

● ГОВОРИМ СВИСТЯ ● ЧТО НЕ ТАК С ТЕОРИЕЙ ИНФЛЯЦИИ? ●

В мире наук

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

4 2017

12+

ТРЕНИРОВКИ И ПОТЕРЯ ВЕСА

Новые удивительные доводы в пользу того, почему
одни лишь физические упражнения не могут избавить
от лишних килограммов и что с этим делать

ПЛЮС

ЗАЩИЩАЕМ УРОЖАИ

Критическая роль «воздушных» микробов



ЧТО ТАКОЕ КИЛОГРАММ?

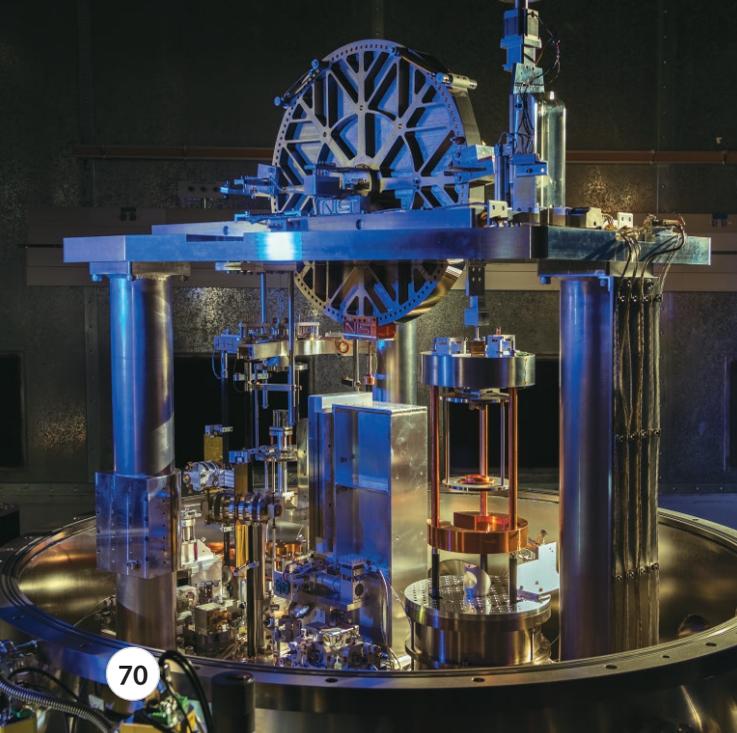
Наука ищет новые способы
повышения точности измерений



СИНТЕЗ ВСЕХ НАУК

Ресурсоэффективность
в Курчатовском институте





70



26

СОДЕРЖАНИЕ

Апрель 2017

Темы номера

ФИЗИКА

Взрывной характер работы

Наталья Ржевская

В Объединенном институте высоких температур РАН произвели взрыв с научной целью под руководством академика **Владимира Фортова**

МАТЕМАТИКА

Мы живем в многомерном мире

Наталья Лескова

За серию работ, связанных со сложными математическими построениями, один из самых молодых членов-корреспондентов РАН **Александр Гайфуллин** получил президентскую премию для молодых ученых

МЕДИЦИНА

Дом, где возрождаются сердца

Наталья Лескова

Знаменитому на весь мир Сибирскому федеральному биомедицинскому исследовательскому центру им. академика Е.Н. Мешалкина исполняется 60 лет

ЭВОЛЮЦИЯ

Парадокс физической активности

26

4

Герман Поццер

Изучение механизмов сжигания калорий организмом помогает объяснить бесполезность физической активности как средства для похудения



КОСМОЛОГИЯ

Была ли инфляция?

34

10

Анна Ийас, Абрахам Лоеб и Пол Стейнхард

Результаты недавних наблюдений астрофизиков в сочетании с теоретическими исследованиями ставят под сомнение ставшие привычными концепции инфляционной теории ранней Вселенной



