Универсальная декларация по биоэтике и правам человека». И когда мы говорим слова «этика», «биоэтика», мы обязательно должны понимать, что такое права человека и его ответственность перед обществом. Права — это тоже ответственность.

А начиналось все значительно раньше. Если вернуться на два тысячелетия назад и вспомнить знаменитую встречу Платона и Аристотеля, когда они ведут философскую беседу, что такое мораль, Аристотель отвечает: инструмент, который используется для этого понятия, — этика. Собственно говоря, этика — это квинтэссенция моральной системы того или иного общества. Вот как это нужно понимать и сейчас.

Конечно, общество развивалось, и сегодня мы понимаем, что этика есть деонтологическая: я должен сделать так, как это принято моралью моего общества. Этика может быть прагматичная, когда мы ставим определенные задачи и хотим их достичь. Есть также этика, основанная на таких понятиях, как добродетель, альтруизм, желание нести добро, испытывать благодарность и т.д. Сам Аристотель подчеркивал, что этика — это также взаимоотношения между старшим и молодым поколением. Если у нас эта цепь рвется, то прерывается связь времен. А это один из фундаментальных этических законов существования человечества.

— 65 лет тому назад Россия стала членом международной организации ЮНЕСКО.

— Это дочерняя организация Организации Объединенных Наций. ЮНЕСКО выполняет определенные функции на глобальном уровне. В первую очередь, это образование, где в последние годы предельно большое внимание уделяется именно вопросам биоэтики. Нынешний генеральный директор ЮНЕСКО Одри Азуле демонстрирует очень глубокое понимание современных проблем. Основная концепция ее директорства выглядит следующим образом: этические вызовы, которые сегодня пришли в мир, должны обязательно сохранять моральные ценности нашей истории. Особенно

много внимания она уделяет проблеме искусственного интеллекта. В этом вопросе такие этические проблемы, как гибридизация человека с машиной, киборгизация человечества, так называемый постчеловек, — среди основных. Она проанализировала и другую ситуацию: так называемые биоконсерваторы, люди, которые консервативно относятся к тому, что происходит в нашем мире. Она им отвечает: мир вошел в фазу четвертой технической революции, и остановить этот процесс мы уже не можем. На смену интернету и мобильным телефонам приходит то, что мы называем искусственным интеллектом. И здесь ведущее значение придается образованию. В биоэтике сегодня как никогда острейшим образом звучит тема так называемого глубокого обучения (англ. *deep learning*). Сегодняшняя технология направлена на то, чтобы искать сильный интеллект. Я участвовал в этих конференциях, поэтому вижу, насколько серьезная роль отводится этим вопросам.

— Александр Григорьевич, 2019 г. решением ЮНЕСКО объявлен годом Периодической системы химических элементов. Однако, насколько я знаю, имени Д.И. Менделеева в формулировке нет. Этично ли это?

— Не совсем так. Действительно, в мире есть несколько стран, которые претендуют на первенство в этом вопросе. Но нашей стране было разрешено отмечать наступающий 2019 г. как год Д.И. Менделеева. Менделеев, раскладывая свои таблички химических элементов в зависимости от атомного веса и их химических свойств, показал, что вторую строчку должен занимать газ, который определяет качество воздушной среды. Он не знал слова «гелий», но нарисовал место для него. Потом именно гелием стал заниматься П.Л. Капица. Работая в лаборатории Эрнеста Резерфорда в Лондоне, он открыл феномен сверхтекучести гелия. П.Л. Капица впервые в мире показал, что гелий действительно влияет на кислород, который входит в состав воздушной среды, и подвел научную основу под применение гелия в медицинских целях. Но не было математической основы, и П.Л. Капица обратился к Л.Д. Ландау. Таким образом, Д.И. Менделеев предсказал гелий, а два наших ученых стали лауреатами Нобелевской премии по гелию. Предвидение — важнейшее качество ученого, без него невозможно развитие науки, но пока нам непонятно, как работают озарение, интуиция, какова их роль в структуре сознания, и это еще одна проблема на пути развития искусственного интеллекта — в том числе этическая.

— Вы сказали, что одно из направлений развития глубокого обучения — поиск сильного интеллекта. Как это будет происходить?

— Этот приоритет должен быть заложен в нашу образовательную систему. Когда П.Л. Капица создавал МФТИ, он занимался именно этим —

собирал талантливую молодежь. В этот поиск он вовлек А.Д. Сахарова, Я.Б. Зельдовича, Ю.Б. Харитона, И.Е. Тамма и т.д. Сам преподавал. Это стало приоритетным направлением знаменитой системы Физтеха — поиск мотивированных, высоко одаренных молодых людей. Эта система работает и сейчас. Однако развивая высокие технологии, мы неизбежно сталкиваемся с этическими проблемами. Вот почему я начал наш разговор с В.В. Вересаева. Именно он первым поставил вопрос не только взаимоотношений врача и пациента, но и взаимного влияния всех факторов нашей жизни. Нет ничего неважного, отдельного — все взаимосвязано. Климат, питание, новые технологии, юриспруденция — все это биоэтика. Самое слабое место в биоэтике — именно правовая часть, которая отстает от научных достижений, сегодня присутствующих в обществе.

— **В Москве недавно прошло мероприятие, посвященное проблемам биоэтики, и вы там председательствовали. Расскажите об этом подробнее.**

— Это была первая в нашей стране конференция ЮНЕСКО по биоэтике, цель которой — сблизить наше общество с тем, что происходит в мире. Надо сказать, Россия всегда была и остается по сей день страной, которая играет существенную роль во всех мировых процессах, в том числе связанных с биоэтикой. Она имеет сильный состав в штаб-квартире ЮНЕСКО, А.И. Кузнецов — постоянный представитель России при ЮНЕСКО — достойно представляет нашу страну. Имеется большой штат в разных комитетах. Эта конференция прошла в рамках инициативы Межправительственного комитета по биоэтике. Президент этого комитета — известный ученый, работающий в ЮНЕСКО и в Организации Объединенных Наций, юрист по образованию Кристиан Бик. Я был на демократической основе выбран в сентябре 2018 г. вице-президентом этого комитета. Иначе говоря, я — его соратник по вопросам биоэтики. Область, которую он активно развивает, — этика научных исследований. Эта тема выступает предметом аналитических докладов и подготовки ряда документов ЮНЕСКО.

— **Какие важные идеи там прозвучали, какие достигнуты договоренности?**

— Это очень серьезный вопрос. В результате этой конференции я понял, почему у нас отстает преподавание биоэтики. Дело в том, что у нас университетская общественность не имеет соответствующего материала, его просто нет в библиотеке. Поэтому одним из итогов этой конференции, которые я обсудил с Кристианом Биком, — создать в 2019 г. библиотеку по вопросам биоэтики. В эту библиотеку, как я планирую, войдут исторические работы Аристотеля по этике, уникальнейший труд «Медицина и философия», написанный двумя

профессорами медицины из Швеции. Они разрешили опубликовать русскую версию этого фолианта, и сейчас мы решаем этот вопрос. Даже гонора никакого не запросили, они счастливы, что их книга появится на русском языке. В эту библиотеку войдут работы «святого врача» В.Ф. Войно-Ясенецкого, моя работа о докторе Боткине «Страсто-терпец врач Евгений», а также работы В.В. Вересаева. И я хочу специально подготовить том русских переводов всех официальных документов на эту тему. Все эти декларации знают только дипломаты. А если поговорить с профессорами, преподавателями, к большому сожалению, они этого не знают, поэтому не преподают, а раз не преподают, откуда наша молодежь может все это узнать? Такая библиотека — важнейший итог конференции. А еще мы наметили следующую конференцию. Теперь они будут проводиться регулярно.

— **Вы даже открыли кафедру ЮНЕСКО при РНИМУ им. Н.И. Пирогова.**

— Да. По этому поводу было большое торжество. В субботу, 1 декабря, университет встречал Кристиана Бика, других высоких гостей. У нас было заседание в зале ученого совета. Выступили наши студенты, они были очень активны, задавали вопросы Кристиану Бик. Это произвело очень хорошее впечатление. Церемония официального открытия кафедры ЮНЕСКО при нашем университете была торжественной и красивой, так что мы полны надежд.

— **Как вы себе представляете работу этой кафедры? Чему там будут учить?**

— Моя идея в том, чтобы была сквозная программа по преподаванию биоэтики на всех курсах, начиная с первого. Я смотрю, как это делают в университетах Великобритании, где есть такие кафедры. Студенты Оксфордского и Кембриджского университетов пишут свою первую научную работу именно по вопросам этики. То есть это самое важное для будущего ученого. Этический комитет Великобритании — один из активно работающих. Американская ассоциация врачей имеет мощный сайт по этике. Вообще, этические комитеты этих стран очень авторитетны. Многие наши проблемы связаны именно с тем, что у нас нет таких комитетов. Те же медицинские конфликты, которые сейчас раздирают наше общество, должны разбираться профессиональные и авторитетные этические комитеты, и именно их позиция должна формировать отношение общества, его морали, к этим ситуациям.

— **Мне кажется, существует еще такая этическая проблема, как нежелание и неумение врачей доносить до пациентов какую-то важную информацию — зачем нужна эта операция, как она будет проходить, какие могут быть последствия. Из-за этого разгораются многие конфликты, которых могло бы не быть.**

— Совершенно верно. Врач должен беседовать с больным и его родными, подробно все объяснять, отвечать на все вопросы, быть внимательным и терпеливым — и это также часть этики, которой надо учить студентов.

Этика окружает нас со всех сторон, и незнание ее законов, пренебрежение ими грозит нам всем серьезными проблемами. Они уже происходят. Все мы становимся свидетелями многочисленных историй, когда из-за жалоб пациентов врачей осуждают, помещают в следственные изоляторы, передают суду. Сейчас я переживаю события, связанные с Красноярском. Если помните, мы там всем миром строили храм, собирали деньги на памятник В.Ф. Войно-Ясенецкому...

— Отлично помню. Какие же там произошли события?

— Красноярск вообще был городом, где хорошо развивалось здравоохранение. За короткое время медицинский университет стал одним из лучших в Европе. И.П. Артюхов, ректор этого университета, совершенно его преобразил. Надо сказать, это места, где побывали в ссылке многие наши выдающиеся ученые. В.Ф. Войно-Ясенецкий, находясь в этих краях в лагерях ГУЛАГа, во время войны был главным хирургом всех госпиталей Красноярска и спас множество жизней. Когда только открывался университет, Валентин Феликсович читал там лекции, стал профессором, и многие его запомнили. Это был выдающийся человек, и его знаменитая фраза «Врачуя тело, не забывай о душе» осталась в памяти красноярцев. Человек — духовно-телесное существо, все в нем едино. А И.П. Артюхов, которого я считаю одним из наших лучших ректоров, не только многое сделал для развития университета, но и построил храм во имя святого Луки, в миру В.Ф. Войно-Ясенецкого.

— И сам медицинский университет Красноярска носит имя в.ф. Войно-Ясенецкого.

— Совершенно верно. Около университета появился чудесный памятник — В.Ф. Войно-Ясенецкий не в рясе, а в медицинском халате. Это единственный памятник, где он показан врачом, коим и был всю жизнь. Он смотрит на университет, на студентов, которые входят в храм медицинской науки.

Ясно, что на храм и памятник нужны были деньги, и они были собраны. Многие жертвовали, кто сколько мог. Я тоже принял участие, вложил свои деньги, честно заработанные, чтобы все это появилось на красноярской земле.

Но вот сменился губернатор. Новый губернатор начал свою деятельность с того, что стал закрывать храмы. Закрыв церковь при сельхозакадемии, следом — около медуниверситета, а поводом к этому стало то, что храмы потребляют электричество и тепло от государственных учебных заведений и таким образом «украли» у государства



Валентин Феликсович Войно-Ясенецкий — хирург, ученый, автор трудов по анестезиологии и гнойной хирургии, доктор медицинских наук, профессор; архиепископ, духовный писатель, доктор богословия

миллион рублей. И теперь ректору грозят десять лет заключения. Конечно, мы боремся, пишем письма патриарху, мы просто так это дело не оставим. Но сам факт вызывает большую тревогу.

— А ведь это тоже этический вопрос.

— Безусловно. Вообще, мы в Красноярском крае внедрились целый ряд очень эффективных проектов. Если говорить о моей родной пульмонологии, то за короткое время нам удалось развернуть проект по снижению смертности от пневмонии. В результате там сейчас самая низкая в стране смертность от пневмонии. Красноярск имел самую низкую смертность от инфаркта миокарда, от инсультов, от дорожных травм и других происшествий.

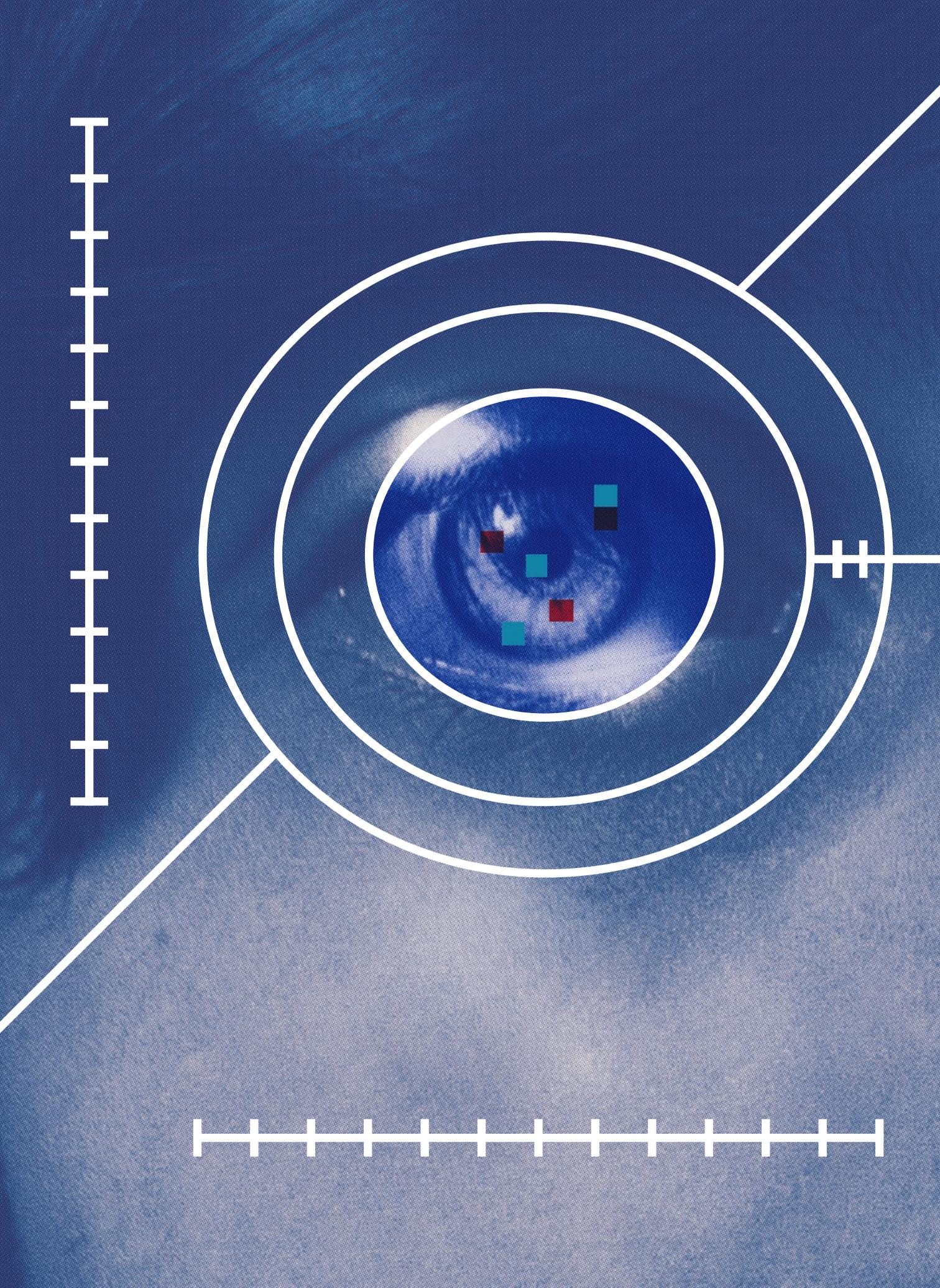
— Благодаря тому, что хорошо учили студентов-медиков?

— В том числе. Студенты хорошо учились, был крепкий альянс между Министерством здравоохранения Красноярского края и университетом. Профессорско-преподавательский состав, в котором было много главных специалистов края, и Министерство здравоохранения развивали все эти проекты. Новый губернатор все это разрушил. Сегодня Красноярск откатился на четверть века назад. Это очень печально.

— А что внушает оптимизм?

— То, что в большинстве случаев нам удастся найти общий язык с ректорами вузов и представителями власти. То, что нам удастся разрабатывать новые технологии в борьбе с заболеваниями дыхательной системы, кровообращения и в ряде случаев внедрять их. То, что наши студенты по-прежнему хотят учиться, готовы впитывать новое, и вопросы этики их тоже интересуют. Хочется верить, что мы вырастим поколение молодых ученых, врачей, для которых медицина — это не бизнес, а в первую очередь служение пациенту. Этика пронизывает нашу жизнь, хотим мы этого или нет. Но если мы не учитываем ее законов, то вредим самим себе. ■

Беседовала Наталия Лескова



Интерфейс исполнения желаний

ИЗ КУРЧАТОВСКОГО ИНСТИТУТА



Молодой человек играет в компьютерную игру. По экрану хаотически движутся шарики с порядковыми номерами, и его задача — за определенное время отметить их цветом в нужной последовательности. Обычное дело, задачка для младшего школьника. Отличие в том, что руки человека лежат на столе. Мышки нет, клавиатуры тоже. На экране все происходит с помощью его взгляда. Возможность бесконтактного взаимодействия с машиной открывает огромные перспективы, но с ней сопряжены и немалые сложности. Об этом мы беседуем с **Сергеем Львовичем Шишкиным**, кандидатом биологических наук, начальником лаборатории нейрокогнитивных технологий Курчатковского комплекса НБИКС-природоподобных технологий, где эти технологии и разрабатываются.



Кандидат биологических наук С.Л. Шишкин

— Сергей Львович, расскажите, пожалуйста, об исследованиях, которые проводятся в вашей лаборатории.

— В нашей лаборатории идут исследования, связанные с разработкой фундаментальных основ нейрокогнитивных технологий. Они касаются и того, чем непосредственно занимаемся я и моя группа, — управления с помощью взгляда и интерфейса «мозг — компьютер», называемого также «нейроинтерфейс». Кроме того, сотрудники лаборатории разрабатывают роботов, которые взаимодействуют с человеком на эмоциональном уровне, и системы углубленного анализа состояния мозга человека, предназначенные для самых различных задач.

— Вы сказали о возможности двигать предметы взглядом. Телекинез — мечта любого человека. Неужели вы это разработали?

— Нет, конечно, это не телекинез. То, чем мы занимаемся, — это, прежде всего, мечта людей с нарушениями двигательной системы, которые не могут использовать обычные способы взаимодействия. Однако уже появился интерес к расширению возможностей обычного человека по взаимодействию с компьютерами, роботами с помощью средств, которые не требуют использования рук и вообще совершения телесных движений.

— Нечто подобное, по-моему, было у Стивена Хокинга?

— Ему предлагали использовать такого рода технологии, но он предпочитал гораздо более простой интерфейс, лучше отработанный на тот момент — работающий за счет остаточных движений некоторых мышц.

— А вы делаете такие?

— У нас несколько иная задача. Представим, что мы работаем с компьютером и с помощью мышки кликаем по ссылкам, экранным кнопкам и каждый раз при этом смотрим в сторону этих ссылок и кнопок. Это обычная ситуация. Но возникает естественный вопрос: может быть, нам просто проследить, куда человек смотрит, и клик будет происходить именно в этом месте? Это нетривиальная задача, потому что мы смотрим не только тогда, когда хотим произвести какое-то действие, но и когда просто рассматриваем то, что есть на экране, читаем текст или ищем нужную информацию. И мы должны отличать те случаи, когда человек смотрит просто так, от тех, когда он смотрит, чтобы выполнить действие.

— Иногда человек смотрит с ненавистью на какой-либо объект. Не означает ли это, что в перспективе можно будет взглядом навредить другому объекту, уничтожить его?

— Для этого, наверное, нужны совсем другие технологии. А что касается тех, о которых я говорю, они существуют давно, есть и коммерческие системы, которые могут использовать больные люди. Они были очень дорогими, но сейчас быстро дешевеют. Более того, если у вас установлена Windows 10 и вы делали в последнее время обновление, вы можете зайти в настройки и найти там средства управления с помощью взгляда. Вам остается только подключить устройство, которое будет считывать ваш взгляд, так называемый айтрекер. Фактически это просто видеочкамеры с инфракрасной подсветкой плюс специальный алгоритм, который после некоторой калибровки

системы может определить, куда вы смотрите, по тому, где находится ваш зрачок, и на основе этих данных можно создать в том числе средство для такого клика. Но есть и особенность. Мы пытаемся сделать алгоритмы взаимодействия с помощью взгляда как можно более естественными, чтобы человеку не нужно было входить в специальное состояние или производить какие-то дополнительные действия.

— Особой сосредоточенности?

— Обычно при этом нужно делать что-то не совсем привычное, что не всегда дается легко. А мы хотим, чтобы человеку, особенно инвалиду, совсем не нужно было напрягаться. Он должен просто выполнять свою задачу, прилагая как можно меньше усилий. Тут мы руководствуемся идеями, когда-то заложенными Дугласом Энгельбартом, придумавшим все основные средства человеко-компьютерного взаимодействия, которыми мы сейчас пользуемся: мышки, клавиатуры, экранный графический интерфейс, гипертекст. Его идеи заключались в том, что чем меньше усилий прилагают люди, взаимодействуя с техническим устройством и вообще с внешней, искусственно создаваемой средой, тем успешнее они могут осуществлять это взаимодействие. Энгельбарт даже провел эксперимент — привязал к карандашу кирпич и попробовал им писать, чтобы посмотреть, сколько времени на это уйдет. Оказалось, что это очень сильно замедляет процесс, более того, написание даже простого текста становится очень тяжелой задачей. Если нам пришла в голову какая-то мысль, ее хочется быстро записать и перейти к следующей, а тут приходится прилагать огромные усилия, тратить время, так что мысль может просто уйти. В 60–70-е гг. прошлого века было очень трудно работать с компьютером, нужно было набивать команды на перфокарты, потом расшифровывать то, что он выдает. А Энгельбарт сделал этот процесс гораздо более простым и интуитивным, и сейчас мы почти никаких усилий не прилагаем.

Хотя все-таки приходится прилагать, когда мы работаем с клавиатурой и мышкой. Легко заметить, как это влияет на нашу интеллектуальную деятельность, на примере использования дополнительных клавиш, в частности *Shift*, чтобы написать что-то в верхнем регистре. Когда у людей происходит неформальное общение, они очень часто не используют эту клавишу, а просто начинают предложение со строчной буквы.

— Или не ставят запятые и другие знаки препинания.

— Да, они стараются производить еще меньше действий. То же самое можно пытаться сделать, продолжая реализацию идеи Энгельбарта о простоте взаимодействия с машиной, используя взгляд. Мы не берем мышку, не подводим курсор к кнопке, а просто смотрим в нужном

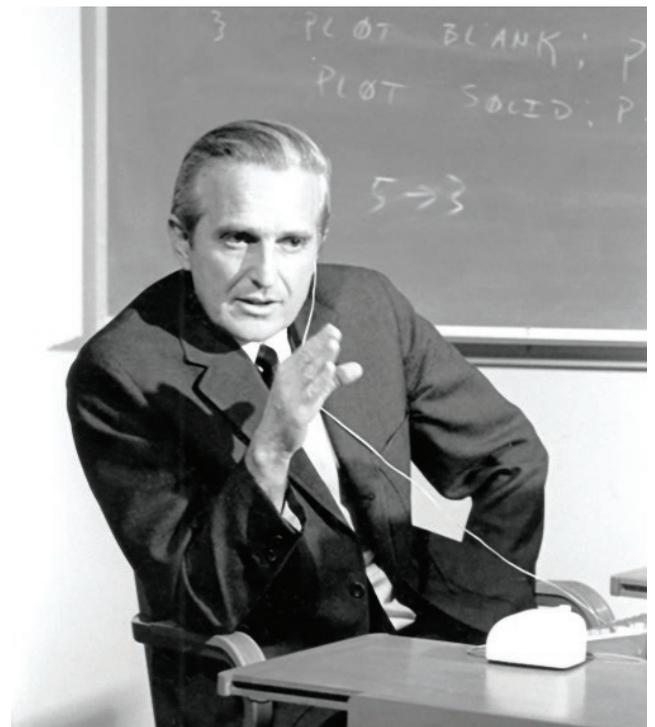
направлении, и система определяет, что у нас есть желание там кликнуть. Мы называем это «интерфейс "глаз — мозг — компьютер"». Это будет система гораздо более эффективного взаимодействия между человеком и компьютером.

— **Сергей Львович, понятно, что для инвалидов, людей парализованных, это очень важное новшество. Но не кажется ли вам как биологу, что для людей, не обремененных тяжелым заданием, такое «удобство» скорее вредно? Ведь человечество и так лишено двигательной активности, а теперь еще и мышку в руки брать будет не обязательно. Хорошо ли это?**

— Представьте, что вам вместо того, чтобы написать что-то ручкой или набрать на клавиатуре, нужно взять металлический предмет и, подобно древнему человеку, выбивать эту надпись на камне. Возможно, эта «физкультура» будет полезной, однако мы изобретаем все более удобные в пользовании технологии, и от этого никуда не уйти.

— Лень — двигатель прогресса?

— В какой-то мере. Хотя, повторюсь, во многих случаях механическое взаимодействие с компьютером все-таки останется и будет полезным, но в некоторых случаях, когда, допустим, человеку нужно сосредоточиться на важной творческой задаче и он не хочет отвлекаться на двигательную деятельность, это допустимо.



9 декабря 1968 г. Дуглас Энгельбарт продемонстрировал экранный графический интерфейс, компьютерную мышь, видеоконференции, текст с гиперссылками и многое другое. Это был проект прообраза персональных компьютеров и будущей веб-среды.

— **Уверю вас: никто не будет отвлекаться, как только появится такая возможность.**

— Если это будет быстрее и эффективнее, то да. Но не думаю, что это будет всегда быстрее. По крайней мере, пока мы используем датчики, которые располагаются вне мозга. У нас еще нет безопасных и дешевых технологий, чтобы извлекать информацию из его глубины. Мы можем использовать устройства для безопасного снятия электричества, производимого мозгом, прямо с кожи головы. Такой сигнал не очень качественный и дает не очень высокую точность распознавания намерений человека, поэтому сейчас мы не можем даже надеяться, что в ближайшее время у нас эти устройства будут в любой задаче быстрее тех, которые работают при механическом взаимодействии. Но, по-видимому, мы сможем в ряде случаев сделать взаимодействие между человеком и машиной более легким и естественным.

— **Каким образом вы этого достигнете?**

— Существуют способы понять, с какой целью человек смотрит в ту или иную часть экрана. Самый типичный вариант распознавания намерений — запись электроэнцефалограммы. Мы устанавливаем на голове электроды, и то электричество, которое вырабатывает мозг при своей естественной деятельности, мы можем зафиксировать с помощью специального прибора — электроэнцефалографа, чтобы затем обрабатывать с помощью специальных математических алгоритмов. Здесь нам помогают новые подходы в анализе сложных данных — так называемое глубокое обучение сложно устроенных искусственных

нейронных сетей, которые в значительной мере строятся на основе знаний о том, как работает мозг. Такую сеть можно научить на предварительно собранных примерах «угадывать», где человек не хочет кликать, а где хочет.

Кроме электроэнцефалограммы, когда мы записываем электрические потенциалы, еще есть метод магнитоэнцефалограммы, ведь мозг вырабатывает и магнитное поле. Мы хотим использовать и электричество, и магнитное поле, чтобы получить максимум информации о том, что происходит в мозге, и в реальном времени классифицировать его состояние. Но пока магнитоэнцефалограф — огромная дорогостоящая установка, и для повсеместного практического применения она не подходит. Наш план таков: с его помощью мы должны исследовать возможности взаимодействия человека и компьютера с применением нашей системы распознавания взгляда, а потом, если мы получим ценное, принципиально новое качество взаимодействия с этой системой, будем развивать эти технологии в более прикладном, компактном варианте.

— **Наверное, сейчас многие лаборатории занимаются такими исследованиями?**

— Число лабораторий, исследующих возможности одновременного использования взгляда и сигналов мозгового происхождения в человеко-машинном взаимодействии, растет, но их пока не так много. Так получилось, что нейроинтерфейсными технологиями и управлением с помощью взгляда традиционно занимались совсем разные группы исследователей, и лишь совсем недавно эти направления стали сближаться.



Участник эксперимента, выполняя задание, использует задержки взгляда на шариках вместо кликов по ним мышкой. В это время исследователи записывают его электроэнцефалограмму, чтобы научить компьютерные алгоритмы определять по ней, когда он хочет «кликнуть глазами»

Мы начинаем разрабатывать системы взаимодействия с машинами, в особенности с роботами. Эти системы тоже будут интуитивны. Они могут применяться как людьми с ограниченными возможностями, так и другими операторами в сложных ситуациях

А изучением возможностей не просто усилить человеко-машинное взаимодействие, но именно распознавать намерение, сопряженное со взглядом, насколько я знаю, сейчас занимаемся только мы. Если говорить об этой работе более детально, у нас есть несколько направлений. Одно из них — улучшение работы алгоритмов, которые позволяют распознавать мозговую активность. В этом направлении у нас трудится группа молодых сотрудников, а также студентов Института нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий (ИНБИКСТ) МФТИ, адаптирующих методы глубокого обучения для тех данных, с которыми мы имеем дело. Другое направление — это поиск путей модификации сценариев взаимодействия человека и машины, способствующих тому, чтобы мозг генерировал достаточно четко различимый сигнал, который наши алгоритмы смогли бы надежно распознать.

— То есть фактически прочитать мысль человека? Мы говорим о телепатии?

— Я бы сказал — сделать мысль более заметной, распознаваемой. Важно, чтобы чисто технически все это быстро и эффективно работало.

Скажем, наша магнитноэнцефалографическая установка имеет сотни каналов. Как сделать, чтобы поступающие по ним данные могли немедленно обрабатываться и на их основе наши алгоритмы принимали решения на лету? Ведь если человеку придется каждый раз задерживать взгляд на многие секунды, пока компьютеры обсчитают все полученные данные, он быстро устанет, и это будет совсем не то, к чему мы стремимся. Помимо технических задач есть и чисто психологические, и мы пришли к необходимости вести исследования, которые связаны с сознанием. Мы обратили внимание: когда испытуемый «кликает глазами», например, на шарик, который в игре надо выбрать и перенести на другое место, наши классификаторы мозговых сигналов нередко ошибаются, но в этот момент человеку кажется, что он хотел выбрать данный шарик, хотя на самом деле он просто смотрел на него. Во время эксперимента мы просили испытуемых каждый раз, когда выбирался шарик, который они не хотели выбрать, сразу сообщать об этом. Спрашивали: вы именно этот шарик хотели

кликнуть? Сначала кажется, что да, именно этот. А потом часто оказывается, что он только собирался принять решение, но еще его не принял. А шарик уже «кликнулся».

— До того, как человек это осознал?

— Да. И если он близок к принятию решения, но еще не принял его, и наша система его опережает, то он может согласиться с тем, что именно это и есть его решение.

— Выходит, она опережает его желания?

— Она, если быть точнее, может не совсем точно угадывать его желания, особенно если спешит. И здесь оказывается, что мы должны особенно внимательно отслеживать, как компьютер определил наше желание, намерение, если он мог отреагировать на него еще до того, как оно было сформировано в явном виде. Компьютер может ошибаться. И если, например, мы будем пытаться в этой ситуации чрезмерно ускорить темп взаимодействия, есть риск, что мы перестанем понимать, кто принимает решение — мы или машина. Или вообще какой-нибудь хакер, который пытается нам что-то навязать. Поэтому мы должны понять, как мы определяем, каким был наш собственный выбор. А понять, что выбор действительно был сделан нами, а не машиной, мы можем, видимо, только тогда, когда он фиксируется нашим сознанием.

— Какие тут могут быть конкретные применения? Не только же игра в шарики, а что-то более серьезное?

— Применение — любая сфера человеко-машинного взаимодействия, если требуется высокая интуитивность взаимодействия. Например, это может коснуться творческих задач, когда человек начинает переключаться от своего замысла на конкретное воплощение.

— Скажем, научное творчество. У вас есть какая-то идея или много идей, они витают в воздухе, но вы не можете их сформулировать. Вы подключаетесь к машине и вместе выдаете потрясающий результат. Вам дают Нобелевскую премию. Но кому — машине или человеку?

— Конечно, человеку, потому что машина так или иначе создается им. Сейчас, когда компьютер используется для того, чтобы сделать сложный

научный расчет, никто не говорит, что это заслуга компьютера. Это делает человек. Наиболее интересное для него из того, что он может делать, — это способность принимать решение. Именно это всегда останется человеческим приоритетом. Допустим, он находит какие-то подозрительные предметы на картинке. Здесь также используется человеко-машинное взаимодействие, чтобы подсмотреть, где его взгляд задержался, на каком объекте на этой картинке. Можно посадить несколько операторов, которые будут одновременно отслеживать такого рода подозрительные предметы. Есть исследования, в которых, анализируя взгляд и активность мозга таких операторов, определяли, где находится террорист или бомба, или еще что-то опасное, требующее нашего контроля. Это было бы очень перспективной технологией, если бы не одно но: очень скоро все это будет гораздо лучше делать искусственный интеллект. Нам же интересны задачи, когда человек делает то, что он никогда не захочет перепоручить машине — например, принимать за него абсолютно все решения.

— Какие еще могут быть применения у ваших систем?

— Мы когда-то придумали название для их будущей прикладной версии: «Мышь исполнения желаний». Это как бы компьютерная мышь, но ее не нужно двигать, она сама исполняет ваши желания и делает это легко, быстро и точно. Понятно, что до этого пока далеко, нужно еще провести большой объем исследований. Но параллельно на основе нашего опыта работ по созданию системы взаимодействия с помощью взгляда мы начинаем разрабатывать совместно с лабораторией робототехники Курчатковского комплекса НБИКС-природоподобных технологий другие системы взаимодействия с машинами, в особенности с роботами. Эти системы тоже будут интуитивны. Они могут применяться как людьми с ограниченными возможностями, так и другими операторами в сложных ситуациях, когда, например, робот находится в удаленном районе, с ним плохая связь, но нужно организовать взаимодействие. Мы можем, в частности, определять участки, на которые чаще всего смотрит оператор, то есть фокус его внимания, и использовать эту связь как дополнительную модальность.

Или в случае, если человек управляет роботом, на котором находится манипулятор, и ему нужны две руки, чтобы координировать его движение, он мог бы использовать глаз как «третью руку» для работы с манипулятором — указывать объекты, которые нужно захватить. Использовать взгляд как «третью руку» мог бы и хирург, который во время операции не может освободить руки, но, например, должен срочно что-то посмотреть в истории болезни.

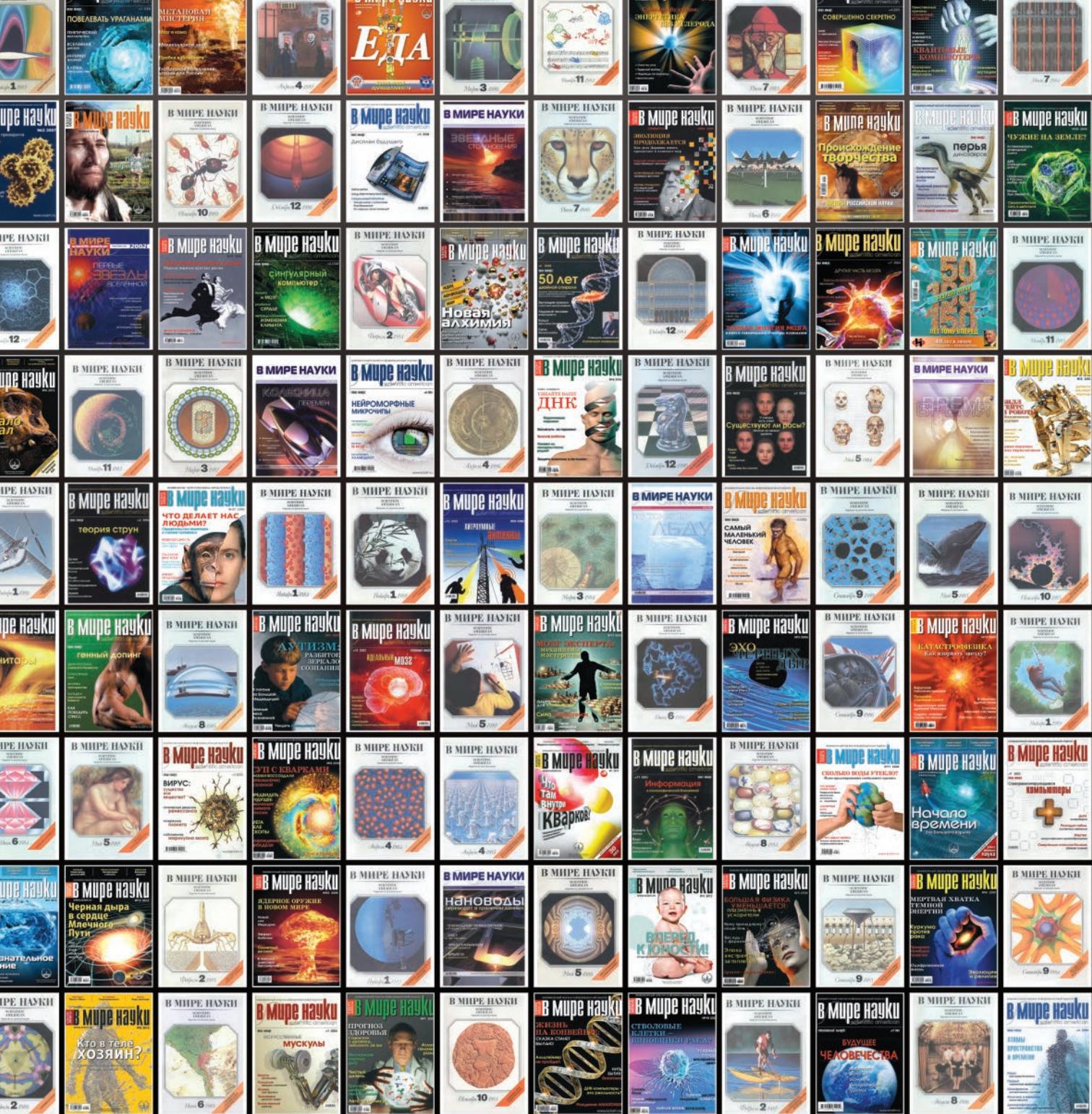
И, наконец, еще один проект, который у нас осуществляется совместно с нашей лабораторией робототехники, — управление роботизированной инвалидной коляской с помощью взгляда. Таких попыток делалось много, но здесь есть проблема: это делается чисто инженерным способом, когда не учитывается вся сложность взаимодействия движения по взгляду человека. Казалось бы, это именно то, что нужно парализованным людям, ведь взгляд у них чаще всего работает нормально. Представьте себя на месте такого человека: вы едете на работе (роботизированное инвалидное кресло — это самый настоящий полуавтономный робот) и управляете его движением с помощью взгляда. Но это значит, что в ответ на ваш взгляд кресло будет менять направление движения. Всегда ли это будет именно то, чего вы хотите? Не получится ли, что автоматические перемещения взгляда (а ведь даже здоровый человек не может постоянно держать взгляд под контролем) будут то и дело приводить к неожиданным изменениям направления движения? При этом ориентация головы будет меняться вместе с поворотом кресла, а это вызовет новые автоматические реакции взгляда и т.д. Так что это может оказаться очень неприятным опытом. Мы хотим разобраться, как сделать естественным и безошибочным управление с помощью взгляда, чтобы человек не пугался, не терялся, чтобы это не вызывало у него излишнего напряжения, а наоборот — это было бы максимально удобно и безопасно.

— Остается надеяться, что ваша «Мышь исполнения желаний» будет претворять в жизнь только то, что того стоит. Ведь далеко не всем нашим желаниям стоит исполняться. Помните «Шагреневую кожу», где главный герой боялся чего-либо захотеть: с каждым новым исполненным желанием его дни неуклонно сокращались.

— Но мы же неслучайно хотим добиться, чтобы интерфейс откликался на сознательно выработанные намерения, а не просто на желания. В любом случае перед пользователем будет выбор, использовать наш интерфейс или нет, — мы его, разумеется, не собираемся никому навязывать. И мы очень надеемся, что он будет полезен людям.

Мы — это междисциплинарная команда, которая решает такие перспективные задачи в нашей лаборатории в НИЦ «Курчатовский институт». У нас работают очень сильные молодые исследователи. В Курчатовском комплексе НБИКС-природоподобных технологий отличная лаборатория робототехники, с ее сотрудниками мы также взаимодействуем по разным направлениям. Нам интересно работать. Думаю, в ближайшее время можно ждать новых важных результатов. ■

Беседовала Наталья Лескова



Хотите знать о науке больше?

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

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить
и отдельные статьи





РАЗНОЦВЕТНОЕ ЗОЛОТО

Нефть — одно из самых древних природных образований нашей планеты, возникшее, согласно доминирующей биогенной гипотезе происхождения, миллионы лет назад. Человек использует нефть с незапамятных времен. Еще 6 тыс. лет назад на берегах Евфрата ее применяли в качестве вяжущего вещества при строительстве. На основе нефти были возведены стены Вавилона, а позже вавилонский царь Навуходоносор топил нефтью гигантскую печь, в которой даже пытался сжигать неугодных. В Древнем Египте эту черную маслянистую жидкость использовали при бальзамировании усопших, а в Древней Греции — в качестве топлива для маяков. Правда ли то, что запасы нефти сегодня иссякают? Сможем ли мы найти ей достойную замену? Об этом и многом другом рассказывает **Артем Сергеевич Боев**, директор Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета.

— **Артем Сергеевич, наш разговор — про так называемую трудную нефть. Трудная она, очевидно, потому, что очень глубоко залегает и достать ее нелегко?**

— Ее сложнее и найти, и добыть. Проблема в том, что за последние годы на материковой части России не открыто ни одного крупного и среднего месторождения. Все, что есть, — это либо шельфовая зона, либо не Россия. В таких условиях говорить о том, что легкое восполнение запасов нефти когда-то станет возможным снова, нельзя. Это уже пройденный период, и мы можем сейчас рассчитывать только на обнаружение мелких и средних месторождений, которые зачастую находятся в удаленных районах, вдалеке от инфраструктуры. Пришло время обратить внимание на так называемые трудноизвлекаемые запасы, в том числе на карбонатные коллекторы, которые широко распространены в пределах Томской области. Да, эта нефть залегает глубже, чем та, что мы привыкли добывать, но здесь нет каких-то сверхглубин. Речь идет о глубинах порядка 3–4 км, если мы говорим о Томской, Новосибирской областях. Сюда же относятся Казахстан, Ханты-Мансийская автономная область. Уже сложилось определенное видение того, как ее добывать.

— **А как найти?**

— Такого подхода пока нет, но мы точно знаем, что подобные месторождения есть. Этим вопросом сейчас как раз занимается Томский политехнический университет в партнерстве с нефтяными компаниями и другими университетами. Мы ищем подходы к обнаружению новых месторождений в доюрском комплексе с использованием тех данных, которые уже есть.

— **Этих данных достаточно?**

— Чаще всего это старые данные, которые собирались с 60-х гг. XX в., и сейчас происходит переоценка этой информации. Она заново интерпретируется. Все, что бурится новое, особенно там, где есть карбонатные коллекторы, попадает в проект, и эта информация, безусловно, приносит много нового и интересного. В последние годы на доюрский комплекс мало обращали внимания, но сейчас ситуация меняется и, к счастью, многое изменилось и с точки зрения технологий. Сейчас мы уверены в том, что, используя новые методы, новые программы по моделированию, мы внесем существенный вклад в понимание природы карбонатных коллекторов как для области, так и для страны в целом.

— **О каких объемах нефти идет речь?**

— Это примерно десятилетняя добыча Томской области. По итогам проекта мы рассчитываем, что на баланс будут поставлены месторождения с объемом извлекаемых запасов порядка 100 млн т. Это очень заметная цифра.

— **Вы говорите, что разрабатываете методику поиска таких месторождений. Уже что-то нашли?**

— Проект рассчитан на срок от трех до пяти лет. Раньше месторождения зачастую обнаруживались при бурении опорных и параметрических скважин, глубоких скважин, целью бурения которых было изучение глубинного строения возможных зон нефтегазонакопления. Изучали керн, проводили все необходимые исследования. Обратили внимание, что в некоторых случаях появляется приток нефти на больших глубинах, чем привыкли работать. Иногда бывало, что и ошибались: нефть приписывали к доюрскому комплексу, к палеозою, но по факту это оказывалась юрская нефть. Сейчас современные методы геохимии позволяют исключить такие ошибки. Так что, думаю, к сроку окончания проекта заявленный объем нефти будет найден.

— **Вы говорите: «доюрская нефть», «юрская нефть». Чем они различаются?**

— Все зависит от условий формирования, каждому периоду соответствуют свои биомаркеры, которые позволяют различать и датировать. Эти виды нефти отличаются друг от друга по составу и физико-химическим свойствам. Если брать Западную Сибирь и, в частности, Томскую область, то здесь обычно нефть достаточно высокого качества, в ней фактически отсутствует сера. А если рассматривать нефть, которая находится за Уралом, то там серы много и стоимость ее на международных рынках ниже. Когда нефть движется по трубопроводам, она объединяется с другими видами нефти и ее качество снижается. Хотя всю эту нефть можно успешно использовать в народном хозяйстве, что с успехом и делается.

— **А как вы обнаруживаете эту нефть? Можно подробнее о ваших методах?**

— Это классические методы, когда бурятся скважины, производится отбор керна, детально изучаются нефтенасыщенные пласты, проводятся геофизические исследования. Здесь ничего уникального ТПУ не вносит. Новое в нашей работе заключается в том, что проводятся анализ и реинтерпретация старой информации, анализируются структуры, на которые ранее не обращали внимания. Сейчас, допустим, геологической съемкой охвачена вся Томская область, но никто не ткнет пальцем в карту и не скажет, что именно здесь находятся структуры, аналогичные тем, что геологи ранее нашли, исследовали и получили приток нефти. Результатом этого проекта станет методика обнаружения участков, которые схожи структурно, по геологическому строению с теми, что уже открыты, и мы будем говорить с большой вероятностью и даже уверенностью: вот здесь можно бурить. Это ключевой посыл всей нашей аналитической работы, которая сопряжена в том числе с бурением новых скважин, отбором керна в интервале 3–4 км, необходимого для того, чтобы получить новую

информацию о тех структурах, которые залегают на этой глубине. Для того чтобы получить керн, информацию о флюидах, мы обратились во многие организации, где еще с советских времен собирался и хранится этот керн. Надо сказать, он не везде в хорошей сохранности, поэтому здесь нужна большая работа, связанная с обработкой данных.

— **Не будет ли проблем с добычей глубоко залегающей нефти?**

— Дело ведь не только в глубине. Подход к тому, как добывать такую нефть, по большому счету сформировался, но здесь еще много этапов его усовершенствования. Это карбонатные отложения, они представляют собой коллектор трещиноватого типа, то есть нефть содержится в трещинах. И здесь есть большие сложности с созданием системы пластового давления. Это коренным образом отличается от того, как происходит на терригенных коллекторах с поровым межзерновым типом пустотного пространства. Нужен принципиально другой подход к извлечению этой нефти, он не должен быть грубым и резким.

— **А каким же? Нежным?**

— Зачастую это надо делать медленно, постоянно контролируя эксплуатационный режим, смотреть, чтобы скважины не обводнялись.

— **А если делать это недостаточно медленно, что может произойти?**

— Если это делать на форсированных, больших отборах, можно получить быстро и достаточно много нефти, но это будет длиться недолго. Карбонатные коллекторы таких ошибок не прощают, здесь потом очень сложно будет что-то сделать, чтобы исправить эту ситуацию.

— **Такие ошибки бывали?**

— Бывало так, что, скажем, в тех каналах, которые были созданы природой и по которым эта нефть могла поступать, если это делать медленно на протяжении длительного срока, из-за интенсивных отборов происходили нарушения, скважины обводнялись и нефть переставала поступать. Если бы это был однородный терригенный коллектор — здесь еще можно что-то сделать, а карбонатный коллектор всегда дает определенные сложности работы, потому что там система заводнения часто в принципе не работает.

— **Можем ли мы сказать, что чем у человечества меньше природных запасов, тем оно более бережливо?**

— Мы говорим так: чем более серьезными запасами и крупными месторождениями обладает нефтяная компания, тем более беспечно она к ним относится.



Шингинская газокomppressorная станция, ООО «Газпромнефть-Восток». Фотография предоставлена ООО «Газпромнефть-Восток».

— **А ведь этот тезис можно отнести не только к нефти — к чему угодно.**

— Безусловно. Но если сейчас говорить о небольших месторождениях, то здесь даже со стороны государства должен быть, наверное, другой подход: когда большие компании просчитывают, как добывать эту нефть, часто получается, что это нерентабельно, и они просто не выходят на эти участки. А если туда приходят маленькие компании, то они, бывает, экономят на людях, безопасности, технике и технологиях, и это не всегда самая эффективная добыча. Можно говорить о том, что если мы имеем небольшие месторождения, то они могут оказаться с нулевой рентабельностью, но при этом область получает налоги, рабочие места, ну а та компания, которая этим занимается, — план по нефти. Хотя ясно, что это в большей степени социальные гарантии, чем извлечение большой прибыли.

— **Однако это тоже важная задача.**

— Здесь у нас полное взаимопонимание с руководством области, которое поддерживает этот проект. С 2013 г. у нас создан полигон, который посвящен карбонатным коллекторам и проекту «Палеозой». Проект реализуется не какой-то одной компанией, а в целом в интересах развития области. Те месторождения, структуры, которые будут открыты, представлены администрации области, и все нефтяные компании смогут ознакомиться с этой информацией и понять, на что они могут претендовать и в чем их интерес. Думаю, спрос будет большой.

— **А нефть может залегать еще глубже?**

— Да, может, добыча в Америке с глубин 6–7 км стала обычным делом. Тюменская сверхглубокая скважина показала, что в 7 км от поверхности есть перспективные для газовых месторождений толщи пород.

— **Иначе говоря, когда здесь мы используем все, что возможно, есть основания надеяться, что есть и еще глубже? Технологии ведь не стоят на месте.**

— Технологии не стоят на месте, мы учимся новым методам как в поиске, так и в добыче, и говорить о том, что потребление нефти в перспективе сильно упадет, не приходится.

— **Неужели? А ведь многие ученые утверждают, что углеводородная энергетика доживает свои последние годы: 10–15 лет — и все.**

— Это не так. Нефть не закончится еще очень долгое время. Говорить о том, что мы избавимся от углеводородов, — это, на мой взгляд, просто пустая шумиха. Это несерьезно.

— **Не избавимся?**

— Мы можем перейти только на термоядерную энергию. Лучше это или хуже, не знаю. Здесь есть свои бесспорные плюсы, но и свои минусы. Все остальное — пока просто разговоры. Прорывов в альтернативной энергетике пока явно не видно, да и в традиционной эффективность за последние 40 лет не сильно выросла. Есть два способа получать доступную энергию — это мирный атом и сжигание топлива (нефть, газ, уголь, торф). КПД этих процессов превышает альтернативные источники, это просто дешевле.

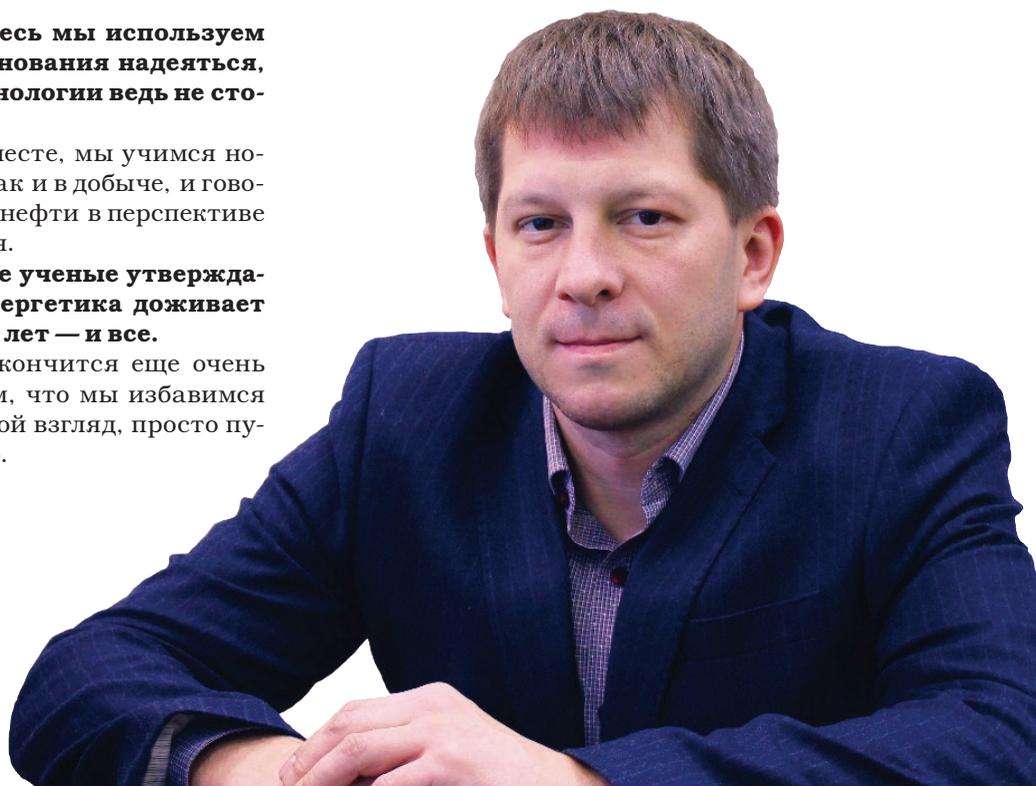
— **По вашим представлениям, на сколько нам еще хватит нефти? Или это нечто неиссякаемое, бесконечное?**

— Надолго. Сейчас все шельфовые месторождения еще не поставлены на баланс, а там достаточно серьезные запасы. Да и нефтяники не сидят сложа руки, ищут.

— **Так сколько же? Сто лет?**

— Думаю, сто лет — легко. На протяжении последних 30 лет нам все время обещают, что нефть закончится. А она все не кончается. Надо понимать, что увеличение коэффициента извлечения нефти, чем сейчас серьезно занимаются на зрелых месторождениях, отодвинет перспективы развития шельфовых проектов в Арктике на десятилетия. Ведь это намного дешевле — работать с готовой инфраструктурой, на тех месторождениях, где все уже построено, где есть логистические цепочки. Очень много нефти у Саудовской Аравии. Поэтому я считаю так: закончится — еще найдем.

— **А ведь нефть — это далеко не только топливо.**



Круг применения нефти и нефтепродуктов широк и разнообразен: ее широко используют в медицине, в косметологии, пищевой промышленности, для производства синтетических тканей, в строительстве

— Именно так. Круг применения нефти и нефтепродуктов широк и разнообразен. Ее широко используют в медицине для производства целого ряда препаратов (в том числе всем известного аспирина и антибиотиков), в косметологии, пищевой промышленности, для производства синтетических тканей, в строительстве. Представьте, что когда-нибудь мы откажемся от цемента. В строительстве сейчас происходит много нового. Есть 3D-принтеры, которые строят дома на основе полимеров. Сейчас цемента во всем мире на строительство тратится примерно столько же, сколько добывается нефти. Замещение цемента полимерными материалами в ряде отношений эффективно, потому что строить такие дома с точки зрения энергоэффективности выгодней, к тому же это полностью экологичное жилье. Такое может произойти. Но эти полимеры делаются на нефтяной основе. Поэтому говорить о том, что нефтяная эра у нас заканчивается, не приходится. А ведь есть еще природный газ. Газа в мире больше, чем нефти, и с ним тоже можно делать очень многое. Поэтому мы с оптимизмом смотрим вперед. Нефть будет нужна еще очень долго.

— А вот Германия заявляет, что к 2050 г. перестанет потреблять углеводороды...

— Наверное, они смогут себе это позволить, если будут готовы платить большое количество денег за электричество. Но Германия — маленькая страна. Для России это немыслимая роскошь. Нет более эффективных источников энергии, чем углеводороды и термоядерная энергия. Все преобразования энергии в электричество идут с меньшим КПД, и говорить о том, что электрокары — это выгодно, на данный момент просто смешно. Это не так. Чтобы заправить и запустить такую машину, мы должны потратить значительно больше энергии в другом месте.

— Зато какая экологическая польза!

— Да, с точки зрения экологии это преимущество. Но с точки зрения эффективности — нет. Надо понимать, сколько нужно альтернативных источников, чтобы покрыть нынешнюю потребность человечества в электроэнергии. В 1980 г. эффективность солнечных батарей была 13–15%. Чтобы при такой эффективности обеспечить весь мир электроэнергией, надо было построить батареи шириной в 60 км и обернуть все это вокруг экватора.

— Но сейчас количество солнечных батарей заметно возросло.

— Да, сейчас их эффективность возросла до 32%. Нам обещают, что через три-пять лет она увеличится до 60%. Хочется в это верить, но срок эксплуатации этих батарей — 20–25 лет. Как их утилизировать и что с ними делать дальше? Где окажутся все эти панели? Неизвестно. Мы видим, что у нас океаны и моря, целые континенты превращаются в свалки.

— Может быть, для этого тоже можно как-то приспособить нефть, богатую различными микроорганизмами? Ведь известно, что некоторые микробы умеют перерабатывать мусор.

— Да, бактерии разлагают углеводороды, но, честно говоря, они бессильны по отношению к пластику. Он может сохраняться десятки, сотни лет, а некоторые виды пластика — даже тысячелетия, и это тоже большая проблема.

На этом фоне говорить о том, что нефть, древнейший природный материал, сильно вредит природе, наносит серьезный экологический ущерб — это надуманные вещи. Да, бывали разливы нефти, но даже если там ничего не убиралось, трава начинала расти через два-три года. Морской фауне это, безусловно, не идет на пользу. Птицам, морским млекопитающим это вредит. Но природа справляется с этим. Конечно, не без помощи человека. На ликвидации разливов работает большое количество сотрудников и специализированной техники. Но говорить о том, что нефть наносит катастрофический ущерб природе, — это, на мой взгляд, преувеличение. Это вещества, которые породила природа, они органического происхождения, они разрушаются, и это происходит не за длительный период, естественным образом. Хотя, конечно, внимание к экологическим требованиям, технике безопасности серьезно возросло, и экологическое воздействие на те места, где происходит добыча, серьезно снижено по сравнению с тем, что было раньше.

— Итак, без черного золота нам по-прежнему никуда?

— Ну почему именно черного? Нефть бывает самых разных расцветок — бурая, светлая, даже зеленая. Нефть — великое богатство, данное нам природой. Мы не должны от него отказываться, хотя применять его надо бережно и аккуратно, чтобы не навредить ни природе, ни себе. ■

Беседовала Наталия Лескова



МАТЕМАТИКА

Неразрешимая задача

После многолетнего интеллектуального путешествия три математика выяснили, что задачу первоочередной для физики важности решить невозможно, — а это означает, что и другие фундаментальные вопросы, вероятно, тоже не имеют решения

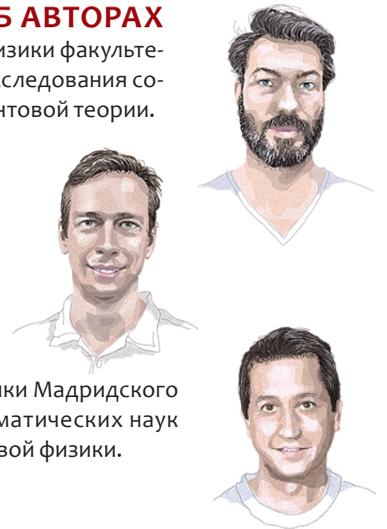
*Михаэль Вольф, Тоби Кьюбитт
и Давид Перес-Гарсиа*

ОБ АВТОРАХ

Михаэль Вольф (Michael Wolf) — профессор математической физики факультета математики Мюнхенского технического университета. Его исследования сосредоточены на математических и концептуальных основах квантовой теории.

Тоби Кьюбитт (Toby S. Cubitt) — обладатель гранта Лондонского королевского общества на проведение научно-исследовательской работы. Он читает лекции по квантовой теории информации в Университетском колледже Лондона. После защиты кандидатской диссертации по физике, научной работы в области математики и преподавания теории вычислительных систем в настоящее время работает над квантовыми проблемами, которые выходят за рамки этих областей.

Давид Перес-Гарсиа (David Pérez-García) — профессор математики Мадридского университета Комплутенсе и преподаватель Института математических наук в Мадриде. Он работает над математическими задачами квантовой физики.



Мы все трое сидели в кафе в Зефельд-ин-Тироль, небольшом городке в глубине Австрийских Альп. Стояло лето 2012 г., и мы застряли. Застряли не в кафе — ярко светило солнце, на склонах Альп сиял снег, а великолепные картины окружающей природы вызвали у нас болезненное искушение забросить подальше математическую проблему, в которой мы прочно увязли, и отправиться на природу. Мы пытались установить связь между математическими результатами, полученными Куртом Геделем и Аланом Тьюрингом в XX в., и квантовой физикой. Это, во всяком случае, было нашей мечтой. Мечтой, которая родилась еще в 2010 г., во время читавшегося в течение семестра курса квантовой теории информации в Институте Миттаг-Леффлера в пригороде Стокгольма.

Ряд вопросов, которые мы рассматривали, уже изучались другими, но для нас это направление исследований было абсолютно новым, поэтому мы начали с самого простого. В то время мы пытались доказать компактный и не очень существенный результат, чтобы прочувствовать основные идеи. Еще несколько месяцев назад мы получили доказательство этого (или близкого к нему) результата.

Но чтобы заставить доказательство работать, нам пришлось сформулировать задачу искусственным и неудовлетворительным образом. Было ощущение, что вопрос подгонялся под ответ, и мы не испытали от этого большого удовлетворения. Снова подняв эту проблему во время перерыва после первой рабочей сессии симпозиума в Зефельде, который собрал нас вместе в 2012 г., мы по-прежнему

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Знаменитое открытие Курта Геделя 1930 г. утверждает, что относительно некоторых утверждений невозможно сказать, верны они или ложны, — они всегда останутся «неразрешимыми».
- Недавно математики задались целью выяснить, попадает ли в эту категорию одна из фундаментальных задач квантовой физики — так называемая проблема спектральной щели. Спектральной щелью называется разница энергии между самым нижним энергетическим состоянием, которое может занимать материал, и следующим за ним.
- После трех лет мозгового штурма у доски, ночных расчетов и выстраивания множества теорий за кофе математики произвели на свет 146-страничное доказательство того, что проблема спектральной щели действительно неразрешима. Этот результат говорит о возможности того, что аналогичным образом, по-видимому, нет ответов и на другие важные вопросы.

не видели никаких способов обойти это препятствие. Полушутя один из нас (Михаэль Вольф) спросил: «Почему бы нам не доказать неразрешимость чего-нибудь такого, что действительно волнует людей, например проблемы спектральной щели?»

В то время мы интересовались вопросом, «решаемы» или «нерешаемы» определенные задачи физики — то есть можно ли будет когда-нибудь их решить? Мы увязли, пытаюсь исследовать вопрос разрешимости намного более простой задачи, одной из тех, что волнует лишь горстку людей. Проблема спектральной щели, которой Михаэль предложил нам всем заняться (суть ее мы объясним чуть позже), была в физике одной из задач первоочередной важности. Мы не знали в то время, разрешима эта задача или нет (хотя у нас были подозрения, что нет), или сможем ли мы доказать либо то, либо другое. Но если мы сможем, результат будет очень важным для физиков, не говоря уже о значительном математическом достижении. Честолюбивое предложение Михаэля, сделанное им едва ли не в шутку, стало для нас началом большого приключения. Три года и 146 страниц математического текста — наше доказательство неразрешимости проблемы спектральной щели было опубликовано в журнале *Nature*.

Чтобы понять, что все это значит, нам необходимо вернуться в начало XX столетия и проследить некоторые из исходных цепочек задач, которые заложили начала современной физики, математики и теории вычислительных машин. Все эти непохожие друг на друга идеи возвращают нас к немецкому математику Давиду Гильберту, часто признаваемому в качестве величайшей фигуры минувшего столетия в этой области. (Разумеется, те, кто далек от математики, о нем и не слышали. Эта научная дисциплина — не лучший путь к популярности и славе, хотя она имеет и свои плюсы.)

Математика квантовой механики

Влияние Гильберта на математику было колоссальным. Еще в ранние годы он развил раздел математики, получивший название «функциональный анализ», — в частности, область, называемую спектральной теорией, которая в конечном итоге окажется ключом к предмету нашего доказательства. Гильберт занимался этой областью математики в силу чисто абстрактного интереса. Но, как

Спектральная щель

Математическое доказательство авторов статьи имеет непосредственное отношение к вопросу о «спектральной щели» — скачку энергии между основным и первым возбужденным энергетическими состояниями материала. Когда мы говорим об энергетических состояниях, мы привыкли думать об электронах в атомах, которые могут скакать вверх и вниз между энергетическими уровнями. И если в атомах всегда существует зазор между такими уровнями, то в более крупных образцах материала, состоящих из множества атомов, иногда такого зазора нет: даже минимально возможного количества энергии будет достаточно, чтобы перевести материал в более высокое энергетическое состояние. Такие материалы называют бесщелевыми. Авторы доказали, что никогда не удастся определить, имеют ли все материалы спектральную щель или они бесщелевые.