БИОЛОГИЯ

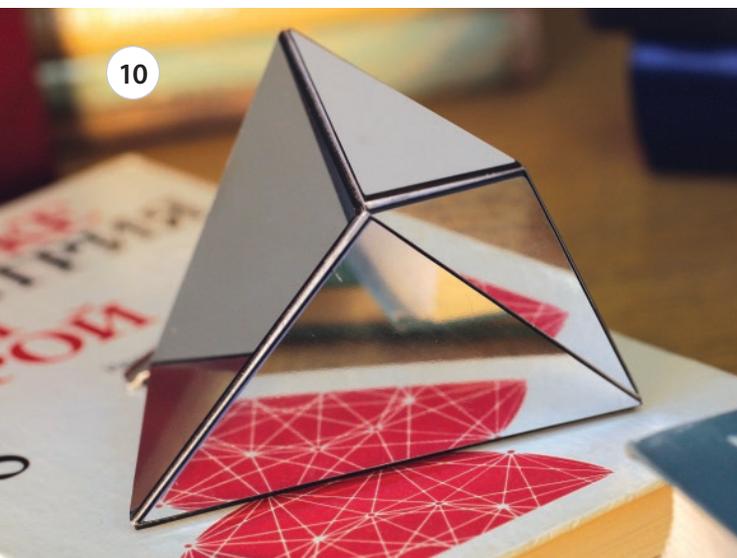
Микробы высокого полета

44

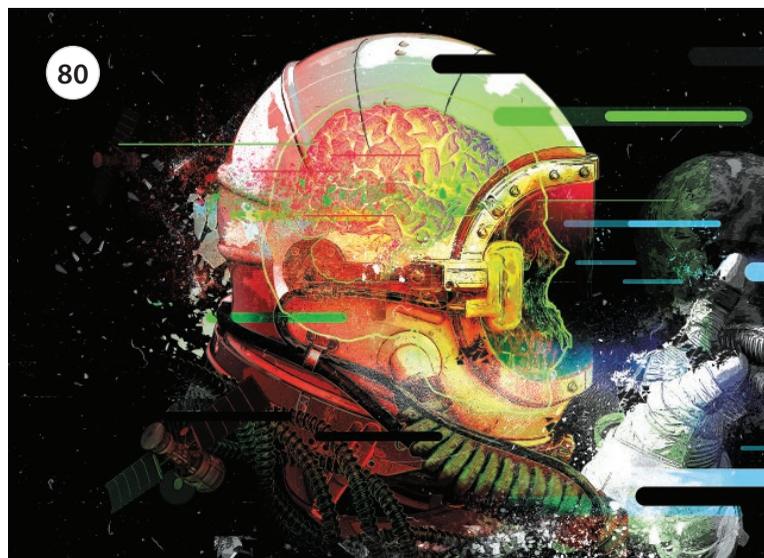
18

Шейн Росс и Дэвид Шмале

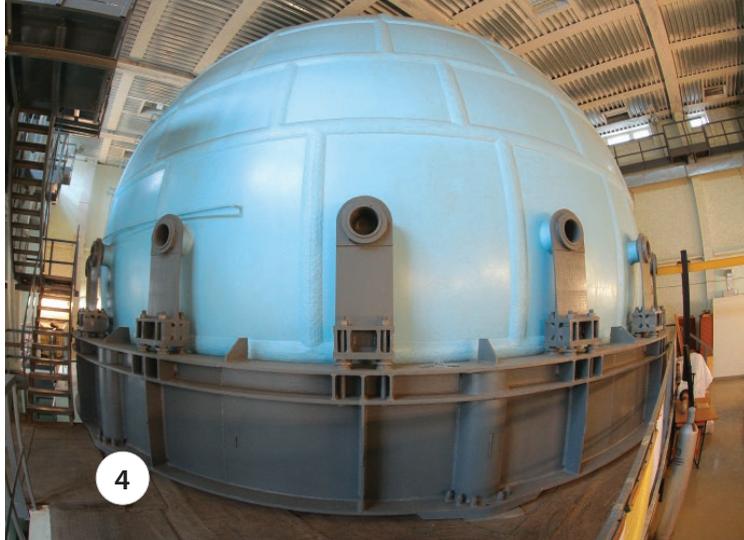
Взяв на вооружение беспилотные летательные аппараты и теорию хаоса, исследователи пытаются выяснить, как микроорганизмы распространяются по всему миру



10



80



4

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Победить рак

52

Наталья Лескова

Молодые ученые из Института молекулярной биологии РАН **Алексей Дмитриев** и **Анна Кудрявцева** стали лауреатами премии президента РФ за важные шаги в понимании природы главного убийцы XXI в. — рака



КОНВЕРГЕНЦИЯ

Синтез всех наук

58

Наталья Лескова

Три года назад на базе Курчатовского комплекса НБИКС-технологий были созданы ресурсные центры, основная задача которых — максимально эффективное использование уникального научного оборудования



ТЕХНОЛОГИИ

Страсти по бериллию

64

Валерий Чумаков

Россия стоит на пороге бериллиевого голода. О том, как сибирские ученые помогают решить эту проблему, рассказывает профессор Томского политехнического университета **Александр Дьяченко**



МЕТРОЛОГИЯ

Массовая истерия

70

Тим Фолджер

Близки к завершению затянувшиеся попытки найти замену артефакту из XIX столетия, который определяет килограмм

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Что мешает освоению дальнего космоса

80

Чарльз Лимоли

Во время недавних исследований выяснилось, что космическое излучение может быть более разрушительным для мозга космонавтов, чем считалось ранее

ЛИНГВИСТИКА

Свистящие языки

88

Жюльен Мейер

Задолго до изобретения смартфонов и даже азбуки Морзе люди в некоторых уголках нашей планеты научились общаться на больших расстояниях при помощи свиста



104

ЗДОРОВЬЕ

Слепая медицина

98

Марк Пенлоу

Обследование миллионов пациентов основано на применении редкого радиоактивного изотопа, но старые атомные реакторы, в которых он вырабатывался, выходят из эксплуатации

Пилуля лично для вас

104

Дина Файн Марон

Персонализированная медицина предлагает проводить генетическое тестирование пациентов, чтобы избежать назначения опасных для их здоровья лекарств, но лечащие врачи идут на это неохотно

Разделы

От редакции

3

Наука в графиках

51, 111

50, 100, 150 лет тому назад

112



64

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



ROSCATOM



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



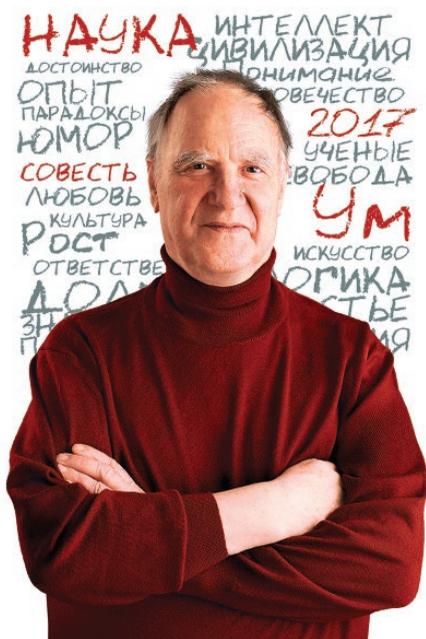
очевидное
невероятное



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. Фортвов

Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

Заместитель главного редактора:

С.В. Попова

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, Ф.С. Капица, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

член-корр. РАН В.М. Бухштабер; член-корр. РАН А.А. Гайфуллин; к.б.н. А.А. Дмитриев;
д.т.н., проф. А.Н. Дьяченко; к.ф.-м.н. А.В. Емельянов; к.б.н. И.Ю. Зарайская;
акад. А.М. Караськов; к.б.н. А.В. Кудрявцева; член-корр. РАН Е.А. Покушалов;
к.ф.-м.н. М.Ю. Пресняков; к.ф.-м.н. В.Г. Сурдин

Над номером работали:

О.В. Акилин, М.С. Багоцкая, П.М. Барановский, Н.В. Веденева, А.С. Григорьева, В.Н. Костромин,
А.П. Кузнецов, А.Н. Кухтенков, Н.Л. Лескова, И.В. Ногаев, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина,
И.Е. Сацевич, В.В. Свечников, С.А. Тихомиров, Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

Арт-директор:

Д.В. Левин

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

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

В.Е. Фортвов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

С.Н. Бражник

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 №4 17-03-00645

© 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.

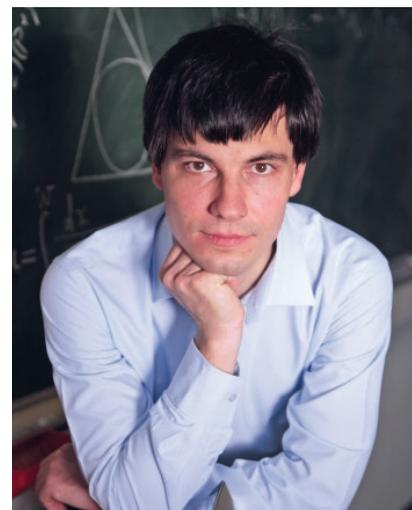
Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

Наука

В многомерном мире

В этом номере журнала мы продолжаем знакомить вас с лауреатами премии президента России для молодых ученых. А.А. Гайфуллин, один из самых молодых членов-корреспондентов РАН, был отмечен за серию работ, связанных со сложными математическими построениями. Речь идет о так называемых изгибаемых многогранниках. Мы живем в обычном трехмерном пространстве, однако математики изучают и многомерные пространства, и это очень важно не только для математики, но и для различных ее приложений — физики, механики, астрофизики и других областей. О том, что эти исследования означают для фундаментальной науки, — в материале «Мы живем в многомерном мире». От чистой теории — к практике. Молодые ученые из Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН А.А. Дмитриев и А.В. Кудрявцева стали лауреатами премии президента РФ за «расшифровку новых механизмов, лежащих в основе возникновения и развития специфического метаболизма злокачественных эпителиальных опухолей». О том, как это открытие поможет понять природу главного убийцы XXI в., вы узнаете из статьи «Победить рак».

Ни у кого не вызывает сомнений, что успехи медицины напрямую связаны с развитием фундаментальной науки. Сибирский биомедицинский исследовательский центр им. академика Е.Н. Мешалкина — яркий пример успешного сочетания науки и практики. О разработках ученых в области аритмологии, эндоваскулярных технологий и других достижениях рассказывают директор центра академик РАН А.М. Караськов и заместитель директора по научной работе член-корреспондент РАН Е.А. Покушалов в материале «Дом, где возрождаются сердца». Анонсируя американский контент журнала, главный редактор *Scientific American* Мариэтт Ди Кристина замечает, что наши интуитивные представления о работе собственного организма часто падают перед лицом научных фактов. Антрополог Герман Понцер пришел к сенсационному выводу: количество сжигаемых организмом человека калорий почти не зависит от уровня физической активности. О том, как это открытие поможет понять, почему наш вид оказался столь успешным и стал доминирующим на планете, — в статье «Парадокс физической активности». Сможет ли человек освоить не только Землю, но и другие планеты, выжить на них и даже стать доминирующим видом? Представляя еще один материал, Мариэтт



Член-корреспондент РАН
А.А. Гайфуллин

Ди Кристина пишет, что из всех проблем, связанных с полетами в дальний космос, самая серьезная обусловлена тем, о чем никогда не рассказывают голливудские фильмы: влиянием космического излучения на мозг, которое описывает невролог Чарлз Лимоли в статье «Что мешает освоению дальнего космоса». Станет ли это препятствием для достижения человеком «последнего рубежа»? Одно несомненно: присущие нашему виду честолюбие и изобретательность не позволят прекратить эти попытки. ■

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

В Объединенном институте
высоких температур произвели
взрыв с научной целью под
руководством академика
Владимира Евгеньевича Фортова



Взрывной

характер работы

Аварии в угольных шахтах, на нефтехимических производствах, на трубопроводах или атомных станциях так или иначе всегда имеют в качестве поражающего элемента взрывные волны. Мы и сегодня далеки от того, чтобы описывать такие процессы и разобраться до конца, что происходит, но стремимся к их пониманию

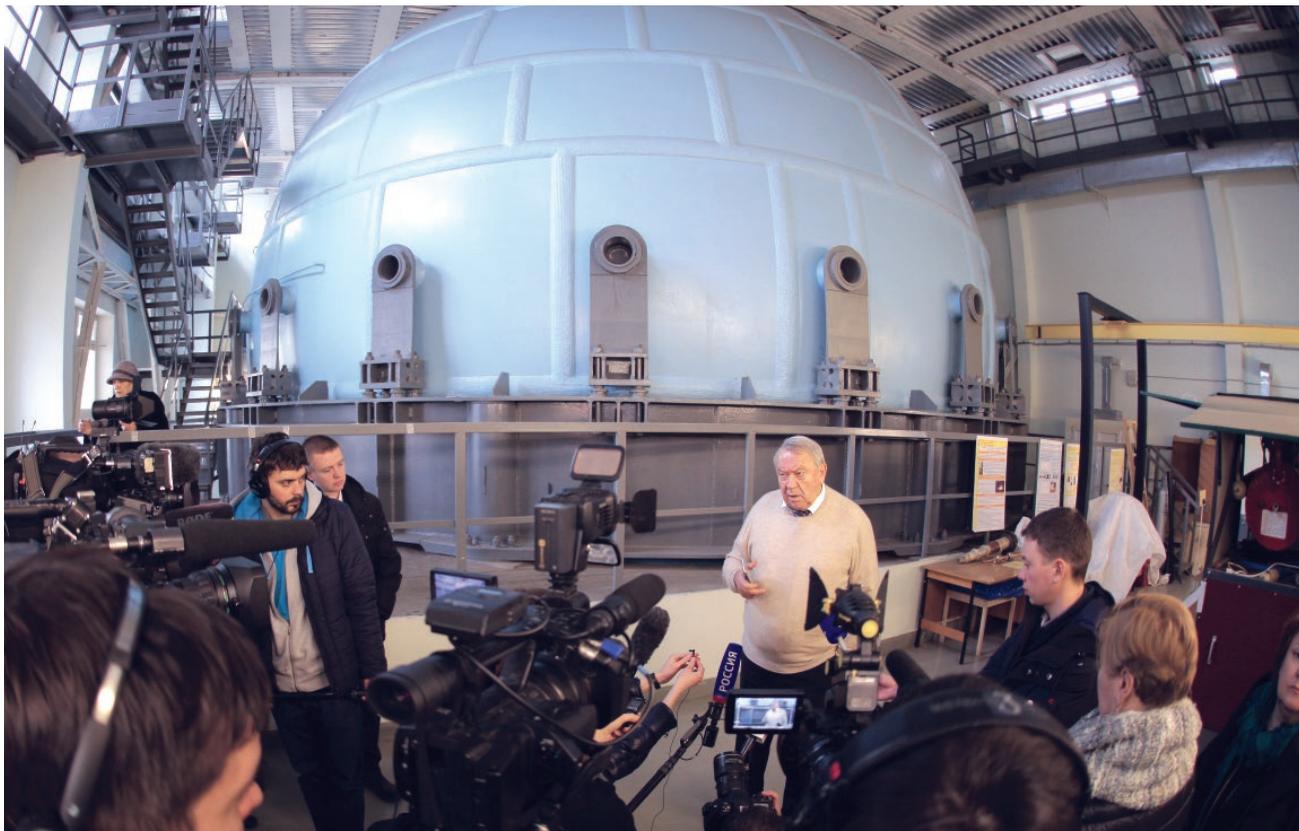
В

середине марта на севере Москвы прогремел взрыв. Это произошло в рамках планового эксперимента в стенах Объединенного института высоких температур РАН, где испытывают взрывы газовых смесей в самой крупной в мире стальной камере. Наш корреспондент присутствовал при подготовке и проведении уникального опыта.

Зачем приручать огнедышащего дракона?