Системы со спектральной щелью

Между всеми энергетическими уровнями существуют дискретные зазоры, и материал должен достичь определенной энергии, чтобы осуществить переход на следующий уровень.

Бесщелевые системы

Не существует никакого зазора между основным и первым возбужденным состояниями, и материал может перейти в возбужденное состояние при малейшем увеличении энергии.

это часто случается, его математика оказалась именно тем, что было необходимо для понимания вопроса, стоящего в то время перед физиками.

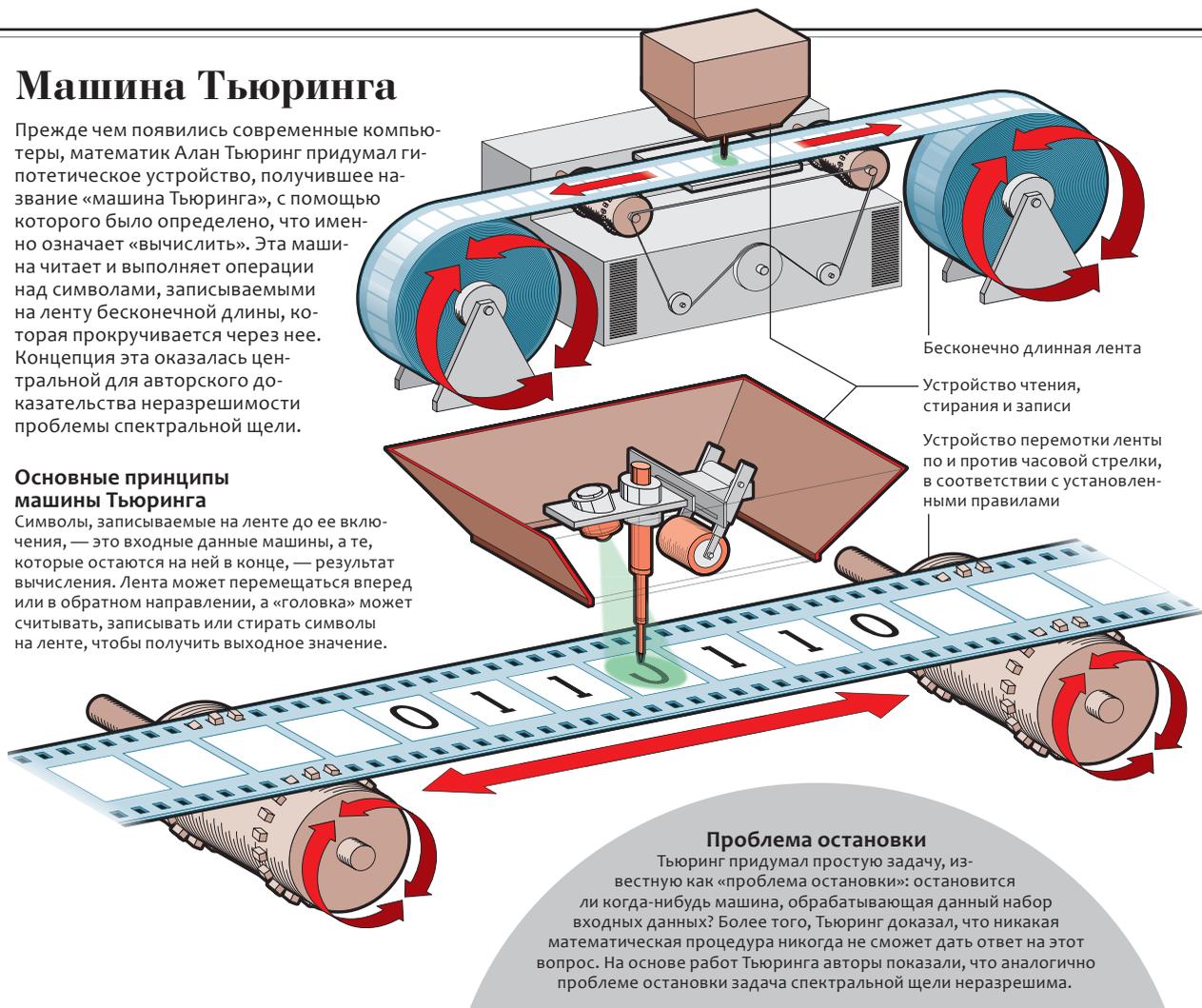
Если вы нагреете вещество, оно начинает светиться, потому что его атомы излучают свет (отсюда выражение «разогретый докрасна»). Желто-оранжевый свет натриевых ламп наружного освещения — хороший пример: атомы натрия излучают свет преимущественно с длиной волны

Машина Тьюринга

Прежде чем появились современные компьютеры, математик Алан Тьюринг придумал гипотетическое устройство, получившее название «машина Тьюринга», с помощью которого было определено, что именно означает «вычислить». Эта машина читает и выполняет операции над символами, записываемыми на ленту бесконечной длины, которая прокручивается через нее. Концепция эта оказалась центральной для авторского доказательства неразрешимости проблемы спектральной щели.

Основные принципы машины Тьюринга

Символы, записываемые на ленту до ее включения, — это входные данные машины, а те, которые остаются на ней в конце, — результат вычисления. Лента может перемещаться вперед или в обратном направлении, а «головка» может считать, записывать или стирать символы на ленте, чтобы получить выходное значение.



590 нм, в желтом участке спектра видимого излучения. Атомы поглощают или излучают свет, когда электроны внутри них «перепрыгивают» с одного энергетического уровня на другой, и частота излучения в точности соответствует величине энергетической щели между этими уровнями. Частоты излучения, испускаемого нагретым веществом, рисуют нам «картину» зазоров между различными энергетическими уровнями в атоме. Объяснение природы этого излучения было одной из проблем, с которой физики столкнулись в первой половине XX в. Вопрос этот напрямую привел к созданию квантовой механики, и математика спектральной теории Гильберта сыграла здесь первостепенную роль.

Одна из энергетических щелей между квантовыми уровнями энергии особенно важна. Самый нижний из возможных энергетических уровней в том или ином веществе называется основным состоянием. Это уровень, в котором оно находится, когда тепла совсем нет. Чтобы перевести вещество в основное состояние, ученые должны охладить его в лаборатории до невероятно низких температур.

Затем, если мы хотим, чтобы вещество как-нибудь себя проявляло, а не просто пребывало в основном состоянии, что-нибудь должно возбудить его до более высокого уровня энергии. Самый простой способ для этого — поглотить самую малую возможную порцию энергии, достаточную лишь для того, чтобы перевести его на следующий после основного энергетический уровень — первое возбужденное состояние. Энергетическая щель между основным и первым возбужденным состоянием настолько критически важна, что ее часто называют спектральной щелью.

В некоторых материалах существует большая щель между основным и первым возбужденным состоянием. В других материалах энергетические уровни спускаются непрерывно вплоть до основного состояния без какого-либо зазора. Тот факт, есть у материала энергетическая щель или нет, имеет глубокие последствия для его поведения при низких температурах. Особенно важную роль он играет в квантовых фазовых переходах.

Фазовые переходы происходят, когда материал претерпевает внезапное и резкое изменение

своих свойств. Мы все очень хорошо знакомы с некоторыми фазовыми переходами — такими как трансформация воды из своей твердой формы, льда, в жидкую при нагревании. Но существуют более экзотические квантовые фазовые переходы, которые происходят даже тогда, когда температура поддерживается чрезвычайно низкой. Например, под воздействием изменения магнитного поля, в котором находится материал, или в результате приложения высокого давления диэлектрик может превратиться в сверхпроводник, а твердое тело стать сверхтекучей жидкостью.

Каким образом в веществе может произойти фазовый переход при температуре абсолютного нуля ($-273,15^\circ\text{C}$), при которой совсем нет тепла и дать на это энергию неоткуда? Все дело в спектральной щели. Когда спектральная щель исчезает — то есть материал остается без энергетического зазора, — энергия, необходимая для того, чтобы достичь возбужденного состояния, становится равной нулю. Малейшего количества энергии достаточно, чтобы вызвать в этом материале фазовый переход. Фактически благодаря странным квантовым эффектам, которые управляют физикой при таких очень низких температурах, вещество может временно «одолжить» эту энергию из ниоткуда, совершить фазовый переход и «вернуть» энергию назад. Следовательно, чтобы понять квантовые фазовые переходы и квантовые фазы, нам необходимо определить, когда у материала есть энергетическая щель, а когда нет.

Поскольку проблема спектральной щели настолько фундаментальна для понимания квантовых фаз вещества, в теоретической физике она выходит на поверхность повсюду. Многие известные и долго остающиеся открытыми проблемы в физике конденсированного состояния сводятся к решению этой проблемы для того или иного конкретного материала. Близко связанный с ней вопрос неожиданно обнаруживается даже в физике элементарных частиц: имеются твердые свидетельства того, что фундаментальные уравнения, описывающие кварки и их взаимодействия, имеют «массовую щель». Экспериментальные данные, полученные на ускорителях элементарных частиц, таких как Большой адронный коллайдер, поддерживают эту точку зрения, так же как и множество результатов сложных математических расчетов на суперкомпьютерах. Но строгое доказательство этой идеи, исходящее из основных постулатов физики, оказалось необычайно трудным. настолько трудным, что эта задача, получившая название «проблема массовой щели в теории Янга — Миллса», была названа одной из семи «задач тысячелетия», сформулированных Математическим институтом Клэя, и любой, кто решит ее, получит награду в \$1 млн. Все эти проблемы — частные случаи общей задачи о спектральной щели. Впрочем,

в то время к нам приходили только плохие новости о попытках ее решить. Наше доказательство показывает, что общая проблема даже еще сложнее, чем мы предполагали. Суть ее сводится к задаче, называемой *Entscheidungsproblem*.

Вопросы без ответа

К 1920-м гг. Гильберт озабочился целью поставить основания математики на прочный, жесткий фундамент — амбициозное начинание, получившее название «программа Гильберта». Он полагал, что какое бы математическое утверждение ни было высказано, всегда в принципе можно доказать, что оно либо справедливо, либо ложно. (Было бы лучше не иметь возможности доказать, что оно и справедливо, и ложно одновременно, или же с математикой происходит что-то не то!) Эта идея, возможно, покажется очевидной, но математика требует формулировок с абсолютной определенностью. Гильберт требовал строгого доказательства.

В 1928 г. он сформулировал *Entscheidungsproblem*. По-немецки это звучит так, как будто кто-то от души чихнул, однако термин переводится как «проблема решения». Она сводится к вопросу, существует ли процедура или «алгоритм», который может ответить на вопрос, верно или нет то или иное математическое утверждение.

Например, справедливость утверждения «Умножение любого целого числа на 2 дает четное число» легко можно доказать, используя основы логики и арифметики. Другие утверждения менее очевидны. Как насчет следующего примера? «Если взять любое целое число и последовательно умножать его на 3 и добавлять 1, если оно нечетное, и делить на 2, если оно четное, то в конце концов вы обязательно придете к 1». (Подумайте об этом.)

К несчастью для Гильберта, его ожидания оказались тщетными. В 1931 г. Гедель опубликовал поразительные результаты, известные сегодня как «теорема о неполноте». Гедель показал, что существуют абсолютно разумные математические утверждения о целых числах, которые нельзя ни доказать, ни опровергнуть. В некотором смысле эти утверждения лежат вне досягаемости логики и арифметики. И он доказал этот тезис. Если вам трудно это себе представить, вы в хорошей компании. Теорема Геделя о неполноте потрясла основания математики до самых глубин. Вот иллюстрация идеи Геделя. Если кто-то говорит вам: «Это утверждение ложно», говорит ли он вам правду или ложь? Если он (или она) говорит правду, то это утверждение, безусловно, ложно. Но если он (или она) лжет, то оно верно. Это затруднительное положение называется парадоксом лжеца. И хотя с точки зрения языка предложение кажется абсолютно разумным, никаким способом невозможно определить, правдиво оно или ложно. Что удалось сделать Геделю — это сконструировать

строгую математическую версию парадокса лжеца, используя только простую арифметику.

Следующее главное действующее лицо в пьесе об *Entscheidungsproblem* — Алан Тьюринг, английский ученый, работавший в области теории вычислительных систем.

Широкой общественности Тьюринг известен главным образом благодаря своей роли в расшифровке кода немецкой шифровальной машины «Энигма» во время Второй мировой войны. Но среди ученых его больше всего знают как автора статьи 1937 г. «О вычисляемых числах с приложением к *Entscheidungsproblem*». Под сильным влиянием результата, полученного Геделем, молодой Тьюринг дал отрицательный ответ на гильбертовскую *Entscheidungsproblem*, доказав, что не существует общего алгоритма, позволяющего проверить, справедливо или ложно данное математическое утверждение. (Американский математик Алонзо Черч (Alonzo Church) независимо от него также доказал это — и чуть раньше Тьюринга. Но доказательство Тьюринга было в конечном итоге более значимым. Зачастую в математике доказательство того или иного результата оказывается более важным, чем сам результат.)

Для того чтобы решить *Entscheidungsproblem*, Тьюрингу пришлось дать строгое определение того, что именно означает что-нибудь «вычислить». Сегодня мы думаем о компьютере как об электронных устройствах, которые стоят на нашем столе, лежат на коленях или даже в нашем кармане. Но компьютеров в том смысле, в котором мы знаем их сегодня, в 1936 г. не существовало. Фактически слово «компьютер» (буквально «расчетчик», «вычислитель». — *Примеч. пер.*) означало человека, который выполняет вычисления с помощью пера и бумаги. Тем не менее расчеты «вручную», как вы делали это в средней школе, с математической точки зрения ничем не отличаются от вычислений с помощью современных настольных компьютеров — просто они намного медленнее и больше подвержены ошибкам.

Тьюринг придумал идеализированный воображаемый компьютер, названный машиной Тьюринга. Эта очень простая воображаемая машина абсолютно не похожа на современный компьютер, но она может вычислить все то же, что и самый мощный его вариант. На самом деле любую задачу, которую можно будет когда-либо решить (даже на квантовых компьютерах или компьютерах ХХХI в., которые еще только предстоит изобрести), теоретически можно решить и с помощью машины Тьюринга. Просто у машины Тьюринга это займет намного больше времени.

В машине Тьюринга имеются лента (или пленка) бесконечной длины и «головка», которая может считывать и записывать на ленту один символ

за одну операцию, затем передвинуться вдоль ленты на один шаг влево или вправо. Исходными данными для вычислений служат любые символы, которые были первоначально записаны на ленте, а результатом вычислений — все, что останется на ней записанным, после того как машина Тьюринга наконец завершит работу (остановится). Изобретение машины Тьюринга было даже более важным, чем решение *Entscheidungsproblem*. Дав четкое математически строгое определение того, что значит выполнить вычисление, Тьюринг заложил основы современной теории вычислительных систем.

Сконструировав свою воображаемую математическую модель компьютера, Тьюринг затем продолжил работу, доказав, что существует простой вопрос, касающийся машин Тьюринга, ответить на который не в состоянии ни одна математическая процедура: остановится ли когда-нибудь машина Тьюринга, выполняющая операции с текущим набором исходных данных? Эта проблема называется проблемой остановки. В то время этот результат вызвал шок. Математики уже свыклись с тем фактом, что любую гипотезу можно доказать, опровергнуть или невозможно разрешить никаким способом.

И тут появляемся мы

В нашей работе мы должны были снова связать все эти разрозненные нити в один узел. Мы хотели объединить квантовую механику спектральной щели, неразрешимость в теории вычислительных систем и спектральную теорию Гильберта, чтобы доказать, что, как и проблема остановки, проблема спектральной щели — одна из тех самых неразрешимых проблем, о которых нам поведали Гедель и Тьюринг.

Во время беседы в кафе в Зефельде в 2012 г. у нас родилась идея, каким образом мы могли бы доказать более слабое математическое утверждение, относящееся к проблеме спектральной щели. Мы обсудили эту идею на словах, не записав ее суть даже на салфетке, и было похоже на то, что, вероятно, она сработает. Затем началась следующая серия бесед. И на этом мы ее оставили.

Спустя несколько месяцев один из нас (Тоби Кьюбитт) заехал к Михаэлю в Мюнхен, и вдвоем мы доделали то, что не удалось сделать в Зефельде: набросали несколько уравнений на клочке бумаги и убедились, что идея рабочая. В течение нескольких следующих недель мы завершили доказательство и записали его для себя на четырех страницах. (В математике ничто не считается формально доказанным до тех пор, пока вы не запишете доказательство на бумаге — или, еще лучше, напечатаете его и покажете коллеге для проверки.) Чисто теоретически это был большой шаг вперед.



До этого идея доказать неразрешимость проблемы спектральной щели была скорее шуткой, нежели серьезным проектом. Теперь же у нас появился первый проблеск надежды, что, может быть, это действительно окажется возможным. Но предстоит еще очень долгий путь. Мы не могли выйти за рамки нашей первоначальной идеи, чтобы доказать неразрешимость собственно проблемы спектральной щели.

Ночные бдения с кофе

В качестве следующего шага мы пытались связать проблему спектральной щели с квантовыми вычислениями. В 1985 г. лауреат Нобелевской премии физик Ричард Фейнман опубликовал статью, в которой высказал идею квантовых компьютеров. В этой статье Фейнман показал, как связать основные состояния квантовой системы с процессом вычислений. Вычисление — это динамический процесс: вы вводите в компьютер исходные данные, и они проходят через несколько ступеней обработки для получения результата, а затем выводится ответ. Но основные состояния квантовой системы полностью статичны: основное состояние — это просто такая конфигурация, в которой материал находится при температуре абсолютно нулю, не совершая никаких действий. Так каким же образом она выполняет вычисления?

Ответ дает одно из основополагающих свойств квантовой механики — суперпозиция, то есть не что иное, как способность объекта находиться во многих состояниях одновременно, как, например, известный шредингеровский квантовый кот, который одновременно может быть живым и мертвым. Фейнман предложил создать квантовое состояние, которое было бы суперпозицией различных шагов в вычислительном процессе: исходные данные, каждый промежуточный шаг вычислений и окончательный результат — все сразу. Алексей Китаев из Калифорнийского технологического института позже существенно развил эту идею, сконструировав воображаемый квантовый материал, основные состояния которого были в точности похожи на это.

А что если использовать конструкцию Китаева, чтобы перевести всю историю машины Тьюринга в суперпозицию основных состояний некоторого материала? Сможем ли мы таким образом превратить проблему остановки в проблему спектральной щели? Другими словами, удастся ли нам показать, что любой метод решения проблемы спектральной щели даст решение и проблемы остановки? Поскольку Тьюринг уже показал, что проблема остановки неразрешима, это доказало бы, что проблема спектральной щели тоже неразрешима.

Идея перевести проблему остановки в квантовые состояния была не нова. Сет

Ллойд (Seth Lloyd), ныне работающий в Массачусетском технологическом институте, предложил это почти 20 лет назад, чтобы показать неразрешимость другой квантовой задачи. Дэниел Готтесман (Daniel Gottesman) из Института теоретической физики «Периметр» в Уотерлу и Сэнди Ирани (Sandy Irani) из Калифорнийского института в Ирвайне использовали идею Китаева, чтобы доказать, что даже одиночные линии взаимодействующих квантовых частиц могут демонстрировать очень сложное поведение. Фактически мы намеревались использовать версию конструкции Китаева именно Готтесмана и Ирани.

Но спектральная щель — совершенно иная задача, и мы столкнулись с математическими проблемами, которые казались непреодолимыми. Первая относилась к подготовке требуемых входных данных для машины Тьюринга. Вспомните, что неразрешимость проблемы остановки как раз относится к тому, остановится ли машина при данном наборе входных данных. Как нам сконструировать наш воображаемый квантовый материал таким образом, чтобы любые основные состояния системы можно было превратить во входные данные машины Тьюринга?

Во время работы над предыдущей задачей (той, над которой мы безуспешно бились в кафе в Зельфельде) у нас родилась идея, как справиться с ситуацией, добавив дополнительный «поворот» во взаимодействие частиц и использовав угол этого вращения, чтобы получить входные данные для машины Тьюринга. В январе 2013 г. мы встретились на конференции в Пекине и обсудили все вместе этот план. Но вскоре мы поняли: то, что нам необходимо доказать, подводит нас очень близко к противоречию с известным результатом, относящимся к квантовой машине Тьюринга. Мы решили, что прежде чем двигать проект далее, нам необходимо полное и строгое доказательство того, что наша идея рабочая.

До этого Тоби уже более двух лет был участником группы Давида Переса-Гарсии в Мадридском университете Комплутенсе. Тогда же, в январе, он перевелся в Кембриджский университет, но его новая квартира еще не была готова, и поэтому его друг и коллега, специалист в области квантовой теории информации Эшли Монтанаго (Ashley Montanago) предложил приютить его. В течение двух этих месяцев он занялся работой, давшей строгое доказательство идеи. Его друг

обычно заставлял его утром сидящим за кухонным столом, заставленным пустыми кофейными чашками, собирающегося идти спать, после того как он проработал всю ночь, обдумывая детали и заносил их в память компьютера. В конце этих двух месяцев Тоби разослал готовое доказательство.



Плиточные работы

Это 29-страничное доказательство показало, как преодолеть одно из препятствий, мешавших связать основное состояние квантового материала с вычислениями машины Тьюринга. Но на пути к цели оставалось преграда даже еще больше: в полученном нами в результате квантовом материале вообще нет никакой щели. Если в материале ее нет, проблема спектральной щели для этого конкретного материала решается сама собой: ответ кристально ясен!

Наша первая, еще со времен Зефельда, идея, которая дала более слабый результат, чем нам хотелось, позволила, тем не менее, обойти это препятствие. Ключом было использование «плиток». Представьте, что вы выкладываете пол большой ванной комнаты керамической плиткой. Более того, представьте, что ванная бесконечно большая. На плитке нанесен очень простой рисунок: каждая из четырех ее сторон окрашена в разный цвет. У вас есть различные упаковки, в каждой из которых плитки раскрашены по-разному. Представьте теперь, что в каждой упаковке бесконечное число плиток. Вы, естественно, хотите покрыть бесконечный пол ванной так, чтобы цвета соседних плиток совпадали. Возможно ли это?

Ответ на этот вопрос зависит от того, упаковки каких плиток есть в вашем распоряжении. С помощью определенных наборов цветных плиток вам удастся застелить пол бесконечно большой ванной комнаты. С помощью другого — нет. Прежде чем выбирать, упаковки с какими плитками купить, вы хотели бы понять, подойдут они или нет. К несчастью для вас, в 1966 г. математик Роберт Бергер (Robert Berger) доказал, что эта проблема неразрешима.

Один из самых простых способов покрыть бесконечную ванную комнату плитками — сначала покрыть ими небольшой прямоугольник так, чтобы цвета на его противоположных сторонах совпадали. Затем можно покрыть весь пол, просто повторяя этот прямоугольный рисунок. Поскольку плитки повторяются через каждые несколько шагов, такая картина называется периодической. Причина, по которой проблема с укладкой плитки неразрешима, состоит в том, что существуют и непериодические наборы плиток: такой рисунок покрывает бесконечный пол, но никогда не повторяется.

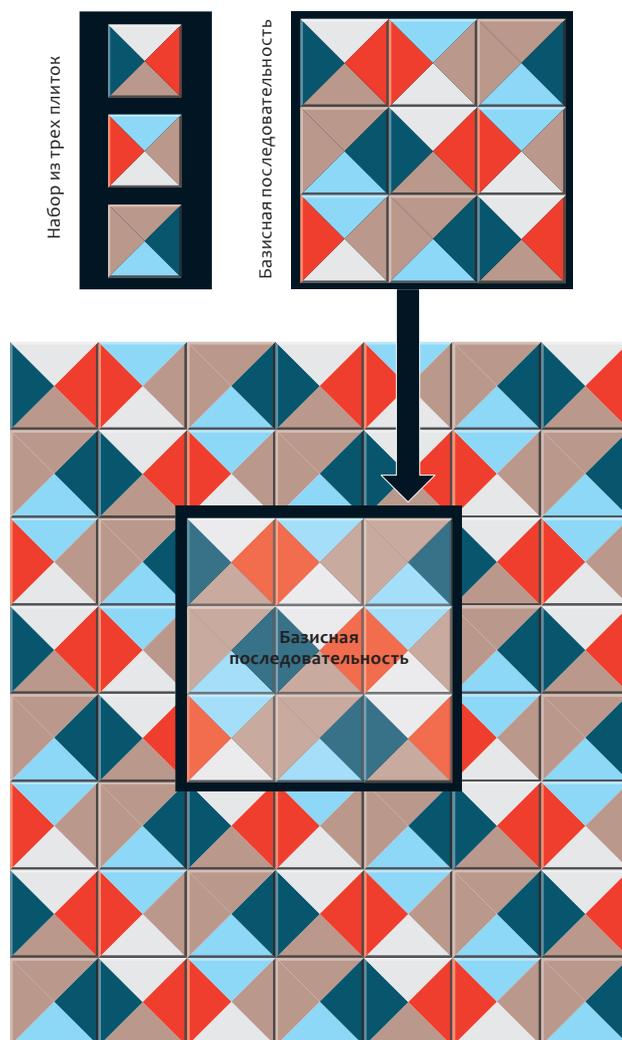
Еще тогда, когда мы обсуждали наш первый незначительный результат, мы рассматривали упрощенный вариант оригинального доказательства Бергера, полученный в 1971 г. Рафаэлем Робинсоном (Rafael Robinson) из Калифорнийского университета в Беркли. Робинсон построил 56 наборов различных упаковок плиток, которые при настилке пола образуют связанные между собой картины все более крупных прямоугольников. Такая фрактальная картина похожа на периодическую,

Укладка керамической плитки на полу ванной бесконечного размера

Чтобы связать проблему спектральной щели с проблемой остановки, авторы рассмотрели классическую математическую задачу о том, как уложить плитку на бесконечно большой пол. Представьте, что у вас есть коробка с определенным видом плиток, и вы хотите уложить их так, чтобы цвета на боковых поверхностях каждой плитки совпадали с цветом плитки, примыкающей к ней. В некоторых случаях этого результата можно достичь, замостив пол либо в виде «периодического», либо в виде фрактальной «аперiodической» картины.

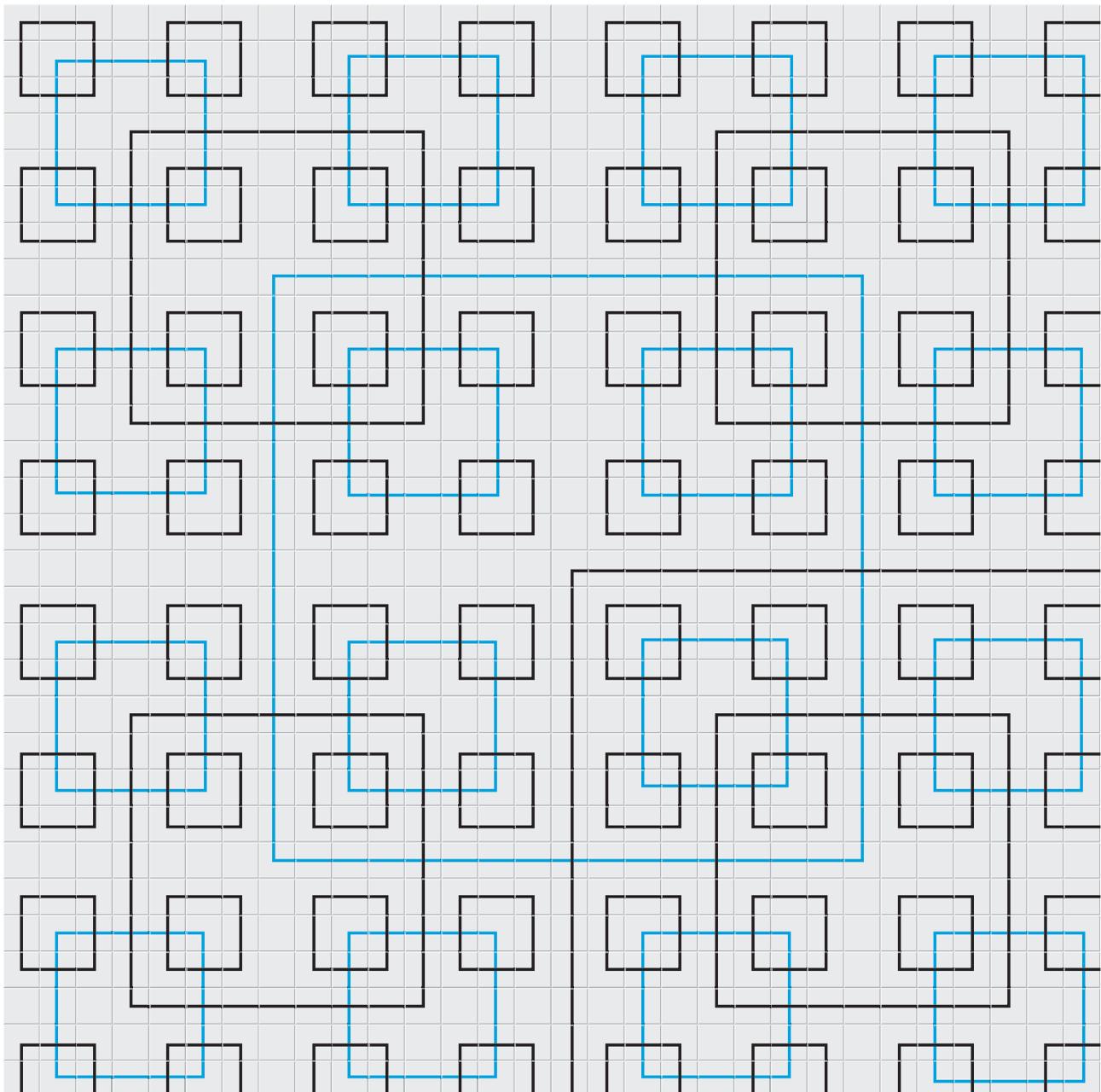
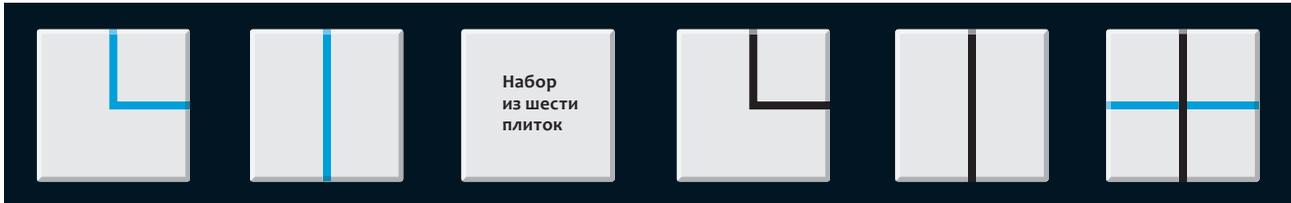
Периодический набор

Одна из версий классической задачи имеет дело с плитками трех сортов, окрашенных в пять различных цветов. В этом конкретном случае можно покрыть плитками пол с совпадением цветов всех граней, построив квадрат, в котором цвета повторяются. На противоположных сторонах такого квадрата цвета совпадают, и множество копий такого квадрата можно уложить рядом друг с другом в картину бесконечного размера.



Апериодический набор

В своем доказательстве авторы использовали специальный набор плиток, придуманный математиком Рафаэлем Робинсоном в 1971 г. Плитки Робинсона сочетаются друг с другом, образуя бесконечно расширяющуюся последовательность, которая никогда не повторяется, а образует фракталоподобную картину. Всевозможные повороты каждой из этих шести плиток разрешены. Существуют и другие способы укладки этих плиток в периодическую картину, но только лишь при условии добавления на них дополнительных линий (не показано). Робинсон разработал набор из 56 плиток, для которых невозможна никакая другая картина, кроме показанной на рисунке.



но на самом деле никогда в точности себя не повторяет. Мы бурно обсуждали, как можно использовать результаты, полученные для плиток, чтобы доказать неразрешимость квантовых свойств. Но в то время о спектральной щели мы даже не задумывались. Идея тихо дремала.

В апреле 2013 г. Тоби нанес визит Чарли Беннетту (Charlie Bennett) в Исследовательский центр Томаса Уотсона компании IBM. Среди множества достижений Беннетта еще до того, как он стал одним из отцов-основателей теории квантовой информации, была его основополагающая работа по машинам Тьюринга, выполненная в 1970-х гг. Мы хотели прояснить у него несколько технических деталей нашего доказательства, чтобы удостовериться, что мы ничего не упускаем из виду. Он сказал, что не задумывался над этой проблемой уже более 40 лет и более молодому поколению давно пора ею заняться. (Затем он продолжил объяснять некоторые тонкие математические детали своей работы 1970-х гг., оказавшиеся очень полезными и убедившие нас, что наше доказательство верно.)

У Беннетта огромная научная библиотека. Поскольку мы беседовали о машинах Тьюринга и проблеме неразрешимости, он отправил нам по электронной почте копии старых статей по неразрешимости, которые, по его мнению, могли бы нас заинтересовать. Одной из них была та же самая статья Робинсона 1971 г., которую мы уже изучили ранее. Теперь пришло время, чтобы идеи, семена которых были посеяны во время наших прежних дискуссий, принесли плоды. Заново перечитав статью Робинсона, мы поняли, что это — именно то, что нам было необходимо, чтобы предотвратить исчезновение спектральной щели.

Нашей первоначальной идеей было закодировать одну из копий машины Тьюринга в основное состояние. Тщательно задав схему взаимодействия между частицами, в случае остановки машины Тьюринга мы могли бы немного поднять энергию основного состояния. Наличие или отсутствие спектральной щели — энергия перехода в первое возбужденное состояние — будет тогда зависеть от того, остановится машина Тьюринга или нет. С этой идеей была лишь одна проблема, и эта проблема была огромной. По мере увеличения числа частиц дополнительный вклад в энергию основного состояния все больше приближается к нулю, сводя все к материалу, не имеющему энергетической щели.

Но чтобы этого не случилось, мы могли бы, воспользовавшись плиточной структурой Бергера, запрограммировать множество одинаковых копий машины Тьюринга в основное состояние. По сути, мы могли бы сопоставить одну копию машины

каждому квадрату плиточной структуры Робинсона. Поскольку это одинаковые копии одной и той же машины Тьюринга, если остановится одна из них, остановятся и все остальные. Энергетический вклад всех этих копий суммируется. По мере увеличения числа частиц увеличивается и число квадратов плиточной структуры. Таким образом, число копий машины Тьюринга растет, и их вклад в энергию становится очень большим, давая нам возможность наблюдать спектральную щель.



Экзамены и дедлайны

В решении, которое мы получили, оставалось одно существенно слабое место. Мы ничего не могли сказать относительно величины энергетической щели, когда она появляется в материале. Эта неопределенность оставляла возможность для критики нашего результата, так как эта щель могла быть настолько мала, как если бы и не существовала вообще. Нам нужно было доказать, что энергетическая щель, когда она появляется, на самом деле большая. Первое решение, которое мы нашли, родилось на основе анализа материалов в трех измерениях, а не планарных, которые мы рассматривали до сих пор.

Когда не перестаешь размышлять над математической задачей, решение часто приходит в самых неожиданных ситуациях. Давид мысленно обдумывал детали этой идеи, наблюдая за ходом экзамена. Прохаживаясь между рядами столов в учебной аудитории, он не обращал никакого внимания на студентов, упорно работающих над заданием вокруг него. Когда экзамен закончился, он вверил эту часть доказательства бумаге.

Теперь мы знали, что получение большой спектральной щели возможно. Сможем ли мы получить ее в двух измерениях, или же три — необходимое условие? Вспомните проблему укладки плитки на полу ванной бесконечно большого размера. Нам лишь требовалось показать, что в случае плиток Робинсона, если у вас где-то затесалась одна неправильная плитка, при этом у всех остальных цвета согласуются, то образованная ими картина будет нарушена только в небольшой области с центром в неправильной плитке. Если бы нам удалось доказать такую «устойчивость» картины, составленной из плиток Робинсона, это означало бы, что нельзя получить небольшую спектральную щель, лишь чуть-чуть нарушив плиточную картину.

К концу лета 2013 г., мы поняли, что имеем на руках все компоненты для того, чтобы наше доказательство заработало. Но все еще нужно было доработать несколько крупных деталей, например доказать, что устойчивость плиточной картины можно впести в одну канву с другими





компонентами доказательства, чтобы добиться окончательного результата. В Институте математических наук Исаака Ньютона в Кембридже в течение всего осеннего семестра 2013 г. обосновалась специальная рабочая группа по квантовой информации. Нас всех пригласили участвовать в ней. Это было прекрасной возможностью вместе поработать над завершением проекта. Но Давид не мог долго оставаться в Кембридже, и мы были полны решимости завершить доказательство до того, как он уедет.

В Институте Исаака Ньютона доски повсюду — даже в ваннных комнатах! Для наших дискуссий мы выбрали одну из таких досок в коридоре (ближайшую к кофемашине). Мы проводили долгие часы у доски, добавляя недостающие идеи, затем делили между собой задачу — придать этим идеям математическую строгость. Этот процесс всегда занимает гораздо больше времени и усилий, чем кажется у доски. Поскольку дата отъезда Давида уже маячила на горизонте, мы работали без перерыва целыми днями и большую часть ночей. Лишь за несколько часов до того, как он уехал домой, мы наконец завершили доказательство.

В физике и математике ученые, прежде чем отправить статью в журнал для экспертной оценки, сначала публично обнародуют большую часть своих результатов, размещая черновой вариант статьи на сервере препринтов *arXiv.org*. Хотя теперь мы были достаточно уверены в том, что в целом доказательство верно и что самая трудная часть работы осталась позади, оно еще не было готово к отправке в редакцию. Нужно было добавить много математических деталей. К тому же мы хотели переписать и привести статью в порядок (мы надеялись в ходе этого процесса уменьшить число страниц, хотя в результате в этом мы потерпели полное поражение). Но самое главное — хотя по крайней мере один из нас проверил каждую часть доказательства, никто не просмотрел его полностью от начала до конца.

Летом 2014 г. Давид вместе с Михаэлем находился в академическом отпуске в Мюнхенском техническом университете. Тоби выехал, чтобы присоединиться к ним. Мы планировали потратить это время на то, чтобы строчка за строчкой проверить и полностью завершить доказательство. Давид и Тоби работали в одном кабинете. Каждое утро Давид появлялся с новой распечаткой черновика статьи, испещренного замечаниями и вопросами на полях и во вложенных дополнительных листах. Мы все трое обычно пили свой кофе, а затем переходили к вопросу, который остался нерешенным с прошедшего дня, обсуждая следующий раздел доказательства у доски. После обеда мы делили

между собой работу по переписыванию статьи, добавлению нового материала и просмотру следующего раздела доказательства. Тоби мучился из-за смещения

позвоночного диска и не мог сидеть, поэтому он водружал свой ноутбук на дно перевернутой корзины для мусора, которую взгромоздил на свой стол. Давид садился напротив за своим столом, почти все пространство которого занимала растущая стопка печатных отписок и рукописных листков. Несколько раз мы находили значительные пробелы в доказательстве. Они оказались преодолимыми, но устранение этих пробелов приводило к еще большему его разрастанию. Число страниц продолжало увеличиваться.

Спустя шесть недель мы проверили, довели до совершенства и улучшили каждую строчку доказательства. Еще шесть месяцев потребовалось, чтобы довести всю работу по написанию статьи до конца. И, наконец, в феврале 2015 г. мы загрузили статью на *arXiv.org*.



Что все это означает

Что в конечном итоге говорят нам эти 146 страниц мудреной математики?

Первое и самое главное: они дают строгое математическое доказательство того, что один из фундаментальных вопросов квантовой физики в общем случае не имеет решения. Заметьте, что слова «в общем случае» здесь критически важны. Хотя проблема остановки в общем случае неразрешима, для частных случаев входных данных машины Тьюринга часто все-таки возможно сказать, остановится она или нет. Например, если первая команда на входе — «стоп», ответ тривиален. То же самое будет, если первая команда приказывает машине Тьюринга заикнуться. Таким образом, хотя неразрешимость подразумевает, что проблему спектральной щели нельзя решить для всех материалов, она полностью разрешима для некоторых конкретных материалов. В сущности, физика конденсированного состояния полна таких примеров. Тем не менее наш результат строго доказывает, что даже исчерпывающе полного описания микроскопического взаимодействия между частицами материала не всегда достаточно, чтобы сделать вывод о его макроскопических свойствах.

Вы, возможно, спросите себя, имеет ли этот результат какое-либо значение для «настоящей физики». Ведь в конце концов ученые всегда могут попытаться измерить спектральную щель экспериментально. Представьте себе, что мы смогли разработать квантовый материал исходя из нашего математического доказательства и получить его образец в лаборатории. Его взаимодействия настолько сложны, что задача эта лежит далеко-далеко за пределами того, что, вероятно, когда-либо

будет под силу ученым. Но если мы все же сумели бы получить его образец и попытались бы измерить его спектральную щель, материал не смог бы просто всплеснуть руками и воскликнуть: «Я ничего не могу вам сказать — это неразрешимо». Эксперимент должен будет показать определенное значение щели.

Ответ на этот парадокс в том факте, что, строго говоря, термин «наличие» или «отсутствие» относительно спектральной щели имеет математический смысл, только когда образец этого материала бесконечно большой. Но обратите внимание: 10^{23} или около того атомов, составляющих даже совсем небольшой образец материала, на самом

Проблему спектральной щели нельзя решить для всех материалов, она полностью разрешима для некоторых конкретных материалов. Тем не менее наш результат строго доказывает, что даже исчерпывающе полного описания микроскопического взаимодействия между частицами материала не всегда достаточно, чтобы сделать вывод о его макроскопических свойствах

деле — очень большое число. Для обычного материала это достаточно близко к бесконечности, чтобы не было заметно никакой разницы. Однако для очень странного материала, сконструированного в нашем доказательстве, понятие «большой» не равнозначно бесконечности. Возможно, с 10^{23} атомами эксперимент покажет, что этот материал не имеет щели. Для того чтобы быть уверенными, вы берете образец материала размерами в два раза больше и снова проводите измерение. Щель по-прежнему отсутствует. Затем как-то поздно ночью ваш аспирант заходит в лабораторию и добавляет всего один

дополнительный атом. На следующее утро, когда вы снова измеряете его, у материала появляется щель! Наш результат показывает, что размер, при котором может произойти переход, невозможно рассчитать (в том самом смысле Геделя — Тьюринга, с которым вы уже хорошо знакомы). На сегодня это сюжет гипотетический, поскольку мы не можем создать материал такой сложности. Но подкрепленный строгим математическим доказательством, он показывает, что ученые должны быть особенно внимательными, когда экстраполируют результаты экспериментов, чтобы сделать вывод о свойствах этого же материала в образцах больших размеров.

А теперь вернемся к проблеме Янга — Миллса, то есть к вопросу о том, допускают ли уравнения, описывающие кварки и их взаимодействие, существование массовой щели. Компьютерное моделирование показывает, что ответ на него положительный, но наш результат дает основания предполагать, что получение достоверного ответа на него со стопроцентной уверенностью — совсем другое дело. Не случится ли так, что доказательство существования массовой щели Янга — Миллса, полученное с помощью компьютерного моделирования, рассыплется, если мы проведем моделирование для немного большего образца? Наш результат не может дать на это ответ, но он открывает двери для интригующей возможности того, что проблема Янга — Миллса и другие проблемы, важные для физики, по всей видимости, неразрешимы.

А что стало с тем первоначальным небольшим и не очень существенным результатом, который мы пытались доказать столько лет назад в кафе в Австрийских Альпах? По правде говоря, мы все еще над ним работаем. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Undecidability and Nonperiodicity for Tilings of the Plane. Raphael M. Robinson in *Inventiones Mathematicae*, Vol. 12, No. 3, pages 177–209; September 1971.
- Undecidability of the Spectral Gap. Toby S. Cubitt, David Pérez-García and Michael M. Wolf in *Nature*, Vol. 528, pages 207–211; December 10, 2015. Препринт доступен по адресу: <https://arxiv.org/abs/1502.04573>

Вход без прививки воспрещен!

Закон об обязательной иммунизации школьников работает

Марк Фишетти

Число детей в США, иммунизированных по полной программе против таких потенциально смертельных заболеваний, как дифтерия и корь, до 2011 г. уменьшалось. С тех пор процесс стал замедляться, а кое-где приобрел обратный характер. Особенно заметен он среди детей, посещающих детские учреждения, на фоне малышей от 19 до 35 месяцев, поскольку, согласно законодательству, в детский сад принимают только тех, которые прошли полный курс прививок. Законы в разных штатах различаются в деталях, но сходятся в одном: «Мы должны защитить наших детей! Кто против?» — говорит Уильям Шаффнер (William Schaffner), профессор профилактической медицины Университета Вандербилта.

Но успокаиваться рано: в старших возрастных группах показатели размываются, возможно потому, что в некоторых штатах не требуется непременно проходить полный курс вакцинации, а родители без труда получают разрешение для своих чад на отсрочку прививок. Молодые родители часто добиваются этого по незнанию — они считают заболевания, против которых требуется делать прививку, неопасными, поскольку в старших классах или университетах о них не говорят, акцентируясь на вопросах безопасности секса и наркозависимости.

Перевод: С.Э. Шафрановский

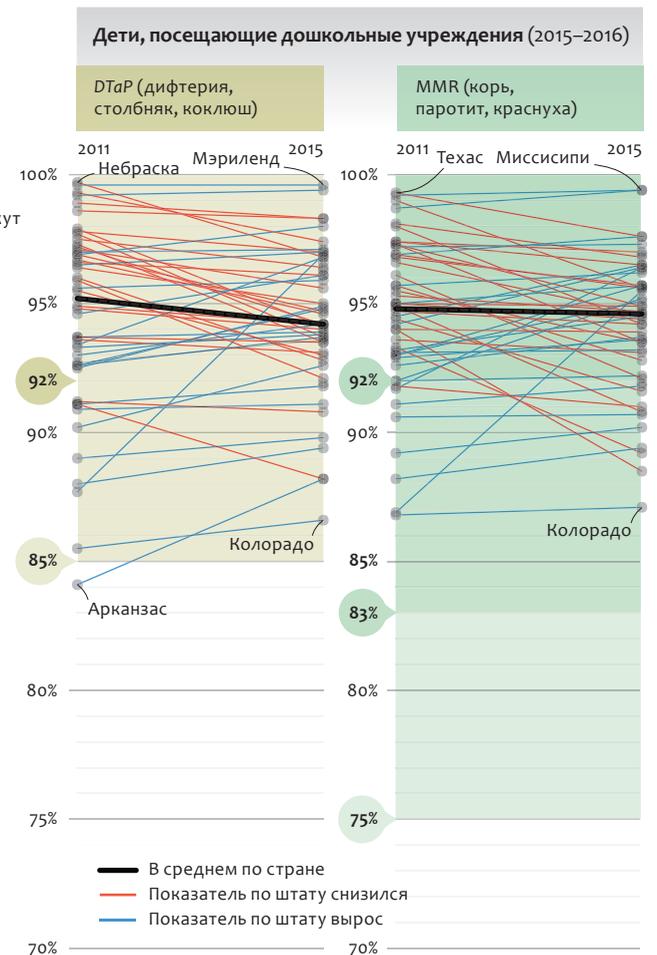
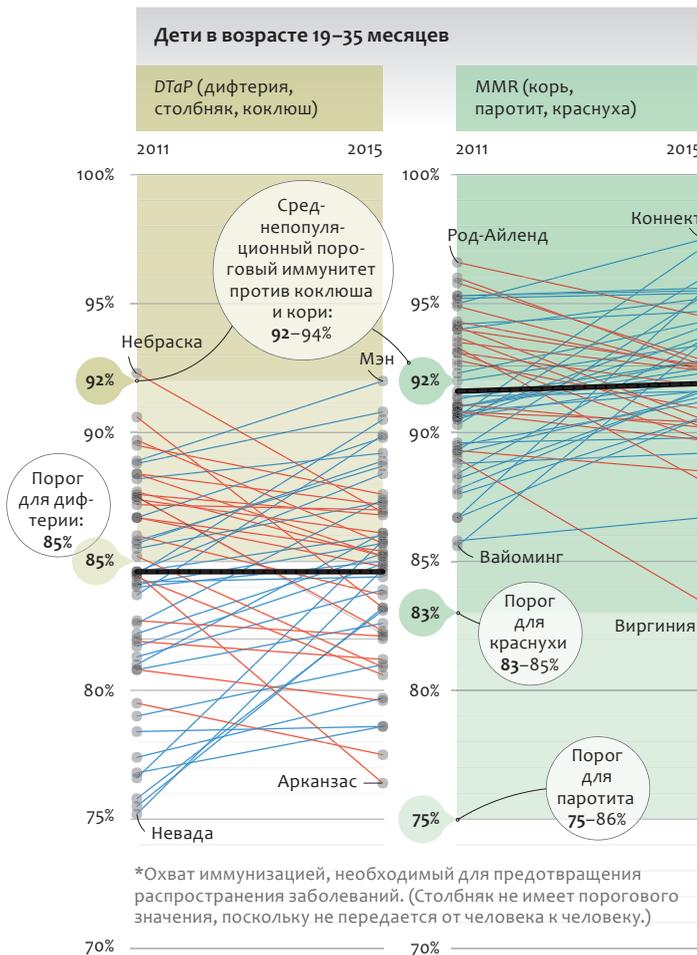
Сколько доз?

Центры по контролю и профилактике заболеваний США дают следующие рекомендации: четыре дозы DTaP-вакцины и одну дозу MMR детям от 19 до 35 месяцев; пять доз DTaP и две дозы MMR детям от четырех до шести лет (последних рекомендаций придерживается большинство штатов при записи детей в школу).

Больше никаких исключений

Некоторые родители обходят закон об иммунизации для детей, поступающих в детское учреждение, что снижает средние показатели по штатам. В 2016 г., когда власти Калифорнии запретили рассматривать заявления родителей об отказе от иммунизации по религиозным или иным соображениям, число исключений по медицинским показателям — заверенных врачом или сфальсифицированных — утроилось по сравнению с 2015 г.

Изменение охвата вакцинацией (2011–2015)



SOURCE: CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION; Graphic by Jan Willem Tulip



ПУСК, ЛОЖЬ И ВИДЕО

Системы искусственного интеллекта позволяют любому из нас манипулировать аудио- и видеоинформацией. Это несет с собой страшную угрозу человечеству: подобные действия могут привести к тому, что мы перестанем доверять чему бы то ни было

Брук Борел

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Быстрое развитие технологий искусственного интеллекта создает условия для автоматизированного создания фейковых видео- и аудиопродуктов. Есть опасность, что распространение дезинформации через социальные сети отрицательно скажется на политической стабильности.
- Компьютерщики работают над созданием ИИ-детекторов, отлавливающих фейковые видео, но они не успевают за теми, кто придумывает новые способы манипуляции данными. Социологи полагают, что усилий одних только инженеров недостаточно для решения проблемы.
- Сфабрикованные новости, представленные в печати, сыграли особенно важную роль в создании неблагоприятной атмосферы во время выборов в США в 2016 г. Исследователи полагают, что фейковые видео особенно эффективны в разжигании страха — эмоции, которая усиливает действие вирусного контента. Все вместе взятое может подорвать наше доверие к любым СМИ, в том числе и не замеченным в подделках.

ОБ АВТОРЕ

Брук Борел (Brooke Borel) — журналистка, автор книги «Чикагское руководство по проверке фактов» (*The Chicago Guide to Fact-Checking*, 2016). Недавно с серьезным отрывом выиграла соревнование с ИИ-программой проверки фактов.



В апреле этого года в интернете получило широкое распространение свеженькое выступление Барака Обамы. Стоя на фоне двух флагов, государственного и президентского, в белоснежной рубашке и черном костюме, Обама, глядя прямо в камеру, отчеканил: «Президент Трамп — полное и законченное ничтожество».

Не переставая улыбаться, он продолжил: «А сейчас вы увидите, что ничего подобного я не говорил. По крайней мере публично. Но это мог сделать кто-нибудь другой». Экран разделился пополам, и на второй его половине появился актер и режиссер Джордан Пил; и все поняли, что на самом деле запись обращения Обамы — в полном соответствии с его мимикой и интонациями — «дублировал» Пил как своего рода цифровой чревоуещатель. Но речь эта была подвергнута манипуляциям.

В наш век фейковых новостей это видео оказалось социальной рекламой, созданной новостной интернет-компанией *BuzzFeed News* и проиллюстрировавшей возможности применения новейшей технологии искусственного интеллекта, которая позволяет делать с аудио- и видеоматериалом то же, что и фотопшоп с цифровыми изображениями: манипулировать реальностью.

Результат получился не высшего класса. Внимательно присмотритесь и прислушайтесь к речи Обамы, и вы поймете, что говорит он слегка в нос. В какие-то моменты положение его губ не совпадает с текстом. Но эта быстро развивающаяся технология, предназначенная для создателей видеороликов и голливудских кинофильмов, превосходит все, что могли себе представить эксперты по безопасности и специалисты в области медиа. Следующее поколение этих технологий позволит создавать фейковые «реальности» из каких-то намеков — не с помощью искажения существующего материала, как в случае с Обамой, а за счет конструирования событий, которых никогда не было.

Последствия таких манипуляций непредставимы. Допустим, например, что приближаются выборы — и тут появляется фейковое видео дебатов,

порочащее одного из претендентов. Или накануне публичного размещения ценных бумаг какой-нибудь крупной компании выпускается ролик с нападением на директора. Можно соорудить сюжет с никогда не имевшей места террористической атакой — и т.д. Даже если впоследствии будет доказано, что все эти новости — фальшивки, у аудитории вполне могут остаться сомнения в этом. Может даже случиться так, что мы перестанем верить практически всему, что видим и слышим, хотя многое из этого — правда.

Эксперты-технологи осознают скрытую опасность этой технологии, если применять ее в ненадлежащих целях. «Но пока они зациклились на привлекательности ее использования для обнаружения и раскрытия разного рода сведений, мало кого интересует, влияет ли это хоть как-то на восприятие фейковых видео», — говорит Нейт Персилли (Nate Persily), профессор юриспруденции Стэнфордского университета. Среди прочего Персилли исследует, какое влияние оказывает интернет на демократические институты; он входит в группу специалистов, утверждающих, что ограничить распространение дезинформации невозможно с помощью одних только технических инструментов. При решении вопроса о том, как адаптировать технологию к реальному миру, не обойтись без психологов, социологов, экспертов в области массмедиа.

«Мы должны заняться этим немедленно, — говорит он, — потому что в настоящее время в обсуждении возможностей видео, созданного с помощью искусственного интеллекта, лидирующие позиции занимают сторонники технологий». Наше доверие к демократическим институтам — правительству,



Технология, разработанная для изготовления виртуальных видеоэпизодов в кинофильмах (1), превратилась в инструмент создания фейковых видео (2) для распространения дезинформации

прессе и т.д. — падает. Сейчас, когда социальные медиа играют роль ведущего канала распространения информации, влиять на публику с помощью фейковых новостей стало еще проще. И в отсутствие стратегии, противостоящей бесконтрольному распространению все более сложных технологий, наше хрупкое доверие может рассыпаться в прах.

Вполне безобидное начало

Своими корнями фейковые видео уходят в 1960-е гг., когда появились изображения, созданные с помощью компьютеров. В 1980-х гг. эти спецэффекты вышли на передовые позиции, и с тех пор фанаты кино наблюдают, как технология развивается: от научно-фантастических фильмов до рукопожатия Форреста Гампа и Кеннеди в 1994 г. и оживления Питера Кушинга и Кэрри Фишера

в фильме «Изгой-один», спин-оффе киносатиры «Звездные войны». Целью всегда было «создание цифрового мира, где происходят любые невероятные события, — говорит Хао Ли (Hao Li), доцент кафедры компьютерных технологий Университета Южной Калифорнии и руководитель стартапа в области дополненной реальности под названием *Pinscreen*. — Как создать что-то, что кажется реальным, но на самом деле виртуально?»

В самом начале графикой в основном занимались художники, использовавшие компьютеры для создания трехмерных моделей, которые они затем раскрашивали вручную и пририсовывали различные детали, — весьма трудоемкий процесс. Примерно 20 лет назад некоторые специалисты в области компьютерного зрения пришли к следующей идее: вместо того чтобы тратить время на создание индивидуальных моделей, не лучше ли обучить компьютеры работать прямо с нашими данными? В 1997 г. ученые

из *Interval Research Corporation* в Пало-Алто, штат Калифорния, разработали систему *Video Rewrite*, которая нарезала видеоизображение и изменяла конфигурацию исходного материала. Они создали клип, в котором Джон Кеннеди говорит: «Я никогда не встречался с Форрестом Гампом». Вскоре исследователи из Института биологической кибернетики Общества Макса Планка в Тюбингене научили компьютер извлекать черты лица из набора данных, состоящего из 200 трехмерных сканов человеческих лиц, для создания изображения нового лица.

Значительный прорыв в разработке систем, объединяющих компьютерное зрение, обработку данных и автоматизацию, произошел в 2012 г. и был связан с достижениями в таком направлении искусственного интеллекта, как глубокое обучение. В отличие от работ 1990-х гг., в которых

использовались статические данные и было невозможно совершенствование, глубокое обучение более адаптивно. Как поясняет Сяочан Ли (Xiaochang Li) из Института истории науки Общества Макса Планка в Берлине, объекты, например изображение лица, представляют в виде битов данных. «Это тот случай, когда инженеры говорят: «Мы больше не собираемся моделировать объекты. Мы хотим моделировать наше пренебрежение ими и просто вводить данные, чтобы понять закономерности»».

В глубоком обучении используются слои простых математических функций — нейронные сети, которые со временем все лучше выполняют задачу. Например, компьютерщик может научить инструмент машинного обучения распознавать лица людей, вводя в компьютер сотни и даже тысячи фотографий и каждый раз сообщая: «Это лицо» или «Это не лицо». В конце концов, когда появляется изображение нового человека, система распознает ключевые признаки, связанные с чертами человеческого лица, и отвечает: «Это тоже лицо».

Далее компьютерщики научились создавать изображения, похожие на лица реальных людей, используя алгоритм глубокого обучения под названием «генеративные сети». Логика была той же: обучение сетей на сотнях и тысячах изображений. Но теперь сеть основывалась на шаблонах, собранных из предъявленных образцов, для создания нового лица. Некоторые компании сегодня используют тот же подход в области аудио. В этом году *Google* торжественно представила систему *Duplex*, ИИ-ассистента, основанного на программном обеспечении *WaveNet*, позволяющем совершать телефонные звонки и издавать звуки, как обычный человек, включая такие междометия, как «О!», «Хм» и т.д. В будущем для получения фейковых видео политических деятелей не нужно будет использовать имитаторов, таких как Пил. В апреле 2017 г. запущенный в Канаде стартап *Lyrebird* представил аудиоролик с синтезированными голосами Обамы, Трампа и Хиллари Клинтон.

Но для обучения генеративных сетей нужны большие объемы данных и значительные трудовые ресурсы. Следующим шагом должно стать обучение ИИ самотренировке. В 2014 г. в Монреальском университете проделали такую работу с генеративно-состязательной сетью (*GAN*); она состоит из двух нейронных сетей, которые вступают в диалог друг с другом. Одна сеть представляет собой генератор, предъявляющий фейковые изображения, другая — дискриминатор, который учится отличать реальность от фейков. Без всякого вмешательства человека сети обучают друг друга, соревнуясь: дискриминатор заставляет генератор производить все более реалистичные фейки,

а генератор пытается обмануть дискриминатор. *GAN* могут проделывать манипуляции самого разного рода. Так, система, созданная в Калифорнийском университете в Беркли, может превратить изображения лошадей в изображения зебр или трансформировать картины импрессионистов, например Моне, в живые реалистичные сценки.

В мае этого года в Институте информатики Общества Макса Планка в Саарбрюккене изготовили «глубокое видео», в котором использовали один из типов *GAN*. Актер мог контролировать движения глаз, губ, мышц лица другого человека в предварительно отснятом материале. Сегодня метод работает только с портретными изображениями, где человек смотрит прямо в камеру. Если он изменит положение тела слишком сильно, в изображении появятся заметные цифровые искажения, например размытие пикселей вокруг лица.

«Мы никогда не станем победителями в этой игре. Нам под силу лишь усложнить жизнь нашим противникам».

— Алексей Эфрос, Калифорнийский университет в Беркли

Пока с помощью *GAN* не удастся создавать сложные видеосюжеты, неотличимые от снятых. Иногда в результате получаются нелепые картинки, например человек с глазом во лбу. Но в феврале этого года компания *NVIDIA* нашла способ получать изображение лиц с небывалым разрешением, начав процесс с тренировки *GAN* на относительно небольших фотографиях и постепенно, шаг за шагом, повышая разрешение. Группа под руководством Хао Ли из Университета Южной Калифорнии использовала *GAN* для создания реалистичных изображений кожи, зубов и рта, что не под силу цифровой реконструкции.

Любая из этих технологий подвластна только узким специалистам. Но опыт *BuzzFeed* дает некоторые наметки на возможное будущее. Видео было создано с использованием бесплатной программы *FakeApp*, в которой применяется алгоритм глубокого обучения, но не *GAN*. В результате получают фейковые видео, которые прозвали «глубокими фейками», или «дипфейками» (гибрид «глубокого обучения» и фейков), в честь одного из первых создателей подобных роликов, пользователя сайта *Reddit*, применившего новую технологию для «пересадки» лиц знаменитостей порнозвездам. С тех пор многочисленные сетевые шутники создали с помощью *FakeApp* тысячи разнообразных видео,

по большей части безобидных. Так, в результате их манипуляций Николас Кейдж появился в фильмах, где он никогда не играл, а лицо Трампа совместили с фигурой Ангелы Меркель. Однако подтекст более зловеющий: сегодня любой, у кого есть компьютер, имеет возможность проделывать такие штуки.

Поле для фейков

Экспертов давно беспокоит, что компьютерное редактирование разрушает реальность. Еще в 2000 г. авторы одной из статей в *MIT Technology Review* предупреждали, что «видеть больше не означает верить» и что изображения «в вечерних новостях могут быть фейком — фальшивкой, созданной с помощью новой технологии манипулирования видео». Прошло 18 лет, но фейковые видео так и не вытеснили настоящие — и в первую очередь потому, что качественную фейковую продукцию все еще трудно создавать. *BuzzFeed* понадобилось 56 часов работы и помощь профессиональной программы-видеоредактора, чтобы сделать клип с участием Обамы.

Нужно учесть, что изменился и способ получения информации. Сегодня только половина взрослых американцев смотрят новости по телевизору, а две трети пользуются социальными сетями. С появлением интернета широкое распространение получили СМИ, обслуживающие специфическую аудиторию, в том числе сайты, распространяющие исключительно предвзятую информацию, намеренно подогревающие гнев и не соответствующие журналистским стандартам. Через интернет фейковые новости распространяются гораздо быстрее, чем когда-либо прежде. А помехи в фальшивых видео на маленьких дисплеях мобильных устройств гораздо менее заметны, чем на экранах обычных телевизоров.

Но что произойдет, если какой-нибудь дипфейк серьезного социального или политического содержания станет вирусным? На это даже специалист высочайшего класса ответит: «Не знаю», считает Джули Карпентер (Julie Carpenter) из *Ethics + Emerging Sciences Group* при Политехническом университете штата Калифорния в Сан-Луис-Обиспо, которая занимается исследованиями в области взаимодействия человека и робота. Возможно, мы получим ответ на этот вопрос во время выборов в Конгресс США.

Мы уже были свидетелями неудачных попыток придать логичность дезинформации. Фальшивые новости — сфабрикованные тексты, составленные так, чтобы их было трудно отличить от реальных новостей, — тема, которая широко обсуждалась в связи с президентскими выборами в США в 2016 г. Согласно анализу, проведенному совместно специалистами из Принстонского университета, Дартмутского колледжа и Эксетерского

университета в Англии в период между 7 октября и 14 ноября 2016 г., сайты с фейковыми новостями, в основном каналы из ленты новостей *Facebook*, посещал каждый четвертый житель США. Более того, в том же году наблюдался небывалый спад доверия к журналистам. По одной из оценок, всего 51% демократов и 14% республиканцев заявили, что они доверяют массмедиа.

Аналитических работ, посвященных фейковым печатным новостям, совсем немного. Однако некоторые исследователи полагают, что достаточно увидеть сфабрикованную информацию единожды, чтобы в дальнейшем нечто сходное показалось вполне правдоподобным, говорит Гордон Пенникук (Gordon Pennycook), доцент кафедры организационного поведения Реджайнского университета в канадской провинции Саскачеван. Точная причина этого феномена неизвестна. Если вы услышите, как Обама нелестно отзывается о Трампе, а затем натолкнетесь на другую фальшивку такого же рода, вы, возможно, с большей легкостью поверите, что это правда, потому что это знакомо.