Лаборатория по взрывным работам ОИВТ РАН чем-то напоминает секретный бункер, спрятанный от глаз любопытных прохожих в самом обычном с виду корпусе института. Надпись над входом «Осторожно! Проводится эксперимент» подсвечена, значит, скоро здесь начнется завораживающее действие, свидетелем которого вряд ли кто-нибудь захотел бы стать в обыденной, не экспериментальной обстановке. Сколько взрывов в жилых домах, на шахтах прогремело в России за последние годы! В ОИВТ взрывают, чтобы таких случайностей было как можно меньше. Тот физико-химический процесс, что обещают устроить для нас, тоже мог бы разрушить дом. Но цель ученых другая: изучить эту страшную разрушающую мощь — взрыв газа. Безопасность гарантирована: камера способна выдержать силу взрыва в 1 т тротилового эквивалента.

Пока ученые трудятся над установкой, небольшой группе журналистов позволяют подняться внутрь взрывного шара. Как раз туда, где красуется снабженное шуточным рисунком черепа с костями объявление «В камеру не входить! Руками не трогать!». Попав туда, ощущаешь, будто находишься в каком-то другом измерении: любой звук, даже простое шарканье ногой по стенке шара, тут же многократно отражается от стен полости, совсем как эхо в горах, только усиленное и умноженное многочисленными отражателями в сотни раз.



Академик В.Е. Фортов знакомит журналистов с крупнейшей в мире взрывной установкой в ОИВТ РАН

Пока мы любуемся камерой, ученые формируют заряд взрывчатого вещества — тэна, который должен инициировать взрыв и детонацию водородно-воздушной смеси. Для нее готовят резервуар — подвешивают специальную резиновую оболочку (метеозонд), в который вскоре, в отсутствие людей и после задривания всех люков, начнет постепенно поступать газ. Общий объем газа в аэростате составит около 1% от объема всей камеры.

Автоматика очень точно дозирует подачу газов. Сначала подают воздух — около $4,6 \text{ м}^3$, а затем — $2,4 \text{ м}^3$ водорода. Газы запускаются в шар по очереди и перемешиваются специальным вентилятором. На все это требуется от двух с половиной до трех часов.

Пока шар-аэростат внутри стального монстра надувается газовой смесью, директор ОИВТ РАН академик В.Е. Фортов рассказывает, для чего все

это нужно: «На современных производствах нефтегазовой отрасли, на атомных электростанциях порой происходят аварийные ситуации с выделением и образованием горючих газов, которые образуют смесь с воздухом. При их возгорании в системе повышаются температура и давление. Далее при ряде условий могут возникать ударные волны. Их разрушительная сила очень опасна для различных сооружений. Хорошо известные аварии в угольных шахтах, на нефтехимических производствах, на трубопроводах или атомных станциях так или иначе всегда имеют в качестве поражающего элемента взрывные волны. Этот опасный процесс очень труден для теоретического и экспериментального исследования. Мы и сегодня далеки от того, чтобы описывать такие процессы и понимать до конца, что там происходит, но стремимся к этому пониманию. Корпуса института

СПРАВКА

Взрывная сфера — установка ОИВТ — самая крупная в мире. Ее диаметр составляет 12 м, вес — 450 т, ширина стенок — 10 см. Она была построена по постановлению Правительства СССР. Проектировали ее в ЦНИИ Проектстальконструкция им. Н.П. Мельникова, а создавали в Северодвинске, на судостроительном заводе, где делают подводные лодки, по той же технологии. Когда

многотонная машина в 1991 г. была готова, везти ее с Кольского полуострова пришлось по Мариинской водной системе, углубляя фарватер. В Москву ее доставляли на семи тягачах, повредив по дороге около 40 троллейбусных столбов, а чтобы провезти гигантское сооружение через МКАД и железную дорогу, делали специальные переезды и отключали контактные провода.



Нижний люк взрывной камеры

и наша взрывная камера сделаны для того, чтобы изучить взрыв, переход его из горения в детонацию, действие ударных волн на конструкции, ну а после подобрать элементы, которые бы этот взрыв гасили и не давали ему распространяться».

Взрыв в угольной шахте или на АЭС, даже если он и смоделирован специально, не так просто проанализировать. Все сопровождающие его процессы — горение, детонация — протекают очень быстро, за миллионные доли секунды. Ни один человек не сможет уследить за скоростью протекания реакции, давлением в разные отрезки времени, температурными колебаниями и концентрациями газов. Все это под силу только специальной аппаратуре, приборам, частично сделанным нашими учеными, частично купленным за границей. Камера снабжена ими как внутри, так и снаружи. Весь процесс управляется дистанционно при помощи трехмерной компьютерной программы из специального центра управления взрывом.

«Ну что, все живы?»

Все взрывы на атомных электростанциях можно было бы поставить в один ряд: и на АЭС «Три-Майл-Айленд» (крупнейшая авария в истории коммерческой атомной энергетики США, произошедшая 28 марта 1979 г.), на АЭС в Чернобыле (26 апреля 1986 г.) и на АЭС в японской Фукусиме



Заместитель заведующего лабораторией 1.1.1 отдела ударно-волновых воздействий О.И. Солнцев показывает приборы, которые фиксируют все необходимые параметры взрыва (слева вверху); механик высшей квалификации А.М. Морев завершает установку оболочки для газовой смеси внутри камеры (вверху)

(11 марта 2011 г.). Тот взрыв, что готовится в ОИВТ, должен способствовать пониманию процессов, происходящих при взрывах водорода на атомных станциях.

Взрывная камера создана для изучения взрыва, его перехода из горения в детонацию, действия ударных волн на конструкции и подбора элементов, которые бы этот взрыв гасили

Специалисты лаборатории по взрывным работам всегда меняют параметры, при которых производятся взрывы, например концентрации водорода в водородно-воздушной или в кислородно-водородной смеси, иногда запускают в камеру метан для моделирования взрыва бытового газа в жилых домах и угольных шахтах.

Сегодня в метеозонд закачали богатую смесь — такое название ей дано за увеличенное

процентное содержание водорода для усиления скорости детонации и давления. Ученые в очередной раз готовятся смоделировать аварийный взрыв, связанный с утечкой газов. Он будет, конечно, в разы слабее взрыва на ЧАЭС, около 5 кг в тротиловом эквиваленте.

Наконец наступает кульминационный момент. Нам предлагают наблюдать его в непосредственной близости от шара. «Не бойтесь, — успокаивают нас сотрудники. — Максимум, что может произойти, — это сильный грохот, напоминающий раскаты грома, вибрация, как при землетрясениях, да пляска предметов на столах». Мы на всякий случай закрываем уши руками, а сотрудники советуют лучше открыть рты, чтобы не оглушило. Когда раздается громкий звук, на барабанную перепонку с одной стороны приходится сильное давление. Чтобы его компенсировать, нужно увеличить давление со стороны среднего уха. Этому и помогает открытый рот.

Руководит взрывом сам директор института В.Е. Фортов. «Приготовились: три, два, один, пуск!» Страшный грохот, сопровождающийся протяжным гулом и вибрацией, заполняет помещение.