По данным исследований, проведенных в Массачусетском технологическом институте, где проанализированы 126 тыс. сюжетов, размещенных в *Twitter* за период 2006–2017 гг., мы также больше склонны делиться фейковыми новостями, чем реальными, — и в первую очередь это касается политических событий. Новости о них распространяются быстрее, чем новости о финансах, природных катастрофах или террористических актах. Создается впечатление, что общество просто жить не может без сообщений о новых событиях. Они подхлестывают наши эмоции, воздействуют на самоидентификацию, подталкивают к тому, чтобы мы немедленно начинали что-то делать, еще не осмыслив ситуацию. Чем больше нас задевает очередной сюжет, тем скорее мы вовлекаемся в описанные в нем события и тем эмоциональнее реагируем.

Беспокоит тот факт, что видео — особенно эффективный способ разжигания страхов. «Когда вы осмысливаете визуальную информацию, вам кажется, что все происходящее гораздо ближе к вам в пространственно-временном или социальном отношении», — говорит Элинор Амит (Elinor Amit), доцент кафедры лингвистики и психологии Университета Брауна, чья работа посвящена выявлению различий в нашей реакции на текстовые и визуальные сообщения. Она полагает, что это различие имеет эволюционную природу: наше визуальное развитие опережает способность воспринимать записанные тексты, и мы в своей обычной жизни больше полагаемся на зрительную информацию, воспринимаемую мгновенно.

Фейковые видео уже фактически разрушают политические кампании. В июле этого года

Элли Бет Стаки (Allie Beth Stuckey), телеведущая из *Conservative Review*, разместила в Facebook интервью с Александрией Окасио-Кортес (Alexandria Ocasio-Cortez), членом Демократической партии, кандидатом в конгресс от города Нью-Йорка. Видео было не дипфейком, а всего лишь старым добрым монтажом предыдущего интервью с новыми вопросами, что превратило ответы в бессмысленную болтовню. В зависимости от политических предпочтений зрителя видео воспринималось либо как очернительство, либо, чем и пыталась впоследствии оправдаться Стаки, как сатира. Так или иначе, его просмотрели за неделю 3,4 млн человек, появилось более 5 тыс. комментариев. Некоторым показалось, что Окасио-Кортес провалила интервью. «Она не знает, как и на что отвечать, — написал один из пользователей. — Да она просто тупица!»

Но это еще не все. Наши мрачные измышления могут быть опаснее для общества, чем само видео. Политический деятель может заявить, что его реальный дурной поступок, попавший на пленку, — на самом деле фальшивка. «Зная, что мастерски сработанные фейки действительно существуют, мы можем утратить доверие ко всем СМИ», — говорит Реймонд Пингри (Raymond J. Pingree), доцент кафедры по связям с общественностью Университета штата Луизиана. Пингри интересуется вопросом, насколько люди уверены в своей способности отличать правду от подделки и как это влияет на их желание участвовать в политической деятельности. Когда человек утрачивает подобную уверенность, он становится гораздо более легкой добычей для лжецов и мошенников, и это приводит к тому, что он вообще перестает хотеть доискаться правды.

Игра в кошки-мышки

По мнению специалистов в области информатики, для исправления недостатков нередко требуется просто усовершенствование. Хотя недостатки в данном случае более сложны, чем просто ошибочный код, ученые считают, что можно создать алгоритмы, чтобы пометать фейки.

«Некоторого прогресса в этой области добиться можно, — говорит Дэвид Эдельман (R. David

Edelman) из проекта Массачусетского технологического института «Исследовательская инициатива в области интернет-политики», бывший советник Барака Обамы, на которого фальшивое видео с бывшим шефом произвело большое впечатление. — Я хорошо знаю этого парня, ведь я был его спичрайтером, однако не могу сказать, где в этом интервью правда и где ложь, — говорит он. — Но если меня можно обмануть, то алгоритм мог бы распознать цифровые подписи и выдающие фальшивку подергивания, незаметные человеческому глазу».

Из такого затруднительного положения можно выйти двумя путями. Одни полагают, что видео можно снабдить электронными подписями, аналогичными сложным клеймам, голограммам и другими характерным маркерам, которые используются в современных компаниях по печатанию денежных знаков для отсека фальшивок. Каждая цифровая камера могла бы иметь уникальную подпись, которую трудно скопировать.

Другие предлагают автоматически отлавливать фейковые видео с помощью детекторов. По-видимому, самой подходящей для таких детекторов можно назвать программу *Media Forensics (MediFor)*, разработанную Управлением перспективных исследований проектов Министерства обороны США (DARPA). Она появилась в 2015 г., вскоре после того как один из российских новостных каналов выпустил сфабрикованные снимки, якобы сделанные со спутника, атаки украинского истребителя на малайзийский *Boeing-777*. Позже международная группа экспертов заявила, что самолет был сбит ракетой российского производства. Спутниковое изображение было получено без использования системы глубокого обучения, но, по словам Дэвида Дорманна (David Doermann), бывшего менеджера программы, DARPA уловило признаки надвигающейся революции и постаралось найти способы предотвратить ее.

MediFor использует три подхода, которые можно автоматизировать с помощью глубокого обучения. Первый проверяет цифровые отпечатки записи видео на наличие аномалий. Второй следит за тем, соответствует ли видео законам физики,

Когда будет принято решение об ограничениях на распространение фейковых новостей, встанет вопрос: с какими законодательными последствиями столкнутся массмедиа и будет ли возможно их регулирование без ограничения свободы слова?

например насколько реален угол падения света. Третий фиксирует внешние параметры — например, проверяет, соответствуют ли погодные условия, представленные на видео, имевшим место в тот день. DARPA намеревается унифицировать эти детекторы и свести их воедино.

Подобные меры могут уменьшить число фейковых записей, но весь процесс пока напоминает игру в кошки-мышки, когда фальсификаторы подделывают цифровые клейма или разрабатывают алгоритмы глубокого обучения для обмана детекторов. «Мы не станем победителями в этой игре, — говорит Алексей Эфрос, профессор в области вычислительных машин и электротехники из Калифорнийского университета в Беркли, сотрудничающий с *MediFor*. — Мы можем только все больше и больше затруднять работу "плохих парней"».

«Как бы то ни было, от применения всех этих инструментов нас отделяют десятилетия», — говорит Хани Фарид (Hany Farid), профессор в области вычислительных машин из Дартмутского колледжа. Пока в решении спорных вопросов мы можем полагаться на мастерство и интуицию таких судебных экспертов в области цифровых технологий, как Фарид. Специалистов столь высокого уровня можно пересчитать по пальцам.

Как сохранить реальность

Даже если бы каждый из нас использовал детектор для того, чтобы разобраться с интернет-сообщениями, все равно между правдой и ложью будет существовать некий «сдвиг по фазе». Это одна из причин, по которой блокировка распространения фейковых видео — проблема для медиаиндустрии. «Она не менее важна, чем проблема создания самого продукта, — говорит Эдельман. — Если подделка возникнет неведомо где, то она там и застрянет, пока кто-то на нее не набредет, а *Twitter* или *Facebook* о ней не растрезвонят». Когда будет принято решение об ограничениях на распространение фейковых новостей, встанет вопрос: с какими законодательными последствиями столкнутся массмедиа и будет ли возможно их регулирование без ограничения свободы слова?

Создатель сети *Facebook* Марк Цукерберг в конце концов признался, что его платформа сыграла определенную роль в распространении фейковых новостей, — хотя признание это было сделано спустя десять месяцев после выборов 2016 г. *Facebook* создан для того, чтобы пользователи могли получать информацию и обмениваться ею друг с другом, в первую очередь руководствуясь ее актуальностью, а не тем, правдива ли она. Если иметь в виду, что этой соцсетью активно пользуются более 2 млрд человек, она выступает своего рода трупницей для любого, кто хочет «высечь пламя» какой-нибудь фейковой новости.

После этого Цукерберг пообещал принять меры. Теперь каждого пользователя обязали классифицировать источники новостей по их надежности (некоторые считают этот шаг уходом от ответственности). Кроме того, Цукерберг планирует использовать ИИ для информирования о наличии дезинформации. Деталей компания не раскрывает. Некоторые компьютерщики относятся к идее привлечения ИИ скептически. Так, Фарид заявляет, что все эти обещания наивны. Нескольким независимым экспертам удалось установить, как фейковые новости распространяются в *Facebook*, при том что очень многие подлинные данные заблокированы.

Сегодня никакие имеющиеся алгоритмы не спасут нас от дезинформации, если разработчики технологий для создания фейковых видео не займутся выяснением того, как их продукты будут использоваться по выходе из стен лаборатории. «Официально заявляю, — говорит Персилли, — что компьютерщики, ведущие такого рода исследования, должны сотрудничать с психологами, политологами и специалистами по связям с общественностью». Пока подобное сотрудничество происходит в единичных случаях.

Однако в марте этого года Центр искусственного интеллекта в Финляндии объявил о начале реализации программы с участием психологов, философов, экспертов по этическим вопросам и других специалистов. А в апреле Персилли совместно с Гэри Кингом (Gary King), политологом из Гарвардского университета, запустил проект *Social Data Initiative*. На первом этапе социологи, получив доступ к данным сети *Facebook*, займутся анализом распространения дезинформации.

По причине отсутствия каких-либо действий в верхних эшелонах власти бремя ответственности за искоренение сфабрикованных видео ложится на плечи журналистов и детективов. В конце дипфейка с участием Обамы и Пила они оба заявляют: «Впредь мы должны относиться более критически к информации, предоставляемой интернетом. Пришло время полагаться только на проверенные источники новостей». И пусть ролик был фейковым, но в этих словах — истинная правда. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Science of Fake News. David M.J. Lazer et al. in *Science*, Vol. 359, pages 1094–1096; March 9, 2018.
- Why Do People Share Fake News? A Sociotechnical Model of Media Effects. Alice E. Marwick in *Georgetown Law Technology Review*, Vol. 2, No. 2, pages 474–512; 2018.



СЕЙСМОЛОГИЯ

Земле- трясения в небесах

Обсуждается новое теоретическое положение, что самое раннее оповещение о крупном бедствии может появиться на высоте 290 км над землей

Эрик Ванс

ОБ АВТОРЕ

Эрик Ванс (Erik Vance) — научный писатель, автор опубликованной в нашем журнале статьи о вымирании мексиканской морской свиньи (*Реквием по ваките // ВМН, № 10, 2017*). Живет в Балтиморе, штат Мэриленд.



В пятницу днем 11 марта 2011 г. Косукэ Хэки (Kosuke Heki) был на работе в Университете Хоккайдо на севере Японии, когда началось землетрясение. Толчки шли с большого расстояния, и каждый продолжался несколько секунд. Хэки — геофизик, изучающий необычные явления, в том числе случайные образования электронов в небе после землетрясений, — тогда заинтересовался происходящим, но серьезно не был встревожен. Все выглядело как большое землетрясение, но вдалеке. Поскольку толчки продолжались, он подумал, что данные о них, возможно, пригодятся для его исследований. Но тут кто-то включил новости, и его любопытство переросло в ужас.

Волны, которые он уловил, шли от самого крупного в современной истории Японии землетрясения, разразившегося в Тохоку, разрушительной магнитудой 9. Оно обошлось стране в сотни миллиардов долларов, унесло более 15 тыс. жизней. Последовавшее вслед за ним цунами нанесло удар по АЭС «Фукусима-1», став причиной самой страшной ядерной катастрофы за четверть века.

Пока службы экстренной помощи эвакуировали и спасали людей в другой части страны, Хэки мог только ждать, когда снова включится телефон и появится интернет. К воскресенью связь возобновилась, и он сразу начал спутниковые исследования воздушного пространства над регионом Тохоку и стал с жадностью его прочесывать. Как он и ожидал, электроны в ионосфере показали возмущение через десять минут после землетрясения. Но Хэки никак не мог построить модель по данным наблюдения первых минут после землетрясения, поэтому он расширил временные рамки и включил предшествующий час. То, что предстало перед глазами, потрясло его.

За 40 минут до удара землетрясения над его эпицентром наблюдалось еле заметное уплотнение

электронов. Возможно, это была аномалия, единичное отклонение или инструментальная погрешность. Или это означало нечто большее. Ученым еще предстоит найти надежных предвестников землетрясения — сигналы, которые могли бы предупредить людей перед крупным ударом. Если изменения электронов оказались бы таким сигналом тревоги, они смогли бы спасти сотни жизней в год.

Хэки, которого коллеги характеризуют как скромного, тихого, осмотрительного человека, в тот момент не был уверен в полученных данных, поэтому он поднял записи о двух других землетрясениях. И снова увидел изменения плотности — и решил углубиться в исследования. К настоящему времени он обнаружил сигнальные электроны перед 18 большими землетрясениями, а за семь последних лет убедился в верности своих выводов.

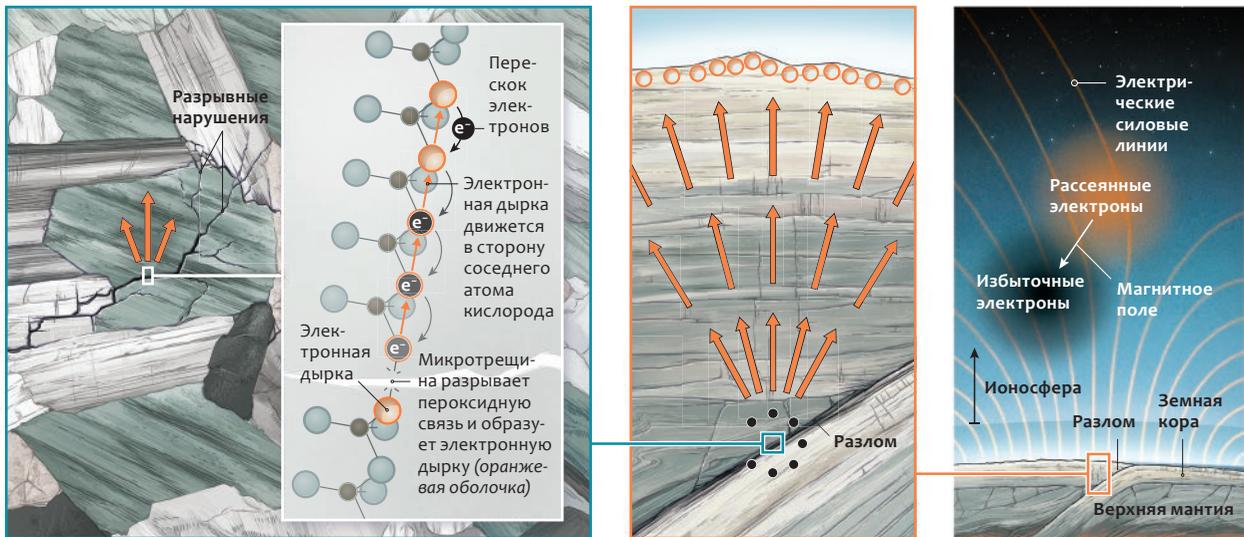
Сегодня разные специалисты начали конкретное рассмотрение данных предвестников. «Много лет назад люди думали, что невозможно предсказать погоду, — говорит Юйхэ Сун (Yuhe Song), занимающийся дистанционными измерениями в Лаборатории реактивного движения NASA. — Мы, вероятно,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Десятки тысяч людей могут погибнуть в результате землетрясения, поэтому ученые изо всех сил стараются найти убедительные предвестники, чтобы вовремя предупредить о катастрофе.
- Согласно новым наблюдениям, скопления электронов, образующиеся в ионосфере за 30 или более минут до подземного толчка, могут служить первым предупреждением.
- В прошлом прогнозы землетрясений не оправдали себя, поэтому это положение вызывает недоверие, однако новые данные начинают все более убеждать ученых.

От земли наверх

Современные исследования показывают, что электрические возмущения могут возникать над поверхностью земли на высоте, измеряемой километрами, по крайней мере за полчаса до мощного землетрясения. Это может быть своевременным предупреждением бедствия. Есть также теоретические предположения, что разрывы горных пород могут вызывать активность высоко в небе.



1. Начало разрывов

В недрах Земли части земной коры медленно трутся друг о друга. Иногда вдоль линии разлома происходит резкий толчок — и движущая сила начинает разрывать горную породу, создавая микротрещины.

2. Перескок электронов

Микротрещины обладают достаточной силой, чтобы разорвать пероксидную связь, которая удерживает атомы внутри молекулы кислорода в зернах горной породы. Эта сила видоизменяет энергию отрицательно заряженных электронов в этих зернах, заставляя электроны двигаться. Они оставляют после себя положительно заряженные частицы, называемые дырками. По мере перемещения большего числа электронов дырки начинают двигаться в противоположном направлении, создавая слабый электроток в зерне горной породы.

3. К поверхности

Описанный процесс захватывает поочередно соседние зерна породы подобно эффекту домино. Электроны движутся, оставляя пустоты и их положительные заряды, они распространяются от первоначальной разрывной структуры, прыгая от зерна к зерну, к поверхности земли. Последующее напряжение, созданное трущимися породами, нарастает.

4. Вверх в воздух

Когда электронные дырки соберутся на поверхности, они могут вытолкнуть там электроны из молекул, образуя электромагнитное поле. Эти поля образуют силовые линии, простирающиеся на километры вверх. Они изменяют картину электронов в ионосфере, создавая плотные скопления в одних местах и рассеивая их в других. Такие аномалии могут быть определены со спутников.

можем заметить что-то раньше, чем ощутим это на земле. Я думаю, это заслуживает обсуждения».

Не все с этим соглашаются. Ряд ученых рассматривают работу Хэки как последнюю новинку в длинной цепи ложных обещаний прогнозов. «Это как симптомы обычной простуды, которые вечно преследуют тебя, — говорит сейсмолог Роберт Геллер (Robert J. Geller), почетный профессор Токийского университета, потративший годы на разоблачение гипотетических прогнозов землетрясений. — Если вы их не заметите, они исчезнут».

Но предположение Хэки кажется весьма близким к истине, и, возможно, его позиции усилятся. Сигналы электронов оповещают о средних землетрясениях так же, как и о крупных. Некоторые ученые вывели теоретическое положение о связи разломов земли и активности в небе. Хэки опубликовал свои изыскания в авторитетных журналах, таких как, например, *Geophysical Research Letters*, и был приглашен на ежегодное собрание Американского

геофизического союза для сообщения результатов. Прошлой весной в Тибском университете в Японии состоялась встреча, полностью посвященная обсуждению прогнозов землетрясений, в том числе и гипотезы Хэки. Если Хэки прав, то его выводы имеют огромное значение для общественной безопасности. Правда, остаются трудные вопросы, каким образом могут использоваться подобные предвестники. Насколько точной должна быть система обнаружения, чтобы привести в действие сигнализацию тревоги, и какие действия следует предпринять в данных чрезвычайных ситуациях?

Предсказание самого худшего

Чарлз Рихтер (Charles F. Richter), основоположник магнитудной шкалы землетрясений, носящей его имя, говорят, выражал мнение, что «только глупцы и шарлатаны предсказывают землетрясения». Однако это не останавливает людей в их поисках. Известно, что в 373 г. до н.э. животные спаслись

бегством в укрытие за пять дней до землетрясения магнитудой 6,0–6,7, обрушившегося на Грецию и уничтожившего Гелику. Японцы когда-то думали, что судорожное метание или движение против течения зубаток предупреждают о землетрясениях. Собаки, овцы, сороконожки, а также суматранские фазаны, известные как большие аргусы, демонстрировали признаки изменений в поведении перед землетрясениями.

Некоторые следили за колодцами, которые вдруг высыхали, за скачками температуры, выбросами радона и, конечно, другими слабо выраженными признаками возможного землетрясения. В 1975 г., учитывая комбинацию разных примет, в том числе поведение животных, китайцам удалось предсказать землетрясение магнитудой 7,3 достаточно рано, чтобы начать эвакуацию города Хайчэн. Это вселяет надежду. Масао Накатани (Masao Nakatani), специалист по физико-механическим свойствам горных пород из Токийского университета, говорит: «В 70-х гг. XX в. американские и китайские сейсмологи стали довольно оптимистично относиться к краткосрочным прогнозам землетрясений. Мы были склонны верить, что землетрясения можно предвидеть». К 1980-м гг. как США, так и Япония создали научно-исследовательские группы для решения этой задачи.

Однако найти надежные показатели оказалось трудно. Через год после успешного опыта в Китае аналогичные методы потерпели поражение в случае большего землетрясения, унесшего жизни сотни тысяч людей. Япония, расположенная в тектонически беспокойном вулканическом поясе Тихого океана, прикладывает немало усилий в поисках сигнала, который срабатывал хотя бы раз. Похоже, природа меняет правила. США отказались от прогнозов в конце 1990-х гг. после несостоявшегося землетрясения вблизи Паркфилда, штат Калифорния, предсказанного на основании признаков предыдущих событий. В итоге оно все-таки произошло в 2004 г., когда ни один из ожидаемых предвестников не наблюдался.

В год землетрясения, произошедшего в Токио, международная комиссия по прогнозам, созданная итальянским правительством, закрыла эту тему. В мае 2011 г. ее члены написали: «Несмотря на продолжение исследований в Японии, остается мало аргументов в пользу поисков предвестников, которые сигнализируют о надвигающемся большом землетрясении».

Четыре месяца спустя Хэки вновь поднял тему. То, что он увидел, было причудливыми очагами ионизированных частиц не вблизи или на поверхности земли, а на высоте 299 км над ней. Существование связи между небом и землей — это



Разрушения вследствие землетрясения: беспощадные землетрясение в Тохоку и цунами разрушили японский город Рикудзентакада; после бедствия жители бредут среди руин

не из ряда вон выходящее положение. В 1970-х гг. ученые впервые выяснили, что в горных породах под действием сверхвысокого давления возникает электрический ток, как в очень слабой батарейке. Из теории следует, что когда породы спрессованы избыточным давлением, атомы кислорода отдают электроны, создавая недостаток, именуемый электронной дыркой. Электроны из соседних атомов двигаются в сторону этих дырок, оставляя за собой еще больше дырок и порождая цепную реакцию движения зарядов.

Фридеманн Фройнд (Friedemann Freund), ученый из NASA и Института поиска внеземных цивилизаций (SETI), сделал открытие: дырки имеют способность передвигаться на большие расстояния, исчисляемые километрами и даже десятками и сотнями километров. Он сравнивает это явление с ведром воды, которое передается от человека к человеку во время пожара.

Фройнд говорит, что эти дырки затем путешествуют через породы, со временем достигая поверхности земли, где они притягивают отрицательно заряженные электроны из молекул воздуха, подобно магниту, притягивающему железные опилки. Далее электрические заряды поступают в верхние слои атмосферы. Этот механизм выведен чисто теоретически, поскольку трудно сделать непосредственные измерения, но он, кажется, объясняет следы электронных скоплений, наблюдаемые после землетрясения. Однако никто еще не видел их отчетливо перед землетрясением.

Для своих исследований Хэки применил новый метод, в котором используются сложнейшие сети GPS со спутниковыми измерениями, где можно засечь мельчайшие изменения электронов

в атмосфере, когда их радиосигналы проходят сквозь нее. В Японии особенно густая сеть приемных устройств GPS, которые и позволили Хэки обнаружить малозаметный подъем электронов высоко в небе над эпицентром землетрясения в Тохоку за 40 минут до того, как сейсмографы зарегистрировали движение на земле.

Но наш геофизик говорит, что он не очень хочет сообщать о своих открытиях. Он поясняет: «Я вынужден побеспокоиться о том, как их опубликовать. Прогнозы землетрясений имеют особенное значение. И всех это очень волнует».

На самом деле, он опубликовал их не сразу. После катастрофы в Тохоку Хэки просмотрел два прошлых мощных землетрясения, на которые имелись подробные данные GPS. В каждом случае он нашел указание на повышение концентрации электронов более чем за 30 минут до удара. Представляется, что чем сильнее землетрясение, тем больше время опережения для признаков. Землетрясение 2014 г. магнитудой 8,2 в Чили произошло через 25 минут после изменений в небе, а в Тохоку магнитудой 9,0 — через 40 минут. Таким образом, эти сигналы не только указывают на близость разрывных движений, но также показывают и относительные масштабы будущего землетрясения. Хэки говорит, что он никогда не видел более четко выраженного явления накануне землетрясения.

Беспорядочное обсуждение

Вооружившись всеми данными, Хэки наконец опубликовал в сентябре 2011 г. статью, излагающую его наблюдения. Ученые не замедлили уделить внимание данной проблеме. Одни говорили, что результат исходит из неправильного считывания данных и что нарушения, наблюдаемые во время и после землетрясения, смазывают картину. Хэки в ответ сослался на использование различных методов анализа, чтобы показать изменения, возникшие до землетрясения. Он также перевел измерения, взятые под углом, на высоту птичьего полета, полагая, что так будет легче выделить эти изменения. Однако критики утверждали, что это было простое преобразование все тех же неполноценных данных. Другая группа японских ученых настаивала на влиянии геомагнитных бурь. Хэки провел еще ряд анализов, объясняющих их воздействие, и сделал вывод, что бури не могут объяснить все те изменения, которые он наблюдал.

Вскоре некоторые из сомневающихся стали переходить на сторону Хэки. «Эти изменения намного четче всех предвестников, о которых было известно ранее», — говорит Накатани, который перестал доверять прогнозам землетрясений после ошибки 1990-х гг. Но Хэки вновь загорелся работой настолько, что считает ее способной стать «самым важным открытием в истории сейсмологии». Сун, сотрудник NASA, не склонен к таким большим

ожиданиям, но соглашается, что появление облаков электронов трудно объяснить ошибкой измерения и, кажется, они свидетельствуют о настоящем событии. Фройнд поясняет, что катастрофе в Тохоку предшествовали месяцы нагнетания давления и изменения плотности электронов. И хотя это высокое давление могло найти выход разными путями, как, например, во время невидимых бесшумных землетрясений, освобождение заряженной частицы — это вполне предсказуемое явление, которое теоретически может быть отмечено в прочих землетрясениях.

Тем не менее критики продолжают настаивать, что Хэки проводил наблюдения в компьютере, а в реальном мире этого не существует. Фабрицио Маши (Fabrizio Masci) из Национального института геофизики и вулканологии в Италии говорит: «Он пытается подтвердить свою первую догадку, не имея убедительной поддержки». Он опубликовал статьи с опровержением не только достижений Хэки, но и других теорий показателей землетрясений, указав, что отклик японского исследователя — лишь ловкий ход, чтобы ввести читателя в заблуждение. Большая часть критики направлена на измерение Хэки исходных уровней электронов. Крошечные частички пропитывают нашу планету и изменяются подобно погоде. Хэки говорит, что непосредственно перед землетрясением электроны сгущаются чуть больше, чем обычно. Критики возражают, что это изменение вызвано ежедневными отливами и потоками электронов. Другими словами, возможно, Хэки гоняется за статистическим призраком.

Маши идет еще дальше и поясняет, что сейсмических предвестников быть не может, поскольку сами землетрясения — явления беспорядочные по своей природе. Если начальные условия не определяются точно, невозможно узнать, чем они кончатся. И в отношении землетрясений крайне трудно определить все исходные условия.

Джованни Оккипинти (Giovanni Occhipinti) из Парижского института физики Земли настроен не столь пессимистически, хотя и утверждает, что крайне тяжело определить все действующие факторы — виды горных пород, давление и близлежащие разломы, — чтобы можно было сделать адекватный прогноз. Оккипинти, как и Хэки, изучает влияние землетрясений на ионы атмосферы. Он говорит, что, учитывая, как беспорядочно ведут себя ионы в атмосфере, просто невозможно выделить сигнал из шума. Это как попытаться спрогнозировать ураган по одному облаку за день вперед. Он поясняет: «Проблема в массе облаков, которые приплывают и движутся вокруг. И совсем не просто проследить за тем особенным облаком, которое ты считаешь предвестником».

До недавнего времени Оккипинти был на стороне скептиков и думал, что открытие Хэки было

простой статистической погрешностью. Однако последняя работа Хэки, в которых учитывается сложное 3D-пространство, где и происходит воздействие, привлекла его интерес. В отличие от ограничений моментального космического снимка 3D-моделирование показывает многомерное воздействие, указывающее на устойчивый физический процесс, вызывающий аномалию, что трудно списать на ложный сигнал. Оккипинти хочет посмотреть больше 3D-анализов наряду со сравнением данных результатов с другими моделями, чтобы убедиться в их соответствии. То есть он еще не стал полноценным сторонником, но называет данную концепцию интригующей и рассматривает ее с большим вниманием. Он говорит: «Это двигает науку вперед, но вы должны быть предельно точны. Ведь на карту поставлены жизни людей».

Сигналы тревоги

Число этих жизней может достигнуть сотен тысяч. Геологическая служба США исследовала смертельные случаи в результате землетрясений по всему миру за 16-летний период начиная с 2000 г. Поскольку крупные землетрясения не происходят каждый год, число жертв не постоянно. Но общие потери ошеломляют. За семь из этого числа лет произошло 20 тыс. смертей, а за два других года — более 200 тыс. В странах, понесших самые большие потери, люди нуждаются в любых сигналах, им важны даже несколько секунд. Рассмотрим Мехико, где больше всех людских потерь и хорошо изучена зона землетрясений. После разрушительного землетрясения 1985 г., когда погибли 10 тыс. человек, правительство воспользовалось тем фактом, что волны землетрясения распространялись на необычно длинные расстояния по всему региону, и была создана система мониторинга, дающая преимущество буквально в минуту-другую для оповещения при обнаружении волн на достаточном удалении.

Карлос Вальдес (Carlos Valdés), инженер-геофизик, директор Национального центра Мехико по предотвращению стихийных бедствий, говорит, что оповещение за 40 минут может дорогого стоить, но в действительности это совсем не просто. Прежде всего, ложный сигнал тревоги может нарушить любую ответную реакцию на чрезвычайную ситуацию. Например, в Мехико на некоторые сотрясения среагировала аварийная сигнализация, но толчки были слишком слабы или не в том месте, чтобы действительно нанести урон городу. Люди побеспокоились напрасно — и перестали реагировать на такие сигналы бедствия. Но его больше заботят иные проблемы, связанные с паникой. «Кто-то говорит: "У меня есть 40 минут, и я покину город". И стоит только одному человеку закричать или побежать, как все ринутся вслед». В результате затор на дорогах — и не спастись уже никому. (Подробнее — в статье «Путь к спасению» на с. 106.)

Тем не менее специалисты по планированию действий в случаях чрезвычайных ситуаций отмечают, что даже короткое время после оповещения дает возможность перекрыть газопроводы или остановить работу метро, снизив тем самым риски. А более точные расчеты позволят избежать проблем ложных сигналов.

Британские и российские ученые предложили использовать спутники, которые могли бы лучше отслеживать атмосферные аномалии, подобные тем, что описывает Хэки. Китай выдвинул программу прогнозов на основе космических наблюдений за электромагнитными нарушениями в ионосфере. Но если учитывать сложную природу ионосферы, взятую вместе с запутанным происхождением землетрясений, возможно, пройдут десятилетия, прежде чем данные по атмосфере смогут реально использоваться в оповещении о землетрясениях.

Геллер не думает, что такой день когда-либо настанет. Он говорит: «Охотники за предвестниками на протяжении 130 лет лелеяли наивное убеждение, что, во-первых, они должны быть, во-вторых — чем больше землетрясение, тем очевиднее предвестник. Но нет никаких оснований верить в правоту этих утверждений».

Однако Хэки по-прежнему не сдается. Недавно он опубликовал статью, в которой дается подробный 3D-анализ предвестника землетрясения 2015 г. в Чили, и высказанные в ней соображения трудно опровергнуть. Он пытается также заполнить пробелы данных, касающиеся связи электрических зарядов и мест происхождения самих землетрясений. Его задача — лучше понять, что же такое происходит в земной коре, что отражается наверху. Хэки говорит: «Перед землетрясением в ионосфере что-то случается. Я не знаю физического механизма, но мои наблюдения очевидны».

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Аллен Р. Мгновением раньше // ВМН, № 6, 2011.
- Apparent Ionospheric Total Electron Content Variations Prior to Major Earthquakes Due to Electric Fields Created by Tectonic Stresses. Michael C. Kelley et al. in Journal of Geophysical Research: Space Physics, Vol. 22, No. 6; pages 6689–6695; June 2017.
- Ionospheric Anomalies Immediately before MW7.0–8.0 Earthquakes. Liming He and Kosuke Heki in Journal of Geophysical Research: Space Physics, Vol. 122, No. 8, pages 8659–8678; August 2017.
- Three-Dimensional Tomography of Ionospheric Anomalies Immediately before the 2015 Illapel Earthquake, Central Chile. Liming He and Kosuke Heki in Journal of Geophysical Research: Space Physics, Vol. 123, No. 5, pages 4015–4025; May 2018.



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ

телеканал Наука

Взрывать мозг -
это наша профессия



vk.com/tv_nauka



facebook.com/nauka20



youtube.com/c/naukatv



naukatv.ru

СПРАШИВАЙТЕ У ОПЕРАТОРОВ ПЛАТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ



ПОЗНАНИЕ

12+



СОСТОЯНИЕ
МИРОВОЙ
НАУКИ — 2018

КАК ПРИВЕСТИ В ПОРЯДОК НАУКУ

Ведется ли «война против науки» на самом деле или нет, миллионы сторонников научно обоснованного мышления сочли угрозу достаточно серьезной, чтобы выйти в 2017 г. на всемирный «Марш за науку». Президент Доналд Трамп назвал глобальное потепление мистификацией, а его администрация прекратила финансировать, остановила или заблокировала научные проекты по защите окружающей среды и здоровья населения. Более того, отрицание изменений климата не ограничивается только Соединенными Штатами, а десятки стран запретили выращивать генетически модифицированные культуры, несмотря на то что доказано, что генетически модифицированные продукты так же безопасны, как и обычные.

Существует множество способов противодействия, в том числе повышение качества образования, разъяснительная работа и политические реформы. Но наука должна также решать собственные проблемы: от вопросов финансирования, отношения к молодым ученым и обеспечения воспроизводимых результатов до прекращения сексуальных домогательств и поощрения междисциплинарного взаимодействия. В этих областях уже имеются многообещающие решения, но наука должна укрепляться, чтобы выдержать атаки.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Чтобы побороть антинаучные течения, ученые должны поддерживать собственную отрасль изнутри.
- Способ финансирования исследований неэффективен и зачастую приводит к плачевным результатам. Слишком многие из полученных данных при тщательном изучении не подтверждаются и не проходят тест на воспроизводимость. Сексуальные домогательства — это кризис, который угрожает всей науке.
- Жизнь молодых ученых трудна: на своем пути в науке им приходится сталкиваться с ненужными препятствиями в вопросах поиска работы, финансирования и создания семьи.
- Слишком многие ученые изолированы от коллег-единомышленников, занятых в других областях науки.



СОСТОЯНИЕ
МИРОВОЙ
НАУКИ — 2018

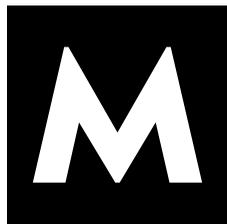
ПЕРЕ- СМОТРЕТЬ ФИНАНСИ- РОВАНИЕ

Чтобы получить лучшие результаты,
необходимо оптимизировать способы
вложения денег в науку

Джон Иоаннидис

ОБ АВТОРЕ

Джон Иоаннидис (John Ioannidis) — профессор медицины, статистики и исследований в области здравоохранения и биомедицинских данных Стэнфордского университета, содиректор Стэнфордского инновационного центра метаисследований (METRICS).



Миллионы ежегодно публикуемых научных статей и более \$2 трлн ежегодных инвестиций в научно-исследовательские разработки — ученые делают значительные успехи. Но может ли быть еще лучше? Все больше данных свидетельствуют о том, что некоторые из используемых нами методов проведения исследований, а также способов оценки, представления и распространения научных результатов неэффективны. Например, согласно ряду статей, опубликованных в 2014 г. в журнале *Lancet*, приблизительно 85% инвестиций в биомедицинские исследования потрачено напрасно. Такие же проблемы существуют и в других отраслях науки. Далее представлены некоторые из существующих недостатков наших систем вознаграждения и поощрения и предложения по решению проблем.

Финансируется слишком мало исследователей

Денежные средства сосредоточены в основном в руках небольшого числа исследователей. Талантливых ученых много, и крупный успех зависит не только от тяжелой работы, но в значительной степени и от удачи. Исследователи, получающие наибольшую финансовую поддержку, — не обязательно гении, они просто могут обладать более выгодными связями.

Решение

- Использование лотереи при принятии решения о том, какую заявку на грант финансировать (возможно, после прохождения заявками базовой проверки). Такая схема исключила бы затрачиваемые в настоящее время большие усилия и средства на экспертизу предложений и предоставила бы шанс намного большему числу ученых.
- Предложения по введению лимитов на финансирование, выделяемое одному исследователю, были настойчиво отвергаемы престижными научными учреждениями, которые больше всего выигрывают от такой избыточной концентрации. Тем не менее перераспределение средств между руководящим составом и молодыми учеными, возможно даже в пределах

одной лаборатории, не повлияло бы на такие научные организации и заставило бы когорту ведущих исследователей стать более открытыми для нововведений.

Не вознаграждается обеспечение прозрачности

Многие научные методы, протоколы, анализ, процессы вычислений и данные непрозрачны. Когда исследователи пытаются вскрыть эти «черные ящики», часто выясняется, что многие наиважнейшие результаты нельзя воспроизвести. Это справедливо для двух из трех значимых статей по психологии, одной из трех статей по экспериментальной экономике и более 75% статей, в которых определены мишени для новых лекарств от рака. Что наиболее важно, ученых не поощряют за то, что они обмениваются информацией о своих методах. Для такой солидарной научной деятельности требуются значительные усилия. В условиях конкурентной среды многие ученые даже считают, что совершенно незачем вооружать соперников, незачем делиться.

Решение

- Создание улучшенной инфраструктуры для обеспечения прозрачности, открытости и обмена информацией.

- Обеспечение прозрачности как необходимого условия для финансирования.
- Университеты и исследовательские институты могли бы при найме, продвижении или предоставлении постоянных должностей отдавать предпочтение сторонникам доступности информации.

Не поощряется повторение экспериментов

В условиях постоянного давления, когда требуются все новые открытия, во многих областях науки у исследователей слишком велика отрицательная мотивация и мало стимулов для того, чтобы попытаться повторить результаты предыдущих исследований. Однако повторяемость — это базовая составляющая научного метода. Без обеспечения этого показателя мы рискуем столкнуться с тем, что научные журналы наводнит ложная информация, которую никогда не исправить.

Решение

- Финансирующие организации должны оплачивать повторные исследования.
- Продвижение ученых должно зависеть не только от их открытий, но и от их репутации в плане повторяемости результатов.

Не финансируются молодые ученые

В биомедицине средний возраст ученых, получающих первый солидный грант, — 46 лет. Средний возраст профессоров в США — 55 лет. Эти показатели увеличиваются со временем. В 2017 г. только 1,6% средств из финансируемой Национальными институтами здравоохранения Программы грантов на исследовательские проекты получили ведущие исследователи моложе 36 лет, тогда как 13,2% средств досталось ученым в возрасте 66 лет и старше. Сходная ситуация наблюдается и в других областях науки, и ее нельзя объяснить только увеличением средней продолжительности жизни. Вернер Гейзенберг, Альберт Эйнштейн, Поль Дирак и Вольфганг Паули сделали свой самый важный вклад в науку, когда им не было и 30 лет. Представьте, если им сказали бы,

что надо подождать финансирования еще лет 25. Некоторые из лучших умов могут уволиться, вместо того чтобы ждать.

Решение

- На финансирование молодых ученых должна выделяться более значительная в пропорциональном отношении часть денежных средств.
- Университетам следует изменить возрастную структуру профессорско-преподавательского состава, принимая на работу более молодых исследователей.

Финансирование осуществляется заинтересованными лицами

В США большая часть денежных средств на научно-исследовательские проекты поступает не от правительства, а из частных, коммерческих источников, в связи с чем неизбежно возникают конфликты интересов и давление с целью получения результатов, желательных для спонсоров. Например, в клинических испытаниях, финансируемых фармацевтической промышленностью, на 27% выше вероятность достижения положительных результатов, чем в испытаниях, поддерживаемых государством. Невероятно, но некоторые спонсоры выступают в защиту научной истины. Например, компания Philip Morris (производитель сигарет Marlboro) недавно объявила о том, что она пожертвует \$960 млн в течение 12 лет для создания «Фонда за мир без курения», некоммерческого проекта, цель которого — ликвидация курения. Конфликты интересов все чаще раскрывают в разных областях науки, но углубленное изучение показывает, что эта работа еще далека от завершения.

Решение

- Ограничение или даже запрет финансирования при явном существовании конфликта интересов. Журналам не следует принимать статьи с результатами таких исследований.
- В менее очевидных случаях необходимо как минимум убедиться, что информация раскрыта полностью и прозрачно.

Финансируются не те области науки

Наподобие мафиозных кланов, некоторые области науки и ряд теорий традиционно имеют большее влияние. Хорошо финансируемые направления привлекают к работе больше ученых, в связи с этим сфера влияния этих областей науки расширяется — и возникает замкнутый круг. Некоторые традиционно сложившиеся направления в науке поглощают огромные средства, несмотря на наличие неисправимых недостатков и отсутствие значимых результатов. Дальнейшие инвестиции в эти направления бесполезны.

Решение

- Необходима независимая беспристрастная оценка конечных результатов щедро финансируемых областей науки.

- Следует вкладывать больше средств в новые области науки и проекты с высокими рисками.
- Надо поощрять ученых менять поле деятельности: сейчас у них больше стимулов для того, чтобы сосредоточиться на одном направлении.

Недостаточное финансирование

Во многих странах государственное финансирование находится в состоянии застоя или под угрозой сокращения в пользу других бюджетных статей. Военные расходы бюджета США (\$886 млрд) в 24 раза превышают бюджет Национальных институтов здравоохранения (\$37 млрд). Стоимость одной футбольной команды, такой как Manchester United (\$4,1 млрд), больше годового бюджета на исследования в любом университете. Инвестиции в науку приносят огромную пользу обществу, но зачастую попытки убедить в этом общественность только ухудшают ситуацию. Так происходит, когда лидеры науки, в иных обстоятельствах действующие из лучших побуждений, обещают невозможное — например, сразу излечить все виды рака или болезнь Альцгеймера. Когда такие обещания не оправдываются, поддержка науки может ослабеть.

Решение

- Необходимо разъяснять обществу, как в науке расходуются денежные средства, сделать процесс более понятным и указывать в том числе, какое число ученых требуется, чтобы достичь крупных результатов. Университеты, научные музеи и научные журналисты могут донести эту информацию.
- Мы бы привели более убедительные аргументы в пользу науки, если бы удалось показать, как много делается для совершенствования управления в науке.

Поощряются расточители

Решения о приеме на работу, продвижении и предоставлении постоянной должности основываются преимущественно на способности исследователя гарантировать высокий уровень финансирования. Однако высокая стоимость проекта не обязательно означает его важность. При такой системе поощрения выбирают в основном смысленных менеджеров, знающих, как осваивать деньги.

Решение

- Надо поощрять ученых за высококачественную и социально значимую работу, за воспроизводимость результатов, а не за обеспечение финансирования.
- Блестящие исследования можно провести и при малом финансировании или вообще без него, но для этого нужно больше времени. Научным организациям следует предоставлять исследователям такую возможность и уважать ученых, способных выполнить колоссальную работу, не затрачивая уйму денег.

Не финансируются идеи с высокой степенью риска

Экспертные группы, даже состоящие из выдающихся ученых, очень не любят рискованные идеи. Прессинг — деньги налогоплательщиков должны быть «правильно потрачены» — заставляет государственные структуры финансировать проекты, которые наверняка окупятся с положительным результатом, даже если более рискованные предложения могут привести к более серьезным, но не гарантированным прорывам. Промышленность также избегает инвестиций в высокорискованные проекты, ожидая, пока вновь образованные компании испытают (и часто неудачно) нестандартные идеи. В результате девять из десяти крупнейших фармацевтических компаний тратят больше на маркетинг, чем на научно-исследовательские разработки. Государственные финансовые учреждения утверждают, что они поддерживают «инновации» при рассмотрении заявок на гранты. Это бессмыслица. Результат внедрения нововведений крайне сложно, если не невозможно, предсказать заранее. Любая идея, «выжившая» после тщательного изучения каждым из 20 человек (стандартный состав секции исследований Национальных институтов здравоохранения), — вряд ли по-настоящему прорывная или новаторская. Такая идея должна быть типичной, если не просто заурядной, чтобы ее одобрил каждый.

Решение

- Финансировать не проекты, а блестящих ученых, предоставляя им свободу движения в своих исследованиях в том направлении, которое они считают нужным. Некоторые институты, такие как Медицинский институт Говарда Хьюза, уже успешно используют такую модель.
- Объяснять общественности и политическим деятелям, что наука — это накопленные инвестиции. Из 1 тыс. проектов 999 могут потерпеть неудачу, и заранее мы не можем знать, какой проект будет успешным. Необходимо оценивать успех в общем, а не судить по одному эксперименту или результату.

Нехватка достоверных данных

Существует мало свидетельств того, какие научные методы лучше всего работают. Надо больше изучать сами исследования (то есть проводить метаисследования), чтобы понять, каковы наилучшие способы действий, методы оценки, экспертизы и поощрения в науке и как лучше распространять научные знания.

Решение

- Необходимо инвестировать в исследования, посвященные тому, как улучшить положение в науке и как выбирать и поощрять лучших ученых. Не следует просто доверять чьим-то мнениям без доказательств.

СОСТОЯНИЕ
МИРОВОЙ
НАУКИ — 2018

ОБЕСПЕЧИТЬ ВОСПРОИЗВО- ДИМОСТЬ

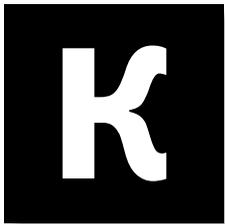
Эффективная система стимулов помогла бы сократить растущее количество исследований, при повторении оказывающихся ошибочными

Шеннон Палус



ОБ АВТОРЕ

Шеннон Палус (Shannon Palus) — независимый журналист и штатный репортер издания *Wirecutter*, входящего в состав *New York Times Company*. Ее работы появляются в журналах *Slate*, *Popular Science*, *Atlantic*, *Discover*, *Audubon*, *Quartz*, *Smithsonian* и *Retraction Watch*.



эти Коркер (Katie Cor-ker) размышляла: «Какой же температуры должен быть кофе?» Она проводила психологиче-ский эксперимент, точ-

нее, повторяла его. Результаты исходно-го исследования, согласно которому че-ловек становится более дружелюбным, если держит что-то теплое в руках, были опубликованы в 2008 г. в престижном журнале *Science* и широко освещались в СМИ. Однако когда Коркер попыталась повторить каждый этап исследования, многие параметры оказались неизвест-ны, в том числе температура горяче-го кофе в кружках, раздаваемых испы-туемым, а также насколько быстро они остывали в их руках.

Коркер, психолог из Государственного универси-та Гранд-Вэлли, пыталась выполнить то, что де-лают немногие ученые: точно повторить исследо-вание и опубликовать результаты. В данном слу-чае целью Коркер было выяснить, сможет ли она в другой лаборатории с иной группой испытуемых обнаружить тот же эффект, описанный в статье в *Science*, который получила единственная иссле-довательская группа при проведении эксперимента с участием всего 94 испытуемых, державших в руках кружки с кофе или лечебные накладки раз-ной температуры. В теории так и должна работать наука: как самокорректирующийся процесс, в ко-тором исследователи опираются на данные, полу-ченные другими учеными.

Тот факт, что масса литературы в определен-ных областях совершенно неверна, был чем-то вроде секрета Полишинеля в течение десятилет-ий. В биомедицине правда вышла на поверхность

в 2012 г. В то время Гленн Бегли (C. Glenn Begley) был вице-президентом и руководителем департа-мента исследований в области гематологии и онко-логии в фармацевтической компании *Amgen* и ку-рировал разработку лекарств от рака, частично основанных на многообещающих открытиях уни-верситетской науки. Проработав в своей должно-сти десять лет, Гленн заинтересовался, почему некоторые проекты, связанные с изучением мно-гообещающих мишеней для лекарств, останавли-вались. Бегли обратился к документам компании и выяснил, что, как это ни невероятно, зачастую проблема связана с доклиническими исследова-ниями. До того как начать тратить средства и ре-сурсы на разработку лечения на основе таких ис-следований, их результаты перепроверялись ко-мандами ученых компании. «К моему ужасу, я обнаружил, что в 90% случаев нам не удалось вос-произвести опубликованные результаты», — го-ворит Бегли, ныне главный исполнительный ди-ректор австралийской фирмы *BioCurate*. Прове-денное позднее исследование показало, что в США неудачные попытки повторить доклинические ра-боты в области биомедицины ежегодно «съедают» \$28,2 млрд. Гленн Бегли даже направлял ученых из *Amgen* в некоторые лаборатории, чтобы посмо-треть, как работающие там исследователи пыта-ются воспроизвести собственные результаты. Им это тоже не удалось.

Тем временем назревал кризис в психологии. Почти 300 ученых решили принять участие в про-екте психолога из Виргинского университета Брайана Носека (Brian Nosek) «Воспроизводимость: психология» (*Reproducibility Project: Psychology*) и по-вторить эксперименты, описанные в 100 публика-циях по психологии. В 2015 г. ученые объявили, что всего 36% повторных экспериментов показали значимые результаты, совпадающие с данными, полученными в первичных исследованиях.

Несмотря на то что привлечение внимание иссле-дования воспроизводимости результатов проводи-лись в сфере биомедицины и психологии, пробле-ма касается не только этих областей науки. Лорена



Барба (Lorena A. Barba), инженер из Университета Джорджа Вашингтона, занимающаяся вычислительной гидродинамикой, вместе со студентом потратила целых три года, чтобы воссоздать разработанную в ее же лаборатории сложную симуляцию, показывающую, как украшенные древесные змеи (*Chrysopelea*), которые способны скользить в воздухе, «спрыгивая» с ветвей деревьев, извиваются во время планирующего полета. Новые результаты согласовались с прежними, но исследователь поняла, что тщательная проверка чужого кода, позволяющая разобраться в том, что создали другие, может превратиться в кошмар. По существу, Лорена столкнулась с той же проблемой, что и Кэти Коркер в случае с чашками горячего кофе. Ученые сосредоточены на публикации результатов, но не обязательно описывают каждый рутинный шаг, приведший к этим результатам. «Просто далеко не все записывается», — говорит Коркер. Ей тем не менее повезло: автор первого исследования охотно согласился сотрудничать. В работе также принял участие химик — для того, чтобы стандартизировать процесс изменения температуры испытательной аппаратурой. «Оказалось, что

повторный эксперимент еще труднее, чем некоторые из моих оригинальных исследований», — рассказывает Коркер.

Укоренившиеся привычки ученых, такие как нежелание делиться методами из-за боязни, что конкуренты опередят, часто работают против обеспечения воспроизводимости результатов. Само направление деятельности Лорены Барбы появилось под вуалью секретности в Лос-Аламосе, в рамках Манхэттенского проекта, когда ученые разрабатывали ядерное оружие, используя первые компьютеры для расчетов распространения потоков воздуха и энергии от взрывающихся бомб. Манхэттенский проект, несомненно, обеспечил широкое поле для развития естественных наук. В то время ученые активно старались предотвратить повторение своей работы чужаками.

Более того, журналы и комиссии по бессрочным контрактам университетов часто высоко ценят новые, эффективные результаты вместо постепенного продвижения, точно основанного на существующих материалах. «Меня учили, что надо постараться обнаружить неожиданные результаты», — говорит Шарлотта Тэйт (Charlotte Tate), социальный и персональный психолог из Государственного университета Сан-Франциско. Она шутит, что ученые, занятые в ее области науки, «так и носятся с этой моделью, в соответствии с которой мы обязаны попасть на передачу *Daily Show*». Такое отношение — не просто тщеславие: впечатляющие результаты часто связаны с возможностью получить работу. Все эти спокойные проверки достоверности в работах других ученых или тяжелый труд в сверхурочное время (чтобы убедиться, что код, созданный одним, легко понять другому исследователю) не сделают имя известным или даже первым в стопке резюме.

Многие подчеркивают, что специальное обучение тому, как писать раздел «Методы» в статье или тщательно документировать код, чтобы он был понятен другим, может сыграть важную роль в разрешении кризиса. Лорена Барба поддерживает эту точку зрения и отмечает, что было бы полезно, если бы люди, использующие в своей работе коды, проходили курс этики в сфере информационных технологий, чтобы они могли представлять правильно документированный код вместе со своими результатами. Чтобы сделать максимально четкой последовательность развития кода, разработанного группой под ее руководством, Барба также использует систему контроля версий, записывающую любые изменения, внесенные в файл. Это средство обычно используется в разработке

программного обеспечения, но, к недоумению Барбы, не применяется в науке. «Существует фундаментальный конфликт между выполнением и документированием эксперимента», — говорит Чарльз Фраккья (Charles Fracchia), который в компании *BioBright* занимается повышением степени детализации и полноты журналов регистрации биомедицинских экспериментов. Одно из разработанных компанией программных средств, *DarwinSync*, записывает данные каждого прибора, в том числе кажущиеся неважными сведения — например, был ли компьютер включен в сеть или работал от аккумулятора, степень освещенности комнаты, — на случай, если эти детали понадобятся позже. Если бы в первичном исследовании, которое пыталась воспроизвести Кэти Коркер, лучше оценивалась температура кружек с кофе, то у нее было бы больше информации для проведения повторного испытания.

Однако решений, требующих больших затрат времени, и наличия дорогостоящего оборудования недостаточно. «За то, что все делается правильно, никак не поощряют», — говорит Лорена Барба. Брайан Носек считает: «Фокус в том, что необходимо переработать систему стимулов, чтобы гарантировать: то, что хорошо для ученого, хорошо для науки». Например, организации, финансирующие исследования, могли бы предоставлять средства только на те проекты, которые включают план по обеспечению открытости работы. В 2016 г. Национальные институты здравоохранения выпустили новые инструкции по приему заявок на выделение грантов, в которых пересмотрели вопросы, чтобы поддержать стремление ученых улучшить воспроизводимость. Теперь Национальные институты здравоохранения запрашивают больше информации о том, как исследование опирается на данные прежних работ, а также список переменных, способных повлиять на результаты: например, пол крыс (прежде недооцененный фактор, приведший к тому, что во многих исследованиях феномены, обнаруженные у самцов крыс, были описаны как универсальные).

Те же вопросы, что интересуют спонсоров, могли бы задавать журналы и рецензенты. По мнению Носека, многообещающим решением могут стать зарегистрированные сообщения — предварительная запись, в которой ученые еще до начала проведения исследования представляют его анализ и разрабатывают планы публикаций. Эксперты-рецензенты оценивают, верно ли выбрана методология, а также опирается ли она на данные прошлых исследований, а журнал обещает опубликовать результаты независимо от того, какими они будут. Статья становится наградой за тщательно продуманные эксперименты, а не за эффектные результаты. Некоторых

беспокоит, не станет ли наука в результате такого изменения просто скучной. Носек утверждает, что дело не в этом. В настоящее время он заканчивает ряд исследований, посвященных изучению результатов и качества первых опубликованных зарегистрированных сообщений. Предварительные данные показывают, что такие сообщения цитируются так же часто, как традиционные статьи. Тем не менее Носек отмечает, что нельзя слишком полагаться на предварительно зарегистрированные исследования, так как это потенциально может привести к избыточной коррекции проблемы за счет поощрения более «безопасных» изысканий. Носек полагает, что такая модель должна работать вместе с традиционной моделью концентрации на результатах — той, что приветствует случайные открытия, «неожиданное появление фактов».

Еще более сложная для решения проблема заключается в том, что ученые испытывают давление: чтобы зарабатывать на жизнь, необходимо совершать прорывы в науке. Носек отмечает, что необходим более серьезный культурный сдвиг. В настоящее время недостаточно следовать точно по интригующему проторенному пути, который оказывается пустым, и расширять карту знаний за счет выявления тупиков. Мы живем в мире, где люди, проверяющие факты, не становятся знаменитыми.

Тем не менее проблема с воспроизводимостью не обязательно означает, что наука полностью разрушена. «Прогресс зависит от неудач», — говорит Ричард Шиффрин (Richard M. Shiffrin), психолог из Индианского университета в Блумингтоне. Он скептически относится к тому, какое внимание уделяется «кризису». Шиффрин считает, что на воспроизводимости внимание акцентируется для того, чтобы обесценить достижения науки. Ученые, рассматривающие кризис как реальность, не всегда отрицают данную Шиффрином оценку. Гленн Бегли отмечает, что у проблемы существуют реальные последствия: тщательную проверку не выдерживают так много данных, что на разработку лекарств уходит гораздо больше времени и средств, чем потребовалось бы при более «чистой» системе. «Мы тратим много времени, следуя по ложному пути», — говорит Бегли.

Оказалось, что результаты исследования с горячим кофе — один из таких путей. Кэти Коркер по результатам работы, которую она довела до конца, используя горячие и холодные накладки, не нашла подтверждения тому, что человек ведет себя более дружелюбно, держа что-то теплое. Хотя исходная работа появилась в первом классе журнала, результаты повторного исследования можно найти в гораздо менее значимом издании. Это был прорыв иного рода, который встретили с намного меньшим пылом. ■

Всё, всем, всегда ДОСТУПНО



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

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

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

www.sciam.ru



Google play



**В мире
науки**

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал



ПРЕКРАТИТЬ ДОМОГА- ТЕЛЬСТВА

Глава комиссии по подготовке доклада о сексуальных домогательствах объясняет, как сделать науку доступной для каждого

Клара Москович

В научном сообществе сексуальные домогательства распространены больше, чем в любой другой сфере занятости людей, за исключением армии. Согласно революционному июньскому докладу Национальной академии наук США и входящих в ее состав Национальной инженерной академии и Института медицины, домогательства причиняют боль людям, уменьшают число научных талантов и в конечном итоге наносят вред целостности самой науки. Чтобы разобраться в проблеме и найти наилучший способ ее решения, комиссия из 21 эксперта в течение двух лет изучала данные и результаты проведенного по ее заказу нового исследования. В течение этого времени движение #MeToo («Я тоже») заставило мир осознать, насколько распространены сексуальные домогательства и как они разрушительны. Сейчас Пола Джонсон (Paula Johnson), президент Колледжа Уэллсли и сопредседатель комиссии по подготовке доклада, надеется, что содержащиеся в докладе рекомендации и советы будут с готовностью услышаны и приняты во внимание. Журнал *Scientific American* побеседовал с Полой Джонсон о том, как решать проблему.

— Что необходимо сделать, чтобы изменить ситуацию?

— Мы обнаружили, что существующие процедуры и политика не предотвращают сексуальные домогательства. Стало ясно, что необходимо идти по пути культурных изменений. Мы выделили ряд основных направлений. Первое — создание иной, основанной на уважении среды без дискриминации. Второе —

настоящее изменение динамики сил в отношениях «руководитель — студент». Необходимо снизить роль индивидуальных отношений в таком взаимодействии, рассмотрев возможность руководства целой группой, и продумать, как разделить отношения наставничества и финансовую зависимость от руководителя. Третье — поддержка объектов домогательств, предоставление им альтернативных возможностей получить работу независимо от того, решат они выдвигать обвинение или нет.

В том, как в настоящее время рассматриваются подобные дела, существуют определенные особенности, по-настоящему мешающие достичь того, к чему мы стремимся. Например, мы рекомендуем запретить соглашения о конфиденциальности с виновными. Такие соглашения мешают организациям обеспечивать открытость и лишают их возможности предоставлять информацию, которая может оказаться важной для других научных организаций.

— Вы выяснили также, что лишь немногие из жертв домогательств выдвигают обвинения. Как это изменить?

— Существует ряд новых способов сообщить о фактах домогательств, предоставляющий жертвам больше контроля. Один из них — программа *Callisto*, которую выбирают все большее число колледжей и университетов. Эта программа позволяет людям, не выдвигая официальных обвинений, сделать запись о случаях домогательств и поставить временную отметку. Пользователи смогут увидеть, если другие зафиксировали факты домогательств со стороны того же обвиняемого. Такой способ позволяет людям делиться информацией анонимно. Это многообещающее, интересное средство.

— Обращается ли в докладе внимание на то, что проблема домогательств по-иному затрагивает «цветных» женщин и другие меньшинства?

— Мы выяснили, что женщины с другим цветом кожи чаще становятся объектами домогательств, чем белые женщины, белые мужчины и «цветные» мужчины. Кроме того, они также испытывают притеснения расового и этнического характера. Мы разрабатывали рекомендации с учетом полученных данных. Создание более открытой, основанной на уважении среды без дискриминации — вот что поможет справиться с этой проблемой.

— Вы специалист в области медицины, той сферы науки, где домогательства распространены больше всего. Как вы думаете, с чем это связано?

— Качественное исследование в виде интервью, проведенное по заказу комиссии, дало некоторое представление об этом. Исследование показало, что наряду с определенными ожиданиями, связанными с изнурительным режимом учебы, некоторые респонденты рассматривали сексуальные домогательства просто как часть сложностей, которые им предстояло вытерпеть. Жертвы говорили: «Условия довольно тяжелые, и это трудный опыт, а домогательства — его часть».

— Вы считаете, что изменения, к которым вы призываете, произойдут?

— Да. Мы все знаем, что культурные изменения трудны и не происходят мгновенно. Но и сама проблема не возникла внезапно. Появились руководители, включая меня и многих других, которые проявляют инициативу и уже воплощают в жизнь некоторые из наших предложений. Несомненно, тот факт, что домогательства так распространены, очень тревожит. Но мы предлагаем дорожную карту, и я считаю это обнадеживающим. Думаю, в данный момент мы полны решимости двигаться вперед.

ПОМОГАТЬ МОЛОДЫМ УЧЕНЫМ

Начинающим исследователям приходится иметь дело с неопределенностью будущего, бороться за финансирование, балансировать между научной деятельностью и семейной жизнью, переезжать из-за работы

Ребекка Бойл



Дженнифер Хардинг (Jennifer Harding) училась на четвертом курсе аспирантуры Техасского университета в Остине, когда был согласован федеральный бюджет на 2018 г. Дженнифер, морской геофизик, потратила годы, чтобы для визуализации зон субдукции научиться обращаться с исследовательским судном,

финансируемым Национальным научным фондом. А потом она узнала, что Национальный научный фонд планирует продать корабль, отрезав ей доступ к получению новых данных. В свои 26 лет, окончивая последний курс аспирантуры, Хардинг пытается решить, что делать дальше, и надеется, что ей удастся найти работу в нефтегазовой промышленности. «У меня выбили почву из-под ног», — говорит Дженнифер.

Молодые ученые, такие как Дженнифер Хардинг, проходят через череду испытаний, начинающихся, как только выпускники университетов получают свои дипломы. Им приходится переезжать в другие страны и на другие континенты ради программ аспирантуры, должностей постдоков или профессоров. Они стараются сохранить отношения на расстоянии и испытывают стрессы, связанные с проблемами в семейной жизни, включая принятие мучительных решений о том, когда (и следует ли вообще) иметь детей, несмотря на неопределенное будущее. Они соперничают за предоставление дефицитного финансирования. Кто-то уходит из науки в производство, что также связано с определенными сложностями, и, как утверждают некоторые, встречает негативное отношение в научных кругах. Именно с такими первоочередными проблемами сталкиваются те, кому повезло поступить в аспирантуру.

В соответствии с апрельским докладом Национальной академии наук и входящих в ее состав Национальной инженерной академии и Института медицины, система организации научной работы начинающих карьеру ученых крайне нуждается в реформах. Согласно докладу, в 2016 г. средний возраст ученого, получившего свой первый самостоятельный грант от Национальных институтов здравоохранения, составлял 43 года, тогда как в 1980 г. он был равен 36 годам.

Несколько ученых поделились с нами своими наиболее распространенными проблемами, трудностями, разочарованиями — и радостями.

ПЕРЕЕЗДЫ



Эшли Джуавинетт (Ashley Juavinett), 28 лет, нейробиолог, постдок в Лаборатории в Колд-Спринг-Харбор:

— Лишь немногие в научном сообществе говорят о переездах, потому что этого от нас и ждут: «Конечно, ты будешь ездить по стране ради должности постдока, потому что так делают все». Переезд определенно нанес урон моим отношениям. Мой партнер живет в Калифорнии, и мы долго не могли решить, должна ли она переехать в Нью-Йорк. Это проблемный вопрос, особенно для однополых пар. Нам было трудно определиться, чья карьера важнее.

ДЕНЬГИ



Алексис Вайнниг (Alexis Weinnig), 28 лет, биолог, студентка третьего курса аспирантуры в Университете Темпл:

— Мы работаем 60–80 часов в неделю, а зарплата примерно как при 25-часовой неделе. Система не успевает за ростом стоимости жизни. Мне нравится то, чем я занимаюсь, но хотелось бы получать достойное вознаграждение за выполняемую работу.

Саве Кумвенда (Save Kumwenda), 41 год, эпидемиолог, аспирант в Университете Малави:

— Самое сложное — получить финансирование достаточного объема. Большинство грантов предполагают, что научные организации, от имени которых вы обращаетесь, имеют базовую инфраструктуру, связанную с исследованиями. Но когда вы получите финансирование, этого оказывается недостаточно, потому что не хватает оборудования или оно устарело. Его использование ставит под сомнение результаты исследования, и их трудно опубликовать в журналах с высоким рейтингом.



Ребекка Бойл (Rebecca Boyle) — независимый журналист, обладательница нескольких журналистских наград. Она сотрудничает с журналом *Atlantic*, ее статьи регулярно появляются в журналах *New Scientist*, *Wired*, *Popular Science* и других изданиях.