Это электрический импульс достиг взрывчатки, подвешенной внутри наполненного газом шара, последовал взрыв, который разорвал шар на лохотки, выделяя мощную энергию. Скачок давления внутри составил около 20 атмосфер. Ударная волна заставила колебаться стенки камеры в течение пяти минут.

«Ну что, все живы?» — в шутку на фоне не утихшего еще шума спросил руководящий процессом академик.

Мы-то живы, но ощутить настоящее землетрясение в полчаса езды до МКАД я никак не рассчитывала. Все свидетельства мощной взрывной волны были хорошо слышны даже на улице. Хорошо, что в округе возле института нет жилых домов.

«Интересно, их жители могли бы ощутить сеймоволну?» — интересуюсь у сотрудников. — «Нет. Видите, по всей окружности камеры установлены специальные амортизаторы. Это специально для гашения такой волны».

Но вернемся к приборам. Их примерно десяток, и каждый выполнил свою работу на отлично. Собрали информацию с датчиков, установленных внутри и снаружи резиновой оболочки.



Готовится к работе планка для измерения параметров горения и детонации (вверху); академик В.Е. Фортов

Ведущий научный сотрудник В.А. Петухов (вверху); все готово к взрыву: А.М. Морев закрывает нижний люк камеры

«То, где линия на мониторе обрывается вниз, означает, что туда дошел фронт пламени и между электродами прошел электрический ток, — поясняет нам один из сотрудников. — По нижним осциллографам, которые соединены с датчиками давления, мы определяем также скорость прохождения фронта ударной волны и величину давления газа во фронте сферической детонации».

Знание параметров и особенностей движения ударных волн в различных условиях позволяет вносить в конструкцию АЭС дополнительную защиту — переборки, которые могут ее погасить.

Можно моделировать и саму газовую смесь. Так, в Кемеровской области на шахтах, где нередко образуются метановоздушные смеси, ученые ОИВТ совместно с Институтом структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН предложили горнякам использовать специальные добавки-ингибиторы, предотвращающие возгорания метана.

Взрывы, подобные тому, что мы видели и слышали, для сотрудников института стали уже обыденностью. Они гарантируют, что никаких нештатных ситуаций возникнуть не может, и при этом

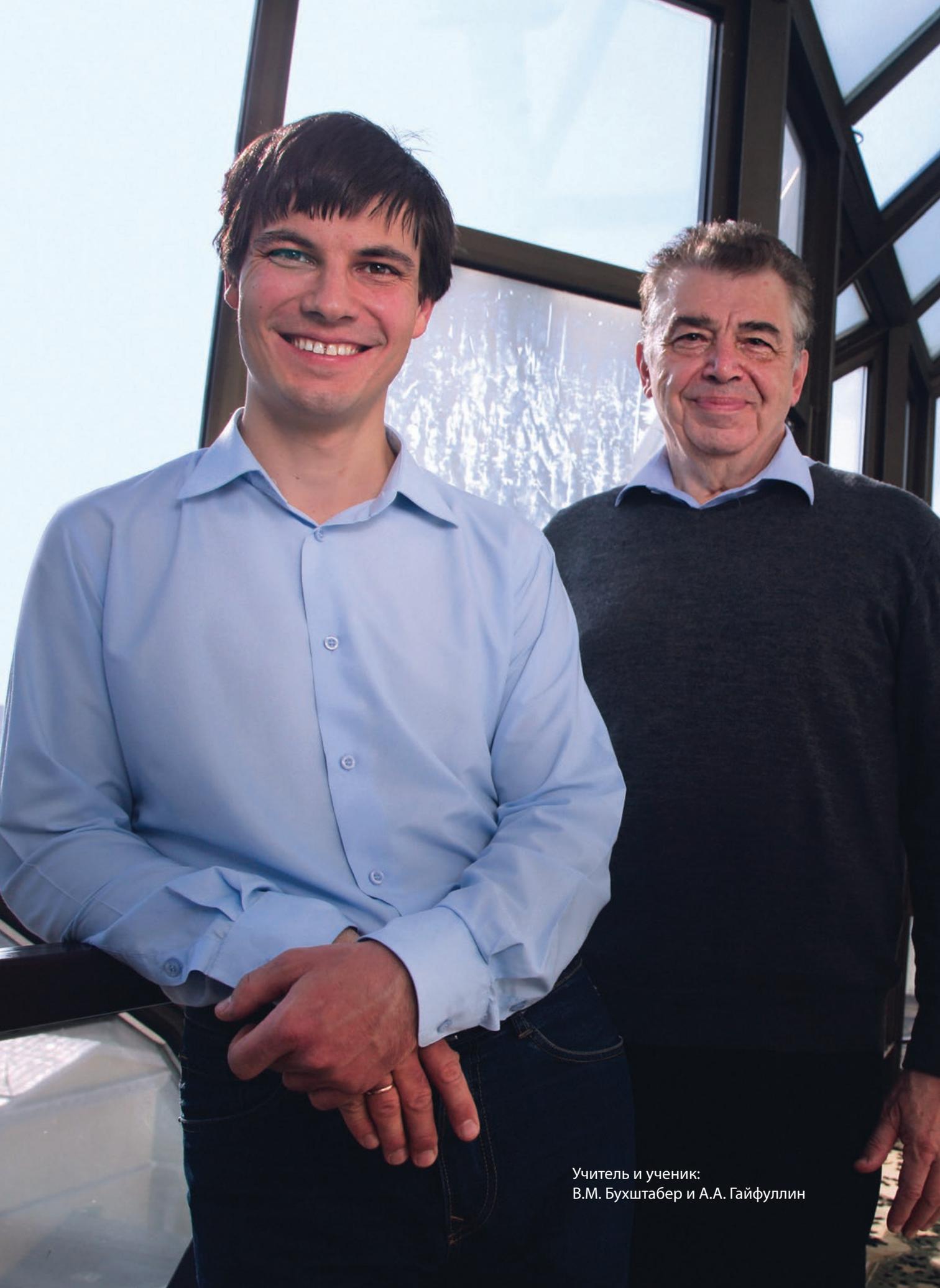
уверяют, что знают максимум возможностей своей взрывной камеры: довели до него специально лет десять назад, закачав внутрь не 7 м³, а все 920 м³ газовой смеси с 29% водорода. Энергетическое воздействие для инициации детонации произвели при помощи обычной искры. Приборы в момент взрыва зафиксировали на внутренней поверхности камеры давление 190 (!) атмосфер. Дальнейшая работа коллектива связана с выработкой мер, предотвращающих возникновение подобных опасных режимов.

«Когда инженеры и проектировщики планируют атомную электростанцию, они должны быть уверены, что Чернобыль или Фукусима не повторятся. Помочь в этом вопросе должны мы, ученые, предварительно точно просчитав нагрузку, которая ляжет на элементы конструкций в каждом конкретном случае, — резюмирует В.Е. Фортов. — Эта уверенность и позволяет нашим станциям быть самыми надежными в мире. Как, впрочем, и современному оружию, которое также проходит проверку в подобных камерах».

Подготовила Наталья Ржевская

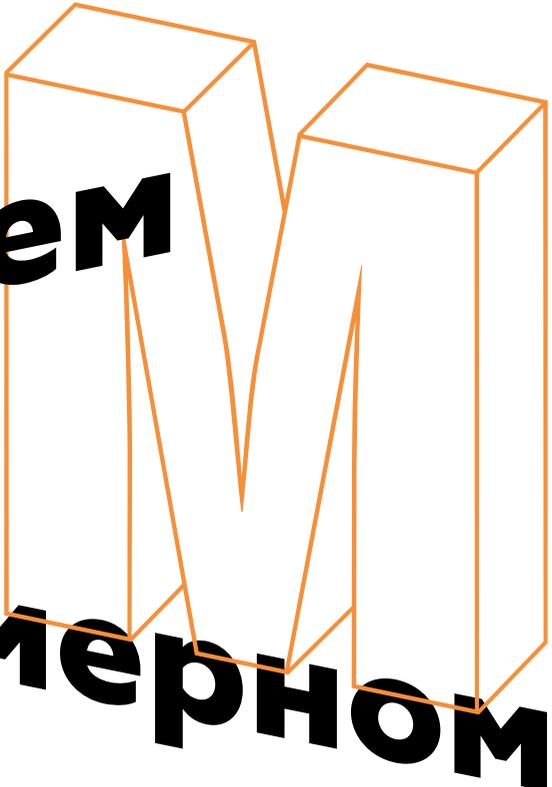


Взрыв совершен, можно подводить итоги



Учитель и ученик:
В.М. Бухштабер и А.А. Гайфуллин

МЫ ЖИВЕМ В МНОГОМЕРНОМ МИРЕ



МАТЕМАТИКА

Наш мир вовсе не трехмерен, нам только так кажется. Именно этот факт подтверждают фундаментальные исследования **Александра Александровича Гайфуллина**, члена-корреспондента Российской академии наук, профессора мехмата МГУ, ведущего научного сотрудника Математического института им. В.А. Стеклова РАН. За серию работ, связанных со сложными математическими построениями, он получил президентскую премию для молодых ученых.

— Александр, сложно даже обращаться к вам по имени-отчеству, настолько вы молоды. И в то же время — профессор, член-корреспондент... Наверное, вы самый юный член академии наук?

— Насколько я знаю, нет, но один из самых молодых. Доктором наук я стал в 26, а в академию меня избрали в 32 — на последних, осенних выборах. Надо сказать, математика — вообще наука молодых.

— Потому что мозг так устроен: чем моложе, тем лучше функционирует?

— Возможно. Хотя известны случаи, когда люди и в зрелом возрасте получали очень хорошие результаты. Но вообще в математике много примеров, когда самыми сильными становятся первые работы. В других науках — скажем, в химии, в физике, особенно в экспериментальной, крайне важно время, когда человеку нужно наработать какие-то навыки, научиться методам работы.

Эксперименты часто занимают длительное время, поэтому, как правило, в таких областях люди получают серьезные результаты позже.

— Вы стали лауреатом премии президента для молодых ученых. За какие исследования?

— Я занимаюсь этой тематикой уже пять лет. Речь идет о цикле работ по так называемым изгибаемым многогранникам. Это очень интересный геометрический объект. Знаете, как дети клеят многогранники из картона? Они чертят грани, вырезают развертку, а потом начинают складывать и склеивать. Так можно сделать, скажем, куб. А дальше возникает вопрос: вот мы замкнутый многогранник склеили, но будет ли это жесткая конструкция или она может каким-то образом деформироваться с изменением углов между гранями? Это и называется изгибанием.

Академик Валерий Козлов:

«За чудесами — в Математический институт»

Валерий Васильевич Козлов, исполняющий обязанности президента РАН, академик, директор Математического института им. В.А. Стеклова (2004–2016):



— Хочу сказать несколько слов о молодых людях, работающих в нашем институте. Мы всегда стремились привлечь на работу самых способных, самых талантливых. Наш институт небольшой, чуть более ста научных сотрудников. И поэтому появление каждого нового человека для нас событие. Таким событием было и появление Саши Гайфуллина, который теперь уже член-корреспондент РАН, профессор.

Хорошо помню, как мы его принимали на работу. Не скрою, это была моя идея. Он тогда работал в Московском университете, на моем родном механико-математическом факультете, на одной из трех геометрических кафедр. У нас в институте вообще много выпускников мехмата МГУ. Зная, что на нашем математическом небосклоне появился молодой способный парень, я, посоветовавшись

с коллегами, решил его то что бы то ни стало забрать к нам.

— **Насколько я знаю, А.А. Гайфуллин продолжает преподавать в МГУ.**

— Да, но теперь на условиях совместительства.

— **И ведь он не единственный ваш лауреат президентской премии.**

— Да, он третий. Первым был А.Г. Кузнецов — наш замечательный алгебраист, тоже избранный членом-корреспондентом академии наук за свои выдающиеся достижения в области алгебры и алгебраической геометрии. А еще этой награды удостоен Н.Н. Андреев — талантливый

популяризатор математики, заведующий лабораторией популяризации и пропаганды математики.

— **Но вернемся к А.А. Гайфуллину.**

— Он действительно отличный геометр. Характерная особенность его научной работы — он стремится все сделать до конца, изящно и красиво. Я вспоминаю в связи с этим слова великого немецкого математика Гаусса: «Если что-то не доделано, это значит — ничего не сделано». Так вот, Саша все доводит до конца. Взять хотя бы его блестящий цикл работ по гипотезе кузнечных мехов, состоящей в том, что объемы изгибаемых многогранников, как правило, не меняются (во всяком случае, если речь идет о привычном нам евклидовом пространстве). Он рассмотрел многомерный случай и случай пространства положительной и отрицательной кривизны. Вывел особенности этой

задачи, связанной со знаком кривизны, что тоже очень важно. Довел дело до логического конца. И это самое ценное.

Эта гипотеза и вся тематика тесно связана в том числе с механико-математическим факультетом. Как известно, в трехмерном случае эту гипотезу доказал выдающийся геометр И.Х. Сабитов. Я был еще студентом, когда он вел у нас занятия. И сейчас он лекции читает. Очень рад, что именно ему довелось решить эту задачу, сдвинуть ее с начальной точки. Александр Александрович получил завершающие результаты в многомерном случае, да еще и в пространствах постоянной кривизны. Это прекрасный результат.