КУЛЬТУРА



Скайлар Байер (Skylar Bayer), 32 года, морской эколог, стипендиат 2018 г. Программы Джона Кнаусса «Морская политика»:

— Во многом способ организации науки напоминает феодальный строй. За студента отвечает научный руководитель. Если отношения с руководителем не очень хорошие, то вам придется туго. За это не очень-то большая ответственность: поскольку вы не наемный работник, у вас меньше прав. Вам понадобятся сторонники, которые смогут использовать свой авторитет для вашей защиты.

СЕМЬЯ



Жак Пак Кан Ип (Jacque Pak Kan Ip), 35 лет, нейробиолог, постдок в Массачусетском технологическом институте:

— Мы собираемся завести детей. Я не могу просить жену снова пожертвовать ее карьерой, но я уже потратил много времени на свое исследование. Когда супруга забеременеет, мне придется отложить научную работу. Должность сотрудника с перспективой заключения постоянного контракта принесла бы больше стабильности, и мы могли бы планировать ребенка, но мне 35, а жене 34 и наше временное окно для рождения детей становится все уже.

ПРОИЗВОДСТВО ИЛИ НАУЧНЫЙ МИР

Мариам Зарингалам (Maryam Zaringhalam), 30 лет, молекулярный биолог, стипендиат Американской ассоциации содействия развитию науки в области научной и технологической политики:

— Я довольно рано поняла, что не хочу делать карьеру в университетской науке, и научилась жить с чувством стыда из-за этого. Женщина-ученый, иранка, я чувствовала себя обязанной следовать по данному пути, потому что знала: это «протекающий трубопровод». Но мне вообще не нравится теория «протекающего трубопровода», потому что в ней рассматриваются исключительно пути в науке. Для людей с университетской подготовкой есть масса возможностей сделать карьеру в политике, адвокатуре, в сфере коммуникации или на производстве, но к такой альтернативе относятся с презрением.



ПОЛУЧЕНИЕ РАБОТЫ, СТИПЕНДИИ ИЛИ МЕСТА В АСПИРАНТУРЕ



София Наср (Sophia Nasr), космолог, студентка второго курса аспирантуры в Калифорнийском университете в Ирвайне:

— Самый ужасный опыт в моей жизни — подача заявки на стипендию Национального научного фонда. Я всю душу вложила в эту заявку, считала, что она тщательно обоснована. Но после рассмотрения всего лишь одним экспертом оказалось, что все впустую. Я узнала об отказе как раз в середине квалификационных экзаменов, так что это здорово пошатнуло мою уверенность. Теперь я пришла в себя, но, как теоретика, мне трудно даже рассчитывать на другие организации, которые предложили бы финансирование. Для меня такой организацией был Национальный научный фонд, так что отказ стал жестоким разочарованием.



Снеха Дхарвадкар (Sneha Dharwadkar), 30 лет, специалист по живой природе в Манере (Индия):

— Сейчас я подаю заявки в аспирантуру в США и везде получаю отказы. Большинство профессоров говорят, что до поступления в аспирантуру надо иметь несколько публикаций. Но, поскольку я еще не вхожу в научное сообщество, очень трудно добиться публикации в нормальном издании.



Дэниел Гонсалес (Daniel Gonzales), 27 лет, стипендиат Национального научного фонда в области прикладной физики, аспирант в Университете Райса:

— Для того чтобы стать конкурентоспособным на рынке труда в университетской науке, я должен показывать блестящие результаты. У меня уже есть публикация в журнале с высоким рейтингом, но лучше, если до окончания аспирантуры выйдет еще одна. Я бы выбрал престижную должность постдока не здесь, не в Техасе. Было бы здорово завоевать награды, будучи постдоком, и продолжить публиковать эффективные результаты в ведущих журналах. Но у меня есть семья, двое маленьких детей. Переезжать тяжело, жить на зарплату постдока — тоже. Я знаю, что у меня есть необходимые способности, чтобы добиться успеха, но как это отразится на моей семье?



Карина Фиш (Carina Fish), 26 лет, морской биогеохимик, студентка второго курса аспирантуры в Калифорнийском университете в Дейвисе:

— Как специалиста, занимающегося изучением климата и океана, меня в то же время очень беспокоило, что я делаю недостаточно, чтобы противодействовать системному и институциональному расизму, с которым сталкивается моя община. Разрешить это противоречие я смогла, выяснив, где эти два направления пересекаются. Я считаю своим призванием защиту экологической справедливости, учитывая, что изменение климата усугубляет социальное неравенство.



Анхель Адамес-Корралиса (Angel Adames-Corralliza), 29 лет, старший преподаватель наук об атмосфере в Мичиганском университете:

— Я пуэрториканец, и, поскольку в научном сообществе нас очень мало, я чувствую, что должен представлять свой народ. Мне хочется проложить путь для будущих поколений латиноамериканцев, пуэрториканцев и других малых этнических групп. То, что я работаю преподавателем, придает мне определенный вес, и я могу выступать в защиту этнокультурного разнообразия и роли женщин в науке.



Джек Николудис (Jack Nicoludis), 28 лет, биохимик, постдок в Калифорнийском университете в Сан-Франциско:

— Занимая сейчас позицию постдока, я собираюсь претендовать на должность преподавателя. Но есть некоторая неуверенность в вопросе получения работы, поскольку я гей. Существует девиз: подавайте как можно больше заявок. Однако должность может оказаться в штатах, где не признают защиту сексуальной ориентации личности. Мне придется решать, смогу ли я жить там, где окружающие не будут ко мне толерантны, поскольку это место может оказаться единственным, где я смогу устроиться на работу.

СОСТОЯНИЕ
МИРОВОЙ
НАУКИ — 2018

ЛОМАЯ БАРЬЕРЫ

Для решения современных глобальных проблем требуется междисциплинарная наука

**Грэм Уорти
и Шери Естремски**



ОБ АВТОРАХ

Грэм Уорти (Graham A.J. Worthy) — основатель и директор Национального центра интегрированных исследований побережья при Университете Центральной Флориды (*UCF Coastal*), декан биологического факультета. Его научная работа посвящена изучению реакции морских экосистем на природные и антропогенные воздействия.



Шери Естрески (Cherie L. Yestrebeky) — заместитель директора *UCF Coastal*, декан химического факультета. Ее специализация — экологическая химия и ликвидация последствий загрязнения окружающей среды.



Лагуна Индиан-Ривер, мелководный эстуарий, раскинувшийся вдоль восточного побережья Флориды больше чем на 250 км, страдает от результатов деятельности человека. Плохое качество воды и цветение токсичных водорослей привели к гибели рыбы, вымиранию ламантинов и дельфинов и расселению инвазивных видов. Но у людей, живущих здесь, тоже есть потребности: в восточной части лагуны протянулась цепь барьерных островов, имеющих большое значение для экономики Флориды, туризма, сельского хозяйства, а также для запуска космических миссий *NASA*.

Так же как и во Флориде, во всем мире на побережье возникают серьезные проблемы в результате роста населения и связанного с ним загрязнения окружающей среды. Более того, последствия изменения климата ускоряют ухудшение экологической и экономической ситуации. Исходя из того, что находится под угрозой, ученые, подобные нам — биологу и химику из Университета Центральной Флориды, — считают крайне необходимым проведение исследований, которые могут предоставить политикам информацию, полезную для увеличения жизнеспособности и устойчивости прибрежных общин. Как наши исследования могут больше всего помочь

сбалансировать экологические и социальные нужды в рамках существующих политических и экономических систем? Именно с задачами такого уровня сложности должны работать ученые, вместо того чтобы стыдливо отворачиваться

Хотя новые технологии, несомненно, играют роль в решении таких проблем, как изменение климата, подъем уровня моря и затопление побережья, нельзя полагаться только на нововведения. Как правило, технологии не принимают во внимание сложный характер взаимодействия между людьми и окружающей средой. Вот почему для выработки решений ученым необходимо использовать междисциплинарный командный подход — распространенное явление в мире бизнеса, но относительно редкое в университетах.

Университеты, без всякого сомнения, представляют собой потрясающий источник интеллектуальной мощи. Но студенты и преподаватели обычно организованы в рамках факультетов — или академически разобщены. Ученые владеют методами и языком собственных дисциплин и учатся сообщать друг другу данные, используя специфический жаргон.

Если цель исследования заключается в фундаментальном изучении физической или биологической системы в пределах нишевого сообщества, такая структура очень полезна. Но когда проблема, для решения которой проводятся изыскания, выходит за рамки закрытой системы и связана с воздействием на общество, разобщенность приводит

к появлению различных барьеров. Такие барьеры ограничивают творческое мышление, гибкость и сообразительность и фактически лишают желания работать на междисциплинарной основе. В качестве преподавателей мы стремимся обучать студентов по своему образу и подобию и поэтому непреднамеренно выпускаем специалистов, с трудом общающихся с учеными из соседнего здания, не говоря уже о широкой общественности. В этом случае отдельные исследования становятся неэффективными при решении проблем, возникающих в политике и планировании, таких как вопросы адаптации прибрежных общин и экосистем по всему миру к повышению уровня моря.

Термин «междисциплинарный» должен означать больше, чем просто различные направления точных, естественных и технических наук. Решение проблем, связанных с влиянием изменения климата, требует более серьезного вовлечения общественных наук

Наука для более общей картины

Мы — ученые, живущие и работающие во Флориде, — поняли, что должны играть более важную роль, помогая нашему штату и стране в целом в выборе научно обоснованных решений, когда дело касается уязвимых прибрежных районов. Мы решили провести комплексную оценку природного и антропогенного воздействия на жизнеспособность, восстановление и устойчивость наших прибрежных систем и выполнить долгосрочное интегрированное исследование.

Сначала мы сосредоточились на расширении исследовательского потенциала наших программ в области биологии, химии и техники, потому что в каждой из них уже были широко представлены исследования побережья. Затем наш университет объявил о формировании кластерной инициативы с участием профессорско-преподавательского состава с целью создания междисциплинарных научных групп, сконцентрированных на решении будущих наиболее сложных социальных проблем. Собирая все предложения, мы обнаружили, что в кампусе в Орландо 35 человек из преподавательского состава 12 факультетов семи колледжей уже занимались изучением проблем побережья. Причем многие из этих людей никогда не встречались. Стало понятно, что для сотрудничества недостаточно просто работать в одном кампусе.

Поэтому мы стремились создать команду из ученых с различной специализацией, которые бы ежедневно работали в тесном контакте друг с другом. Основные члены группы стали бы также связующим звеном между командой и ведущими специалистами с их родных факультетов. Поначалу оказалось, что найти экспертов, по-настоящему заинтересованных в участии в команде, гораздо сложнее, чем мы думали. Хотя идея проведения междисциплинарных исследований не нова, она не всегда поощряется в научном сообществе. Некоторые представители профессорско-преподавательского состава все еще беспокоятся, не навредит ли участие в таких исследованиях их репутации при подаче заявок на гранты, продвижении по карьерной лестнице или приеме статей в журналах с высоким рейтингом. Но мы не предлагаем расформировать кафедры в университетах. Наоборот, они обеспечивают необходимую глубину исследований, тогда как междисциплинарная группа придает размах совместным усилиям.

Наш проект оказался успешным, и в прошедшем январе был создан Национальный центр интегрированных исследований побережья при Университете Центральной Флориды (*UCF Coastal*). Наша цель — помочь прибрежным сообществам в разработке мер по обеспечению более эффективного экономического развития, охраны окружающей среды, планирования снижения рисков и государственной политики. Чтобы интегрировать науку и социальные нужды, мы собрали вместе биологов, химиков, инженеров, исследователей в области биомедицины, антропологов, социологов, политологов, проектировщиков, специалистов по чрезвычайным ситуациям и экономистов. Похоже, самые интересные, творческие решения старых проблем рождаются, когда люди с разным образованием и жизненным опытом обсуждают вопросы за чашкой кофе. Кроме того, термин «междисциплинарный» должен означать больше, чем просто различные направления точных, естественных и технических наук. Решение проблем, связанных с влиянием изменения климата, требует более серьезного вовлечения общественных наук — той области знаний, которая часто недооценивается.

Национальный научный фонд, так же как и другие группы, пытаются оценивать более широкие последствия реализации проектов, недавно стал требовать, чтобы во всех предложениях о проведении исследований присутствовали компоненты общественных наук. К сожалению, во многих случаях

в заявке указывают участие специалиста в области общественных наук только для галочки, а не для того, чтобы взять на себя настоящие обязательства и учитывать рекомендации этой отрасли науки в рамках проекта. Однако при планировании исследования вопросы социологии, экономики и политики необходимо учитывать с самого начала, а не в последнюю очередь. В противном случае наша работа потерпит неудачу на стадии претворения в жизнь, следовательно, мы будем недостаточно полезны в решении практических задач. В результате общественность станет скептически относиться к тому, каков может быть вклад ученых в решение проблем.

Налаживание связей с общественностью

Реальность такова, что представление результатов исследования общественности становится все более важной обязанностью ученых. От этого зависит, какими будут приоритеты политиков в вопросах стратегии, финансирования и регулирования. *UCF Coastal* существует в мире, где к науке не всегда относятся с уважением, иногда ее даже представляют в образе врага. За последние годы доверие к науке было подорвано, и мы должны действовать обдуманно, чтобы его вернуть. Мы обнаружили, что общественность желает видеть научные исследования, направленные на решение существующих проблем. Именно поэтому мы объединяем строго научные исследования с исследованиями прикладного характера. Таким образом мы можем сосредоточиться как на вопросах, требующих немедленного решения (например, помощь городу или бизнесу в восстановлении после урагана «Ирма»), так и на долгосрочных задачах (например, прямое консультирование общины по вопросам укрепления устойчивости в связи с увеличением частоты наводнений).

Нельзя ожидать, что мы, ученые, сможем объяснить значение наших исследований широкой общественности, если сначала не научимся понимать друг друга. Преимущество постоянной работы бок о бок заключается в том, что мы вырабатываем общий язык, и слова, имевшие ранее противоположное значение для ученых разных специальностей, приобретают одинаковый смысл. Наконец, мы учимся с большей ясностью объясняться друг с другом и начинаем более отчетливо осознавать, как наша область деятельности вписывается в общую картину. Мы больше узнаем о культуре и производстве — определяющих факторах для достижения согласия и формирования политики. Вместо того чтобы вручить специалистам по городскому планированию кипу исследовательских статей и удалиться, *UCF Coastal* занял позицию коллеги, который слушает, а не просто поучает.

Такой стиль выполнения научных задач подходит не только для решения проблем, связанных с изменением климата. Этот подход применим к любому аспекту современного общества, в том числе в сфере геномной инженерии, автоматизации, искусственного интеллекта и т.д. Промышленность, государственные ведомства, местные сообщества и ученые положительно отнеслись к созданию *UCF Coastal*. Мы полагаем, так произошло потому, что люди действительно хотят вместе решать проблемы, но для этого необходим более совершенный механизм. Мы надеемся, что *UCF Coastal* станет таким механизмом и вдохновит другие научные организации сделать то же самое.

В конце концов, нам годами говорили: мыслите глобально, действуйте локально; вся политика имеет местный характер. Лагуну Индиан-Ривер во Флориде удастся сохранить только при участии местных жителей, местной промышленности, ученых, государственных учреждений и некоммерческих организаций. Наш долг как ученых — помочь каждому понять, что для решения проблем, возникших не за одно десятилетие, тоже потребуются не один десяток лет. Нам необходимо представлять наиболее полезные решения и в каждом случае объяснять тонкости выбора оптимального варианта. Это возможно только в том случае, если ученые станут рассматривать свою работу как часть междисциплинарного, общинного подхода. Если мы будем прислушиваться к общественности и реагировать на озабоченность и опасения, то нам удастся более убедительно аргументировать, почему научно обоснованные решения оказываются более эффективными в долгосрочной перспективе. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Assessing Scientists for Hiring, Promotion, and Tenure. David Moher et al. in *PLOS Biology*, Vol. 16, No. 3, Article No. e2004089; March 29, 2018.
- Sexual Harassment of Women: Climate, Culture, and Consequences in Academic Sciences, Engineering, and Medicine. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; 2018.
- Стэнфордский инновационный центр метаисследований (METRICS): <http://metrics.stanford.edu>



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

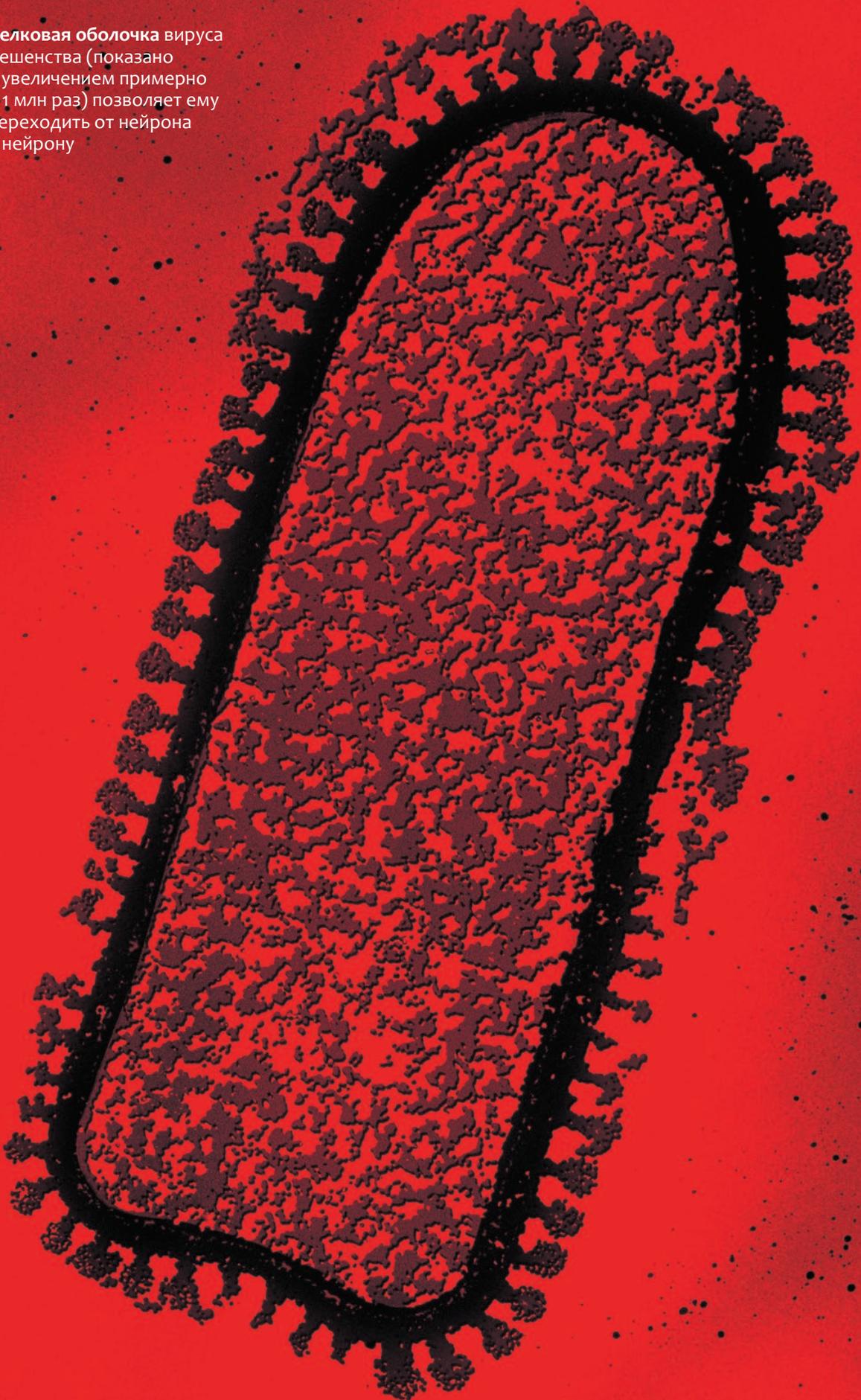


Взгляд на науку
с пристрастием

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

Белковая оболочка вируса бешенства (показано с увеличением примерно в 1 млн раз) позволяет ему переходить от нейрона к нейрону



НЕЙРОБИОЛОГИЯ

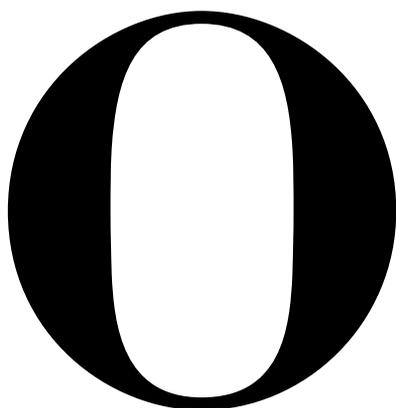
БЕШЕНСТВО В МОЗГЕ

С помощью
модифицированных
форм вируса бешенства
ученые могут точно
проследить нервные
пути

Эндрю Марри

ОБ АВТОРЕ

Эндрю Марри (Andrew Murray) — нейробиолог из Центра исследования нейронных цепей и поведения *Sainsbury Wellcome* в Лондоне. Его группа изучает, как мозг управляет движениями.



Однажды лунной ночью трое бесшабашных гуляк посреди английских болот были потрясены ужасным зрелищем: «мерзкое чудовище — огромный, черной масти зверь, сходный видом с собакой, но выше и крупнее всех собак, каких когда-либо приходилось видеть смертному. И это чудовище у них на глазах растерзало горло Гуго Баскервиля и, повернув к ним свою окровавленную морду, сверкнуло горящими глазами. Тогда они вскрикнули, обуянные страхом, и, не переставая кричать, помчались во весь опор по болотам». Специалисты по истории медицины считают, что ужас, который собака Баскервилей вызывала у поклонников Артура Конана Дойла, объясняется глубоким следом, который оставило бешенство в сознании британцев того времени. Благодаря способности превратить даже очень добродушных животных в разъяренных монстров с капающей из пасти пеной, вирус бешенства был одним из самых страшных бедствий в истории человечества.

Еще в 1804 г. в исследованиях немецкого врача Георга Готтфрида Цинке (Georg Gottfried Zinke) выяснилось, что вирус в высоких концентрациях присутствует в слюне инфицированных животных. Кроме того, инфекция усиливает выработку слюны, так что ее количество во рту увеличивается. Луи Пастер в 1880-х гг. показал, что мозг тоже заражен вирусом. И то и другое неслучайно. Два столетия исследований показали, что вирус бешенства сочетает предрасположенность к распространению с помощью слюны с челюстей инфицированного животного и дьявольскую способность побуждать его к безумным яростным укусам. Благодаря ловкости эволюции вирус манипулирует мозгом хозяина, чтобы обеспечить собственное эффективное распространение.

Бешенство по-прежнему ежегодно убивает более 59 тыс. человек. Однако вследствие вакцинации и карантина для инфицированных животных оно больше не наводит ужас на жителей развитых стран. А нейробиологи обращают коварную инфекцию на пользу человечеству. Вирус бешенства ловко пробирается от места укуса в мозг, незаметно перескакивая из нейрона в нейрон и оставаясь таким образом незамеченным иммунной системой. Разные исследователи, и в том числе наша группа в Центре исследования нейронных цепей и поведения *Sainsbury Wellcome*, использовали и усовершенствовали эту способность вируса, чтобы с его помощью определять связи между нейронами.

Мозг человека состоит из миллиардов нейронов, каждый связан с тысячами других; чтобы понять,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Вирус бешенства приспособлен перескакивать из одного нейрона в другой, когда передвигается от места укуса до мозга животного.
- Вирусологи и нейробиологи использовали эту способность, чтобы выяснить, от каких конкретно клеток получают сигналы исследуемые нейроны.
- Суть методики в том, чтобы создать такой вирус бешенства, который будет светиться, заражать только нужные ученые нейроны и сможет только раз перескочить из одного нейрона в другой.

как такая запутанная сеть проводов обеспечивает наши эмоции и поведение, нужно построить ее карту. Используя модифицированные разновидности вируса бешенства, мы можем увидеть, какие сигналы получает определенный тип нейронов, как электрические сигналы идут от глаза к мозгу и какие типы нейронов контролируют поддержание позы, позволяя нам не упасть. Эта область исследований еще только зарождается, но в будущем подобная информация может пригодиться, чтобы понять механизмы неврологических заболеваний вроде болезни Паркинсона и, может быть, найти для них способы лечения.

От укуса к мозгу

Вначале, при укусе, вирусные частицы (вирионы) попадают в мышечную ткань. Под оболочкой, по форме напоминающей пулю, имеются одиночная нить РНК и белки, снаружи вирус покрыт ключими белками гликопротеинами. Это покрытие обманывает мотонейроны, отростки которых проходят рядом с местом укуса, и вирус проникает внутрь нейрона. Мотонейроны выделяют вещества, побуждающие мышцы сокращаться. Эти нейроны образуют часть длинной цепи, ведущей в мозг жертвы — конечный пункт назначения для вируса.

Если быть точным, гликопротеин связывается с рецептором в синаптическом окончании нейрона — месте, где происходит передача сигнала на соседний нейрон. Через синапс идет поток сигналов в одну сторону, и этим он похож на дверь в контролируемой зоне аэропорта, через которую можно выйти, но нельзя зайти. Условно «нисходящее» направление синапса — это поток сигналов между нейронами, идущий от мозга к мышцам. Однако вирус бешенства движется вверх, против потока, потому что он должен попасть в мозг. По сути, он обманывает рецептор, чтобы зайти в мотонейрон через ворота, предназначенные для выхода.

Вирусы искусно используют клетки хозяев в своих целях, но мало кто сможет превзойти в этом бешенство. Оказавшись внутри, нарушитель сбрасывает свою гликопротеиновую маскировку, и его РНК приступает к работе, используя материалы и энергию клетки, она создает копии себя и синтезирует свои особенные белки. Затем из этих компонентов собираются новые вирионы. В отличие от многих видов вирусов, которые размножаются так быстро, что зараженная клетка лопаается, высвобождая вирусные частицы в межклеточное пространство, вирус бешенства строго контролирует свое размножение, производя ровно столько потомков, чтобы можно было продолжить путь. Таким образом он не причиняет ущерба, достаточного, чтобы насторожить иммунную систему. Он оставляет клетку хозяина неповрежденной

и, продолжая двигаться вверх, пересекает синапс и попадает в следующий нейрон. Такая скрытность — одна из причин, почему у этого заболевания столь длинный бессимптомный инкубационный период, у людей он составляет обычно от одного до трех месяцев.

Перескочив на новый нейрон, вирион начинает все сначала: раздевается, копирует себя и собирает новые вирусные частицы, которые перемещаются вверх на следующий нейрон. Таким образом вирус бешенства движется по нервной системе, переползая из двигательного нейрона, с которым он встретился в мышечной ткани, через спинной мозг в головной.

К началу 2000-х гг. несколько исследовательских групп, в том числе группы Габриеллы Уголини (Gabriella Ugolini) из Института нейробиологии Университета Париж-Сакле и Питера Стрика (Peter Strick), работающего сейчас в Питтсбургском университете, заинтересовались использованием бешенства для прослеживания нейронных связей. Однако расшифровать маршрут, по которому вирус попадает из мышцы в мозг, было непросто. Как нейробиолог, глядя на фотографию нейронов, пораженных вирусом, сможет отличить, один прыжок через синапс совершил вирус, два или более?

Первоначально исследователи решили эту проблему, забивая лабораторных животных вскоре после заражения, так что вирус успевал перескочить только через один-два синапса. Такой подход помог выявить некоторые важнейшие пути в мозге, участвующие в регуляции движений. Но у него были и свои недостатки. Не все связи между нейронами одинаковы. Синапс может быть сильным (или слабым), тогда повышается (или понижается) вероятность того, что постсинаптический нейрон передаст сигнал дальше. Синапс может быть расположен близко к телу клетки, а не далеко на конце отростка. И некоторые нейроны образуют единственную связь со следующим нейроном, тогда как другие могут иметь сотни подобных связей. Такая неоднородность означает, что вирус может перемещаться от одного нейрона к другому за разные промежутки времени, а это еще добавляет неопределенности. Что если вирус пройдет через два или три сильных синапса быстрее, чем через один слабый?

Модификация вируса

Для того чтобы обойти эту проблему, ученым понадобилось перестроить вирус бешенства. У молекулярных биологов есть удивительные возможности манипуляций с ДНК: замена генов для них — такое же обычное дело, как приготовление кофе на лабораторной кухне. Однако у дикого вируса бешенства нет ДНК, которой можно было бы манипулировать, у него только РНК. Данное препятствие удалось обойти благодаря обратной генетике,

гликопротеин, на ген, кодирующий флуоресцентный белок. Модифицированный вирион больше не мог делать гликопротеины, вместо этого на основе информации в его РНК помимо белков вируса бешенства синтезировался флуоресцентный белок, так что инфицированная клетка светилась тем цветом, который выбрал экспериментатор.

Следующим шагом надо было обеспечить наличие гликопротеина в нужном нейроне с помощью какого-то другого генетического механизма. Таким образом, новые вирионы создавали бы гликопротеиновые оболочки и перескакивали через синапс, но лишь однократно. Для этого ученые использовали очень простой вирус, который называется «аденоассоциированный вирус» (AAV), поскольку часто встречается вместе с более крупным аденовирусом. AAV содержит небольшую молекулу ДНК. Исследователи из Института Солка вставили в эту ДНК ген для синтеза гликопротеина вируса бешенства. Вирионы бешенства могли использовать данный гликопротеин, чтобы перескочить через один синапс. Однако они не могли взять с собой этот ген, поскольку это был фрагмент ДНК, а не РНК. Поэтому когда вирион перепрыгивал в следующую клетку, он снова застревал. Если в этот момент посмотреть на мозг зараженного животного, можно увидеть в нервной системе популяцию светящихся клеток, которые были непосредственно связаны с любым нейроном, выбранным исследователями.

Но оставалась одна проблема. Введение вируса бешенства в мозг вызывало прямое заражение любого нейрона, у которого были отростки в месте инъекции. Не имея способа заражать первоначально только конкретные нейроны, ученые не могли различить, какие клетки были заражены напрямую, а какие — после перескока вируса через синапс. Решение пришло из другой области вирусологии: той, которая изучает вирусы птиц.

В природе встречаются целые классы вирусов, заражающих только определенные группы животных. Например, саркомо-лейкозные вирусы птиц (ASLV) обычно вызывают рак у кур, но, как правило, не заражают клетки млекопитающих. Как и у бешенства, у этого вируса есть гликопротеиновая оболочка, которая, однако, бывает разной. Различные гликопротеины ASLV называются *Env* (от англ. *envelope* — «оболочка»), а дальше буквой обозначается конкретная форма гликопротеина. Каждый подтип связывается со своим рецептором. Например, *EnvA* связывается с рецептором TVA (птичий рецептор *tumor virus A* — «опухолевый вирусный A»). Если у клетки нет TVA-рецептора, ее нельзя заразить вирусом, покрытым гликопротеинами *EnvA*. Такое избирательное взаимодействие позволило ученым направленно заражать вирусом бешенства какой-то один тип нейронов.

Вводя ген для гликопротеина *EnvA* в культуру клеток, зараженных бешенством (процесс называется «псевдотипирование»), Уикершем, Каллауэй и их коллеги заменили исходную гликопротеиновую оболочку вируса бешенства на гликопротеин *EnvA* из птичьего вируса. Измененный таким образом, вирус бешенства не мог обмануть клетки млекопитающих, чтобы попасть внутрь. Снабдив определенные нейроны, как правило, в мышине мозге, TVA-рецептором, нейробиологи могли быть уверены, что вирус заразит только эту клетку.

Данный нейрон (на самом деле — целый класс нейронов) снабжался также AAV с геном гликопротеина бешенства. Оказавшись внутри, вирус бешенства сбрасывал «костюм цыпленка», надевал свою нормальную оболочку и перескакивал в вышележащий нейрон. Изменив вирус бешенства так, чтобы он заражал вначале только определенную группу «стартовых» нейронов, а потом перепрыгивал лишь однократно, исследователи смогли получить четкую картину связей в мозге.

Настройка вируса бешенства

Простота и элегантность дельта-G-системы бешенства (изобретатели назвали ее так из-за измененного гликопротеина) покорила нейробиологическое сообщество. С помощью этой системы исследователи смогли сразу увидеть, какие нейроны посылают сигналы определенным клеткам. Однако, как и все новые технологии, методика имела свои недостатки. Иногда число выявленных соединений оказывалось достаточно небольшим, около десяти на нейрон.

В 2015 г. Томас Рирдон (Thomas Reardon), Томас Джесселл (Thomas Jessell), Аттила Лосонци (Attila Losonczy) и я, все мы тогда работали в Колумбийском университете, использовали дельта-G-систему, чтобы выявить нервные связи, управляющие движениями. Обнаружив относительно небольшое количество связей с мотонейронами в спинном и головном мозге, мы заподозрили, что получили неполную картину. Другой проблемой была нейротоксичность. Когда вирус оказывался в клетке, она начинала разрушаться и погибала в течение двух недель. Если вирус сам по себе изменяет поведение отдельных нейронов, интерпретация любых наблюдений становится затруднительной.

Шнелль и Кристоф Вирблих (Christoph Wirblich) из Университета Томаса Джефферсона выполнили уникальную работу по биологии вируса бешенства. Мы обратились к ним за помощью, и они сразу поняли, что наши проблемы связаны со штаммом применяемого вируса. Первоначально он создавался для использования в вакцине против бешенства. Эта вакцина содержит специальные штаммы вируса, выбранные людьми из-за высокой скорости размножения, так что

многочисленные новые вирионы вырываются из зараженных клеток и привлекают иммунную систему. Стало понятно, как усовершенствовать наш исследовательский инструмент. Поскольку в своих исследованиях мы использовали мышей, наши коллеги вирусологи предложили нам попробовать штамм, который на протяжении многих лет приспособивался заражать мышинные нейроны.

Исходный вирус этого штамма изначально был получен из дикой природы, но затем «прижился» в лаборатории, неоднократно проходя через мозг мышей или культуры клеток. Таким образом, он приспособился именно к нервной системе грызунов. Собрав отслеживающую систему на основе этого штамма, мы обнаружили, что она помечает гораздо больше соединений, чем мы видели ранее. Более того, специализируясь на уклонении от иммунной системы мыши, вирус производил относительно небольшое количество каждого белка. Таким образом, он меньше напрягал клетку хозяина и позволял нейронам оставаться относительно здоровыми.

Далее мы изменили нашу систему, поставив в вирусе бешенства вместо гена флуоресцентного белка ген светочувствительного белка каналродопсина (*ChR*), первоначально найденного у зеленых водорослей. При освещении синим светом эта замечательная молекула открывает канал, позволяя положительно заряженным ионам заходить в определенный нейрон, так что в нем возникает электрический сигнал (при этом инфицированная клетка продолжает светиться, поскольку мы использовали версию *ChR*, содержащую и флуоресцентный белок). С помощью тонко настроенной вирусной системы мы могли наблюдать, как целые нейронные цепи срабатывают, когда мышь выполняет определенное действие, а также могли включать и выключать их в течение месяца после того, как вирус заразил нейрон. Это дало нам достаточно времени для проведения многих тестов, нужных, чтобы понять, как определенные нервные связи формируют поведение.

Схема связей

Используя разные версии дельта-G-системы бешенства, нейробиологи исследовали много различных связей в нервной системе, чтобы понять, как они участвуют в восприятии и поведении животных. Рассмотрим, например, зрительную систему. Когда свет попадает в глаз, нейроны сетчатки, которые называются ганглиозными клетками, передают сигнал в мозг. Нейробиологи долгое время считали, что эта информация, проходя через промежуточные участки мозга, попадает в итоге в кору больших полушарий — знаменитое серое вещество, — где и происходит обработка. Группа ученых из Института биомедицинских исследований Фридриха Мишера в Швейцарии, которой

руководит Ботонд Роска (Botond Roska), использовала систему на основе вируса бешенства, чтобы проследить связи ганглиозных нейронов сетчатки с латеральным колленчатым телом (*LGN*), той областью мозга, которая считалась просто местом переключения сигнала на пути к коре.

Исследователи показали, что *LGN* содержит три разных типа нейронов, каждый из которых по-своему обрабатывает зрительную информацию. На самом деле менее трети нейронов служат просто для передачи сигнала дальше на пути от сетчатки в кору. Еще примерно треть получают сочетания разных сигналов от одного глаза, оставшиеся примерно 40% нейронов получают сигналы от обоих глаз. Таким образом, хотя латеральное колленчатое тело расположено недалеко от начала зрительного пути, большинство его нейронов объединяют информацию, поступающую от многих разных источников. Вероятно, это открытие прольет свет на то, как мозг интерпретирует информацию, идущую от глаз.

В Колумбийском университете мы с коллегами изучали нейроны в латеральном вестибулярном ядре (*LVN*) — той области мозга, которая пытается не дать нам упасть. Представьте, что вы едете в метро и поезд неожиданно останавливается. Не задумываясь, вы сдвигаете ступню, чтобы вернуть равновесие, переступаете и, может быть, хватаетесь за ближайший поручень. Как мозгу удается так быстро активировать правильные группы мышц в различных ситуациях?

Мы выяснили, что в *LVN* у мышей имеются два анатомически разных типа нейронов, каждый из которых образует свои нисходящие соединения с другими частями нервной системы. Первая группа быстро передает сигнал, когда мозг чувствует, что ваше тело неустойчиво, эти нейроны распрямляют конечности, чтобы расширить опору. Второй тип *LVN*-нейронов становится активным позже. Они стабилизируют расположение суставов той же конечности, чтобы вернуть тело в исходное положение. Мы могли активировать эти нейроны, просто посветив на *LVN* синим светом с помощью оптоволоконного кабеля. Когда свет включался, мышцы корректировали положение конечностей так, как будто пытались не упасть, даже если они на самом деле не теряли равновесия.

В лаборатории Нао Утида (Naо Uchida) в Гарвардском университете изучали третий важный вопрос: каковы функции нейронов, выделяющих дофамин? Давно известно, что в компактной части черной субстанции (*SNC*) и вентральной области покрышки (*VTA*) дофаминергические нейроны отвечают за подкрепление. Там возникает сильное возбуждение, когда животное получает лакомство или когда сигнал предсказывает, что лакомство скоро будет. (Сравните ощущения от поедания шоколадного батончика и когда вы только разворачиваете

обертку.) Чтобы понять, какую информацию получают нейроны, ученым нужно выяснить, как они связаны с другими нервными путями. Используя дельта-G-систему, гарвардские ученые обнаружили, что дофаминергические нейроны в SNc получают информацию об актуальности стимула: этот звук разворачиваемой обертки означает, что я получу кусочек шоколада? В то же время в VTA поступает информация о качестве подкрепления: это хороший шоколадный батончик?

При болезни Паркинсона эти дофаминергические нейроны дегенерируют. Интересно, что Утида с коллегами обнаружили также, что основные сигналы к нейронам области SNc поступают из субталамического ядра — небольшой области мозга, которая вместе с другими ядрами участвует в управлении движениями. Возбуждение субталамического ядра с помощью введенного туда электрода, так называемая глубокая стимуляция, обычно помогает ослабить симптомы болезни Паркинсона. Предполагая, что наличие этих входящих сигналов объясняет, почему работает такая стимуляция, нейробиологи заключили, что воздействие на другие области мозга, посылающие сигналы в SNc, может улучшить состояние некоторых пациентов с болезнью Паркинсона.

Таким образом, благодаря сочетанию естественной эволюции и целенаправленной генетической модификации нейробиологи получили удивительно мощный инструмент для исследований. И его еще можно улучшить. Например, получится ли создать вирус, который будет двигаться по нервной цепочке вниз, помечая места выхода сигнала, а не входа? Можно ли создать вирус, который помечает только активные связи между нейронами, высвечивая цепочки, задействованные в определенном типе поведения? Вирус, который манипулировал людьми и терроризировал их на протяжении тысячелетий, теперь служит нам — и мы манипулируем им. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Филдс Д. Другая часть мозга // ВМН, № 7, 2004.
- Monosynaptic Restriction of Transsynaptic Tracing from Single, Genetically Targeted Neurons. Ian R. Wickersham et al. in *Neuron*, Vol. 53, No. 5, pages 639–647; March 1, 2007.
- Whole-Brain Mapping of Direct Inputs to Midbrain Dopamine Neurons. Mitsuko Watabe-Uchida et al. in *Neuron*, Vol. 74, No. 5, pages 858–873; June 7, 2012.

Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Оператор всероссийского реестра одаренных детей образовательный центр «Сириус» (Сочи) за четыре года своего существования принял более 25 тыс. школьников

Юные участники программы «Большие вызовы» центра «Сириус» обнаружили на черноморском побережье карантинный для России фитопатогенный грибок, поражающий фруктовые деревья

Благодаря анализу древней ДНК новосибирские палеогенетики проследили динамику миграций народов западносибирской лесостепи от верхнего палеолита до позднего средневековья

Городок Лэйчжоу на юге Китая «захватила» огромная армия каменных собак – их почитают как защитников от злых сил, чадоподателей и управителей погоды

Из семи тысяч спутников на околоземной орбите только пятая часть работает: все остальное – «космический мусор»

www.scfh.ru

ПРИРОДНЫЕ КАТАКЛИЗМЫ

ПУТЬ К СПАСЕНИЮ

Эвакуировать целый город в преддверии надвигающегося урагана практически невозможно. Новые карты рисков указывают, кому действительно нужно все бросить и бежать, чтобы спасти свою жизнь

Леонардо Дуэньяс-Осорио, Девика Субраманьян и Роберт Штайн



Борьба со штормом. Когда в 2017 г. ураган «Харви» надвигался на Хьюстон, перед властями возникла необходимость оценки опасности затопления по сравнению с риском массового переселения жителей



ОБ АВТОРАХ

Леонардо Дуэньяс-Осорио (Leonardo Dueñas-Osorio) — инженер-строитель и эколог из Университета Райса.

Девика Субраманиян (Devika Subramanian) — ученый-компьютерщик из Университета Райса.

Роберт Штайн (Robert M. Stein) — политолог из Университета Райса.



Мы не хотели никому навредить. Наша задача состояла в том, чтобы помочь жителям Хьюстона избежать смертельной опасности. Однако в 2015 г. начались телефонные звонки и стали приходить сообщения по интернету о том, что мы только ухудшаем ситуацию. «Вы оказываете людям медвежью услугу», — заявил один чиновник с северной окраины Хьюстона. Метеоролог отчитал нас: «Почему вы говорите людям, что риск наводнения для них невелик, когда вокруг творится это самое наводнение?»

Обращения были связаны с нашей веб-картой «Вычислитель риска урагана» (*Storm Risk Calculator, SRC*), которую мы разработали для Хьюстона и его окрестностей. Карта информировала жителей, кому из них необходимо срочно эвакуироваться в преддверии урагана, поскольку их дома могут быть разрушены, а кто может оставаться, потому что их жилища скорее всего выдержат натиск стихии. Угроза была реальной: несколько лет назад на этот регион обрушились ураганы «Рита» и «Айк». Но что-то с нашей картой пошло не так.

Когда на такие прибрежные города, как Хьюстон, надвигается мощный ураган, очевидным способом уберечь людей представляется их эвакуация. Однако одновременное перемещение

миллионов людей — мероприятие само по себе небезопасное. Когда в 2005 г. ураган «Рита» направился в наш район, власти приказали всем покинуть эту территорию. На дорогах образовались огромные пробки, поскольку вместе с людьми, которые подвергались опасности в первую очередь, эвакуировались жители, рисковавшие меньше и преграждавшие дорогу первым. Несколько человек умерли по дороге от жары. В автобусе, вывозившем пациентов дома престарелых, взорвался баллон с кислородом, 23 пассажира погибли. Поэтому, когда в августе прошлого года ураган «Харви» обрушился на Хьюстон, мэр города Сильвестер Тернер (Sylvester Turner) отказался от эвакуации.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В больших городах, на которые надвигались ураганы, возникала массовая паника, на путях эвакуации образовывались огромные пробки, при этом порой гибли люди.
- Проблема в том, что предупреждения об опасности урагана или наводнения имеют слишком общий характер, не делая различий между жителями районов с высоким и низким уровнем риска.
- Карты риска нового типа, прошедшие тестирование в условиях часто подвергающегося наводнениям Хьюстона, основаны на более точных данных с указанием зданий, подверженных высокому риску. Это позволяет успокоить тех жителей, которые могут безбоязненно оставаться в своих домах.

Через несколько лет после того, как пронеслись ураганы «Рита» и «Айк», мы — инженер, компьютерщик и политолог, специализирующийся на общественной безопасности, — решили помочь Хьюстону справиться с катастрофой, создав интерактивную карту SRC, на которой мы обозначали опасные и безопасные районы в преддверии надвигающихся штормовых ветров и огромных волн. Но после того как начали поступать жалобы, мы поняли, что карта основывалась на ошибочных ориентирах. Жители Хьюстона опасались наводнений в результате сильных ливней, а не самого урагана, поскольку страдали от них гораздо больше. Людям нужна была более точная и детальная информация о возможных рисках, чем могла предоставить наша карта.

Обстоятельства подтолкнули нас к разработке масштабного исследовательского проекта, чтобы учесть опасения людей и найти новые источники информации. В результате мы создали нашу карту практически с нуля, используя более точную информацию о рисках. Новая карта, тестирование которой в реальном времени начнется в следующем году, объединяет более достоверные данные об основных видах ураганов и передовые технологии искусственного интеллекта, чтобы сообщить людям о рисках для отдельных городских кварталов и указать оптимальные пути эвакуации. Если модель будет работать так, как мы этого ожидаем, ее смогут применять службы по планированию действий в условиях чрезвычайных ситуаций, чтобы использовать имеющиеся ресурсы наилучшим образом и спасти больше жизней.

Просчитанные риски

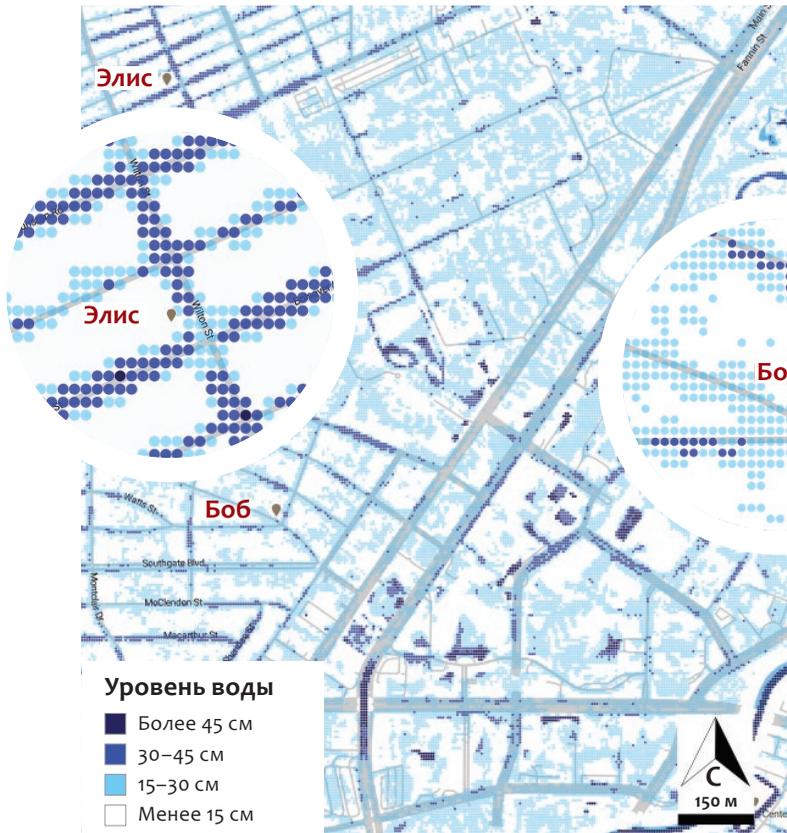
Приступая к работе над проектом «Вычислитель риска урагана», мы планировали дать оценки всех основных рисков, в том числе ущерба от штормовых волн, подъема уровня воды в реках и перебоев в электроснабжении, а также использовать данные о направлении ветра в реальном времени, предоставляемые Национальным управлением океанических и атмосферных явлений (NOAA). Помимо этого, мы учитывали информацию об уровне атмосферных осадков, сообщаемую Системой оповещения о наводнениях графства Харрис, и, например, даты возведения зданий, что позволило оценить, насколько прочно держится их крыша. Полученная модель давала возможность прогнозировать риск повреждения сооружений или отключения электричества в различных районах площадью до 1 км². Испытав ее в условиях смоделированных ураганов и оценив реальный ущерб от урагана «Айк», мы получили точность результатов в среднем выше 70%. Предыдущие карты эвакуации давали лишь прогнозы, основанные на таких параметрах, как штормовой нагон волны в целом регионе, который мог покрыть территорию в сотни квадратных километров.



Не просто ливень. В Хьюстоне к наводнениям приводят не только ураганы. Сильные ливни часто угрожают безопасности людей и разрушают здания, как это произошло в 2016 г.

Оценить возможности SRC позволит анализ последствий урагана в Мексиканском заливе, который, как ожидается, в конце года обрушится на Хьюстон. Местной жительнице Элис достаточно будет набрать свой адрес, чтобы увидеть карту рисков. На ней разными цветами обозначены низкий, средний и высокий риски повреждения ее дома от ветра, штормовых приливов, разлива рек и отключения электричества. Риск ущерба от ветра для двухэтажного дома Элис весьма высок. Построенный в 1960-х гг., он выходит фасадом в просторный парк, за которым течет река, а на открытых пространствах ветер усиливается. Кроме того, река выйдет из берегов в результате принесенных ветром дождей, что повышает риск подтопления.

Риски для другого жителя, Боба, дом которого находится в стороне в 2 км, ниже. Его построенный в 1990-х гг. одноэтажный коттедж окружен деревьями, которые ослабят натиск ветра и уменьшат его скорость. А благодаря применению современных конструкций крепления крыши к стенам здание становится более прочным. (Однако сломанные ветки деревьев могут упасть на линии электропередач и нарушить электроснабжение.) Кроме



Зоны повышенной опасности. Эта карта, созданная с помощью компьютерной программы HARVEY, охватывает район Хьюстона площадью в 2 км² и предсказывает последствия ливней, во время которых выпадает 20 см осадков. Дом местной жительницы Элис затопит, а дому Боба скорее всего ничего не угрожает.

того, дом Боба расположен дальше от реки, что снижает риск подтопления. Если жителей хорошо информировать об их рисках, то Элис, возможно, решит покинуть свой дом, а Боб предпочтет остаться, хотя обоим грозит один и тот же ураган.

SRC стал популярен сразу же после того, как власти города объявили о его появлении в июне 2012 г. В первые дни к нему прибегли около 40 тыс. человек. Вскоре количество обращений составляло примерно 1 тыс. в месяц и оставалось на этом уровне в течение нескольких лет. Но при этом обнаружилось одно неожиданное обстоятельство. С тех пор как мы создали нашу карту и вплоть до 2016 г. в Хьюстоне не было ни одного урагана, однако число пользователей резко возросло во время сильных ливней. Мощный ливень — это серьезная угроза. Город разрастается, и это приводит к тому, что на месте заливных лугов и речек появляются километры бетона. В результате поднявшаяся вода изливается на близлежащие территории и подтопляет дома. В 2015 г. и в 2016 гг. у нас были наводнения. В это время выпадает от 20 до 30 см осадков; некоторые реки не справляются с таким количеством воды, они выходят

из берегов и сносят дома. Когда местные синоптики заговорили об ожидающемся ливне, который продлится несколько часов, жители обратились к нашей карте.

К сожалению, карта не смогла предоставить им достоверную информацию. Она предназначалась для прогнозирования последствий штормового нагона волны из залива и разрушений от дующего со скоростью 120 км/ч ветра. Несколько десятков сантиметров выпавших атмосферных осадков могут привести к самым разным последствиям. Например, внутренним районам может достаться очень много воды, но наша карта не оценит это обстоятельство как опасное. Именно тогда к нам стали поступать телефонные звонки с жалобами.

Последней каплей, переполнившей чашу нашего терпения, стало событие, произошедшее в 2016 г., когда был взломан облачный сервер, который поддерживал работу карты. Это уже было невыносимо. Чем чаще сайт будет выдавать неверную информацию, тем скорее люди потеряют доверие к нашей программе. Пришлось свернуть карту. Но мы намеревались реконструировать SRC, ориентируясь на текущие потребности жителей Хьюстона, а не только на ситуацию в сезон ураганов.

Новая карта

Для начала мы обратились к Рикку Уилсону (Rick Wilson), специалисту по психологии поведения из Университета Райса. Вместе мы разработали ряд онлайн-экспериментов с использованием карт риска, в которых участвовали сотни случайным образом отобранных жителей Хьюстона, в разной степени информированных и подверженных разным типам рисков. Больше всего граждан волновали риски, связанные с ураганом, и возможность принять превентивные меры. Людей не интересовали карты, разделенные на зоны шириной в 1 км или разграниченные в соответствии с системой почтового индекса. Но когда карта предоставляла данные с точностью до квартала, к ней обращались сотни пользователей. Мы выяснили также, что для жителей внутренних районов гораздо важнее знать, каков прогнозируемый уровень осадков, чем какова ожидаемая высота приливных волн.

Такие касающиеся поведения эксперименты продемонстрировали, что людей прежде всего интересуют риски, которые они воспринимают как наиболее тесно связанные с их конкретной ситуацией. Какая огромная разница с распространением информации о катастрофах онлайн: нам

рассказывают о редких природных явлениях на территориях во многие сотни квадратных километров.

Сосредоточив внимание на событиях, которые происходят в конкретном месте, мы начали создавать систему, основываясь на данных об имеющихся стоках дождевой воды и водохранилищах. Мы назвали ее «Векторизованный определитель воздействия ураганов и дождей» (*Hurricane and Rain Vectorized Exposure Yelder*, сокращенно *HARVEY*). В *HARVEY* используется гораздо более мелкая географическая сетка местности, чем в нашей предыдущей карте, — ее ячейки составляют всего несколько квадратных метров, а не квадратных километров, как было раньше. Подобная конфигурация позволяет гораздо точнее оценивать вероятность образования водных потоков при сильных ливнях, а также их глубину.

Для получения этих оценок мы использовали различные источники. В нашем распоряжении были история прогнозов и другая информация от Национальной метеорологической службы, но наша модель учитывает также и то, из каких мест в городскую информационную службу Хьюстона 311 поступают звонки о локальных подтоплениях. Кроме того, мы фиксируем звонки с просьбой о неотложной помощи в пожарную службу и полицию. Многократные вызовы из одного и того же района свидетельствуют о том, что проблемная ситуация не разрешена. В округе Харрис имеется сеть датчиков, и мы учитываем ее показания. (Кроме того, мы тестируем беспроводную сеть установленных на улицах датчиков уровня воды.) Наши прогностические модели включают также радиолокационные данные, которые показывают, сколько влаги содержится в движущихся по направлению к городу тучах и с какой скоростью их несет ветер. Если ветер слабый, то значительная часть осадков выпадет на небольшую территорию. Это приведет к множеству подтоплений, не связанных с самим ураганом, что и наблюдалось после наводнения, вызванного медленно движущимся ураганом «Харви» в прошлом году.

Все эти данные мы наносим на топографическую карту местности с высоким разрешением, полученную с помощью лазерной системы дистанционного зондирования, которая фиксирует мельчайшие неровности рельефа местности. Для объединения информации мы используем разнообразные ИИ-программы, в частности алгоритмы глубокого обучения. Они приспособлены к объединению различных пакетов данных в гораздо большей степени, чем инженерные модели и математический аппарат, который мы использовали в нашем первоначальном «Вычислителе риска урагана».

Испытания программы *HARVEY* заключались в предоставлении ей нескольких пакетов начальных условий накануне ураганов с 2015 г., чтобы

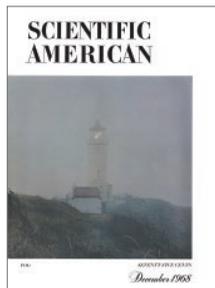
система оценила ситуацию с возможными наводнениями в нескольких районах города. Выданные *HARVEY* прогнозы вполне соответствовали полевым наблюдениям. Эта модель показала себя лучше всего при сильных ливнях, когда осадков выпадает на 5 см/ч больше, чем в предыдущее время, дождь льет несколько часов, а дренаж не выдерживает критики. Для не столь серьезных природных катаклизмов мы будем калибровать один водораздел с помощью *HARVEY* в течение нескольких лет, чтобы выявить местные факторы и долговременные последствия изменения климата.

Что это будет означать для встревоженных хьюстонцев Боба и Элис? Наша новая карта сообщит им о разных рисках, основываясь на более точных фактах о предыдущих наводнениях вблизи дома Элис и учитывая высокое местоположение дома Боба. Поскольку при каждом ливне осадки в городе выпадают неравномерно, для пользователей нашей карты оценки степени затопления улиц вблизи их домов, мест работы и дорог к ним могут значительно различаться. Система *HARVEY* сообщит пользователям об опасностях, которые могут повлиять на выбор маршрута, вероятность оказаться в ловушке и возможный уровень подтопления вблизи их домов. Все это поможет властям города заблаговременно оценить степень риска и правильно распределить имеющиеся ресурсы, позволит аварийным службам быстрее попасть туда, где люди оказались в беде.

Мы собираемся запустить в 2019 г. бета-версию *HARVEY*, специально разработанную для многострадальных жителей бассейна реки Брейс-Байу. Ее русло протекает по местности под названием Мейерленд; за последние пять лет расположенные там дома неоднократно затапливало, они были разрушены, восстановлены и снова разрушены. Зачастую люди оказывались отрезанными от суши. Мы надеемся, что теперь их будут своевременно оповещать о надвигающейся опасности. Далее мы предполагаем расширить систему, чтобы она охватывала и остальные районы города. И если эта модель работает для Хьюстона, ее можно адаптировать к условиям любого другого города в мире, который сталкивается с подобными проблемами.

Согласно выводам, сделанным на состоявшейся в 2018 г. в Хьюстоне конференции, которая посвящалась сильным ураганам, глобальные изменения климата еще более ухудшают ситуацию с ливнями в нашем регионе. Ураганы будут налетать все чаще, а значит, на нас будет обрушиваться все больше воды. Такие программные продукты, как *HARVEY*, помогут оценить риск наводнения в полном объеме, что даст возможность властям и обычным гражданам подготовиться к надвигающейся опасности. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский



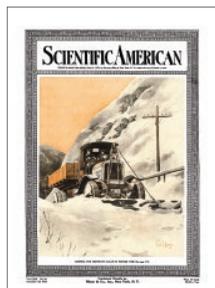
ДЕКАБРЬ 1968

Плюрипотентные клетки.

«Лучшие свидетельства сохранения генов в полностью дифференцировавшихся клетках получены в экспериментах, выполненных в Оксфордском университете с яйцами шпорцевой лягушки. Первые опыты с ядрами клеток кишечника были за-

думаны, чтобы показать, что по крайней мере некоторые из них содержат все гены, необходимые для дифференциации в клетки всех типов, и, следовательно, что некоторые из эмбрионов трансплантатов, выращенные из ядер клеток кишечника, можно превратить в лягушек. И действительно были получены и мужские, и женские особи взрослых лягушек, нормальные во всех отношениях и способные к размножению. Их существование подтверждает тот факт, что некоторые клетки кишечника имеют в своем ядре столько же различных видов генов, сколько их находится в оплодотворенном яйце». — Джон Гердон.

Примечание: за эту работу Джон Гердон получил Нобелевскую премию по медицине за 2012 г.



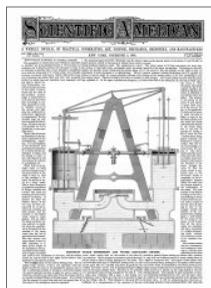
ДЕКАБРЬ 1918

Хорошие муравьи. В ежегоднике *Sudan Notes and Records* опубликован призыв в защиту белых муравьев [термитов], которые небезосновательно приобрели плохую репутацию у жителей Европы. Характерная черта климата Судана — быстрый рост растительности

в период сезонных дождей, за которым следуют засуха и обезвоживание почвы. Белые муравьи атакуют растения только тогда, когда они ослаблены засухой или болезнями, и в этом случае чем быстрее они будут уничтожены, тем лучше. Если бы не эти муравьи, все плодородные области Судана уже через несколько лет покрылись бы непроницаемым слоем мертвой растительности; единственный альтернативный способ их очистки — уничтожение огнем, опасность которого очевидна.

Проблемы демобилизации. С промышленных предприятий в США были призваны и облачены в хаки 4 млн человек. Из них 2 млн постепенно возвращаются домой, чтобы вновь влиться в число политических субъектов. Еще 2 млн нужно демобилизовать как можно быстрее. Если бы было возможным вбросить в страну одновременно 2 млн людей, у каждого из которых на руках всего \$30 и билет до дома, вероятно, возник бы хаос. Не хватило бы ни поездов, чтобы всех доставить, ни жилья, чтобы дать им

кров, возможно, недостаточно было бы даже пищи, чтобы накормить. И 2 млн вакантных рабочих мест ждут 2 млн безработных мужчин, и, безусловно, их нельзя будет заполнить за одну ночь.

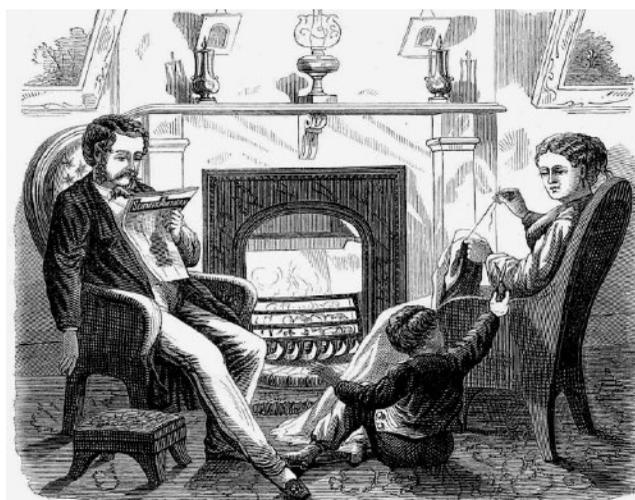


ДЕКАБРЬ 1868

Улучшить камины. Любой, кто ценит домашний уют и получает удовольствие от пылающего открытого огня, предпочтет камины закрытым печам и обогревателям, несмотря на непревзойденные тепловые качества последних. Многие, смирившись с дополнительными рас-

ходами, выбирают открытые решетки, а не более экономичные и менее полезные для здоровья нагревательные приборы. Если бы решетка или открытый камин могли давать такое же количество тепла, что и печка, любой предпочел бы их. Сохранить комфорт — цель усовершенствования решеток с открытым огнем (на илл.).

Водители и пешеходы. Во всех наших перенаселенных городах, например в Нью-Йорке, пешеходы вынуждены переходить улицы, подвергая опасности свои жизни, а также одежду из тонкого сукна и патентованной кожи. Девять из десяти дорожных происшествий случаются на переходах. Поэтому городу необходимо большое число полицейских, призванных помочь людям защититься от наездов беспечных водителей. Переходы нужно оборудовать туннелями. Мосты не решают проблему, потому что их придется строить слишком высокими, чтобы под ними смогли проехать груженные машины и omnibusy. А туннели для переходов нет нужды делать глубокими, и их можно круглосуточно освещать газовыми фонарями, что вчетверо дешевле, чем содержать регулировщиков. ■



Более экономичный (возможно) домашний камин, 1868 г.

Senior Vice President and Editor in Chief:	Mariette DiChristina	Contributing editors:	David Biello, W. Wayt Gibbs, Ferris Jabr, Anna Kuchment, Robin Lloyd, George Musser, Christie Nicholson, John Rennie
Executive Editor:	Fred Guterl	Art Contributors:	Edward Bell, Bryan Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins
Design Director:	Michael Mraz	Art director:	Jason Mischka
Managing Editor:	Ricki L. Rusting	Senior Graphics Editor:	Jen Christiansen
Digital Content Manager:	Curtis Brainard	President:	Dean Sanderson
News Editor:	Dean Visser	Executive Vice President:	Michael Florek
Opinion Editor:	Michael D. Lemonick	Executive Vice President,	
Senior Editors:	Eliene Augenbraun, Christine Gorman, Steve Mirsky, Clara Moskowitz, Debbie Ponchner, Claudia Wallis, Kate Wong,	Global Advertising and Sponsorship:	Jack Laschever
Associate Editors:	Sunya Bhutta, Lee Billings, Andrea Gawrylewsk, Larry Greenemeier, Dina Fine Maron, Annie Sneed, Amber Williams	Publisher and Vice President:	Jeremy A. Abbate

© 2019 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 дальше зарубежье:
 ЗАО «МК-Периодика»,
www.periodicals.ru
 РФ, СНГ, Латвия:
 ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,
www.akc.ru

Читайте в следующем номере

Обучение во сне становится реальностью

С помощью экспериментов ученые выяснили, как можно укрепить память, пока мозг спит.

Назад во времени

Астрономы обнаружили во Вселенной несколько самых удаленных галактик, открывающих окно в ранее неизвестный период истории космоса.

Командные игроки

Партнерские взаимоотношения в мире микробов распространены в природе гораздо шире и более значимы, чем мы представляли.

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

Лучшая десятка прорывных технологий 2018 года

Понимание смысла современных инноваций, а также тех вызовов, которые они приносят с собой, поможет человечеству приумножить пользу от них.



Иголка в стоге сена

Новый метод идентификации крошечных фрагментов ископаемых окаменелостей может ответить на ключевые вопросы о том, когда, где и как взаимодействовали древние люди.



Призрачное дальное действие

Недавние эксперименты сокрушают надежду на то, что тревожащее исследователей явление квантовой запутанности может быть полностью объяснено.

« Собрать стадо из баранов легко,
трудно собрать стадо из кошек.

С.П. Капица



С НОВЫМ ГОДОМ!



от редакции журнала «В мире науки»