— **Насколько важны для молодого ученого учителя?**

— Очень важны. Но не только учителя. У Саши ведь замечательный отец — А.М. Гайфуллин, тоже ученый, член-корреспондент РАН, работает в Жуковском, один из ведущих в стране специалистов по теории вихревого движения сплошной среды. Поэтому воспитание Александра — это коллективный труд.

— **Валерий Васильевич, ваш институт — серьезное научное учреждение. Но я слышала, что вы еще и веселиться умеете.**

— Не то слово! У нас на старый Новый год есть традиция: мы собираемся все вместе и проводим интеллектуальные задания, конкурсы. И у нас обязательно есть Дед Мороз и Снегурочка. Так вот, Саша великолепно исполнил роль главного зимнего волшебника, оказался очень артистичным и убедительным, при том что внешне он кажется человеком стеснительным. Для меня это было неожиданно, но очень приятно. Поэтому если захотите настоящих чудес, приходите к нам.

Беседовала Наталия Лескова

Чтобы лучше себе это представить, можно, как говорят математики, спуститься на размерность вниз и вместо многогранников в трехмерном пространстве посмотреть на многоугольники на плоскости. Если мы возьмем треугольник и сделаем у него жесткие стороны и шарниры в вершинах, он все равно останется жесткой фигурой и мы никак не сможем его деформировать. А если возьмем четырехугольник, пятиугольник или многоугольник с большим числом сторон, то у него всегда будут присутствовать нетривиальные деформации. Например, квадрат можно превратить в ромб и т.д. Однако если вернуться к многогранникам, там ситуация другая. Среди них изгибаемых очень мало, и их трудно строить.

Первый пример изгибаемого многогранника был построен только в 1977 г. Его автор — американский математик Роберт Коннелли. До этого предполагали, что таких многогранников вообще не может быть.

Дело в том, что еще в 1813 г. знаменитый французский математик Огюстен Луи Коши (это была одна из первых его математических работ) доказал, что если многогранник выпуклый, то у него никогда не будет изгибания.

А если он не выпуклый? Как выяснилось спустя полтора века, изгибание возможно. Более того, когда такие изгибаемые многогранники

начали строить, оказалось, что они обладают массой удивительных свойств.

— **Каких же?**

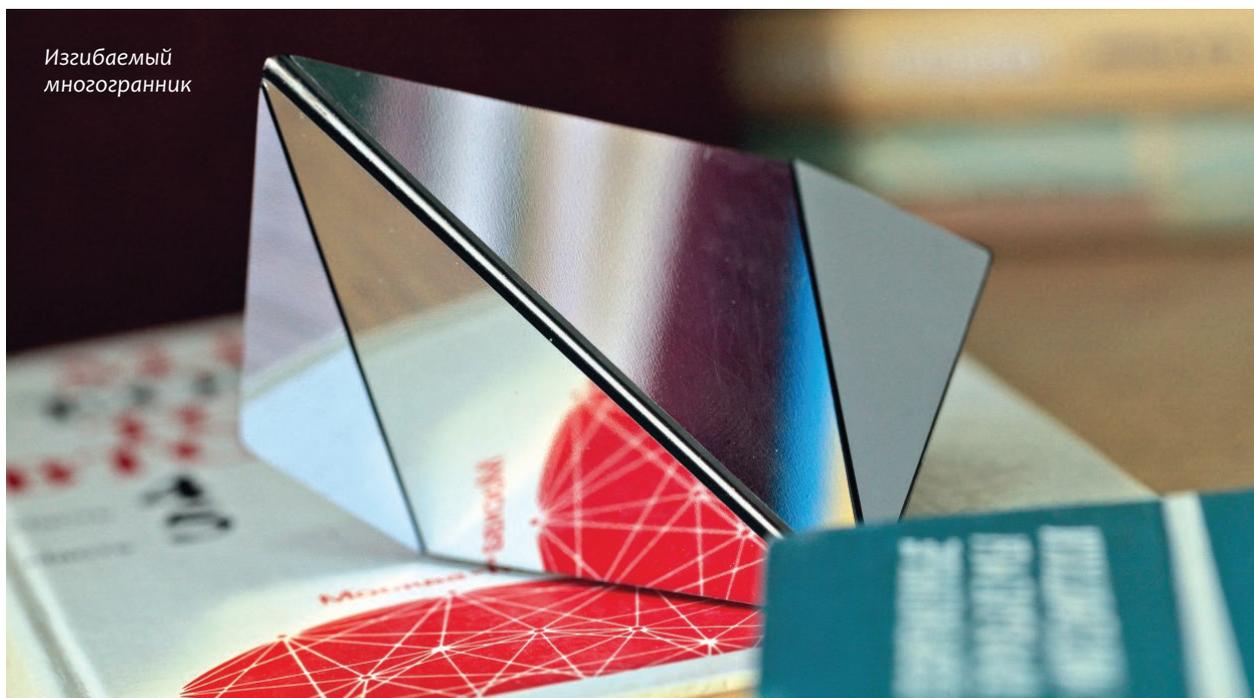
— Сначала их обнаружили экспериментально. Скажем, такая удивительная вещь: многогранник изгибается, деформируется, а объем у него остается постоянным. Сначала были мысли, что, возможно, это совпадение. Стали смотреть другие примеры — а там тоже объем постоянный. И появилась гипотеза, что объем любого изгиба-

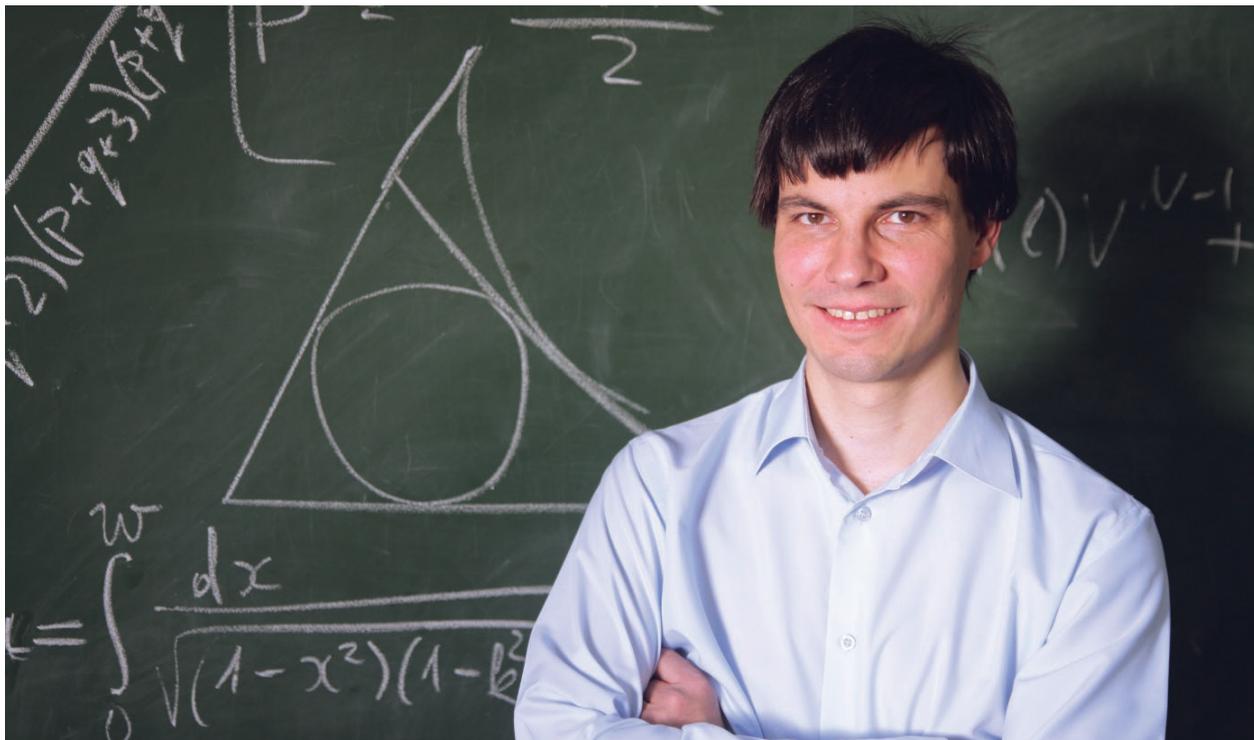
Плоскость, разбитая на множество параллелограммов, известна с древних времен из японского оригами, а сейчас называется миура-ори в честь японского ученого Коре Миуры

емого многогранника постоянен в процессе изгибания. Ее назвали очень красиво — гипотезой о кузнечных мехах. Кузнечные мехи — это приспособление, которое нагнетает воздух в кузнице. Возник вопрос: можно ли сделать подобного рода приспособление, нагнетающее воздух, из изгибаемого многогранника? Это было бы возможно, только если бы нашелся многогранник, который изменяет свой объем. Гипотеза о кузнечных

мехах долго оставалась открытой, и доказал ее в 90-х гг. прошлого века российский математик И.Х. Сабитов.

Моя работа заключалась в построении теории многомерных изгибаемых многогранников. Мы живем в нашем обычном трехмерном пространстве, но на самом деле математики изучают и многомерные пространства, и это очень важно





Лауреат премии президента член-корреспондент РАН А.А. Гайфуллин

не только для математики, но и для различных ее приложений — физики, механики, астрофизики и других областей.

— **Что показали ваши исследования?**

— Мы посмотрели многоугольники на плоскости, потом в трехмерном пространстве, и тут возник очередной вопрос: а если мы будем изучать аналогичные объекты, те же изгибаемые многогранники, в многомерных пространствах произвольной размерности? И оказалось, что здесь нам почти ничего не известно. На рубеже XX–XXI вв. были построены отдельные примеры четырехмерных изгибаемых многогранников, но дальше пойти не удавалось. В больших размерностях вообще не было ни одного примера.

Мне удалось, во-первых, построить примеры изгибаемых многогранников в пространствах всех размерностей. Во-вторых, был вопрос, связанный с гипотезой о кузнечных мехах и теоремой И.Х. Сабитова, что объем изгибаемого многогранника всегда постоянен. Были все основания предполагать, что, может быть, то же самое верно и в «старших» размерностях.

Доказательство, которое он дал, очень хорошо работало в трехмерной ситуации, но совершенно не действовало в многомерной. Мне удалось придумать абсолютно новый подход, который позволил доказать гипотезу о кузнечных мехах, то есть утверждение о постоянстве объема в процессе изгибания многогранников для многогранников произвольной размерности.

Наше пространство, как говорят математики, нулевой кривизны. А бывают пространства искривленные. Легче всего себе представлять положительно искривленные пространства. Простейший пример — поверхность сферы, например поверхность Земли, на которой мы живем. То есть наша земная геометрия не евклидова, не плоская, а сферическая.

А бывает еще пространство отрицательной кривизны — это плоскость Лобачевского и вся его знаменитая геометрия, которая возникла в XIX в. Это двумерные пространства, но при этом точно так же есть пространства положительной и отрицательной кривизны всех размерностей. И в них тоже можно изучать изгибаемые многогранники.

И оказалось, что там ситуация очень любопытная. Если кривизна положительная, то гипотеза кузнечных мехов неверна. Есть примеры изгибаемых многогранников, которые изменяют объем в процессе изгибания. В нашей обычной размерности такой пример был построен В.А. Александровым, ведущим научным сотрудником Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, а во всех больших размерностях — это мои результаты.

А самое любопытное вот что. Если мы находимся в пространстве отрицательной кривизны, оказывается, что если размерность нечетная — 3, 5, 7 и т.д., то гипотеза о кузнечных мехах верна и объем постоянный.

— **А если размерность четная, то неверна и объем меняется?**

— Нет, если четная, то никто не знает. Это вопрос, оставшийся на сегодня открытым...

— **Вы говорите, что работы в этом направлении были начаты в 70-е гг. прошлого века. Значит, здесь уже могли быть поставлены и решены какие-то прикладные задачи?**

— Да, началось все с изучения изгибаемых многогранников, но эта наука развивалась в разных направлениях. Вообще, это часть науки о шарнирных механизмах, у которой много приложений, возникающих в очень многих инженерных конструкциях. Или, скажем, есть такая замечательная конструкция — плоскость, разбитая на множество параллелограммов, которые могут очень компактно складываться в один. Она известна с древних времен из японского оригами, а сейчас называется миура-ори в честь японского астрофизика Коре Миуры, который предложил использовать такую конструкцию для складывания солнечных батарей.

— **Безусловно, такие конструкции можно создавать и для построения временного жилья, передвижных госпиталей и научных лабораторий — например на Севере, для освоения новых земель.**

— Фантазировать можно сколько угодно, но в области применения я не специалист. Однако мне хочется сказать, что кроме таких «наивных» вариантов, как использование на практике тех или иных изгибаемых поверхностей, не менее важны возможности более глубоких и неочевидных применений не самих изгибаемых многогранников, а математических методов, возникших при их исследовании. Вообще часто бывает, что математические результаты используются каким-то способом, изначально неожиданным. История показывает, что часто ожидают применения в одном месте, а возникает оно совершенно в другом.

Возвращаясь к изгибаемым многогранникам, хотелось бы отметить их связь с часто встречающимися на практике задачами такого типа. Имеется набор точек в пространстве, и расстояния между одними парами этих точек мы знаем (например, сумели измерить), а между другими — нет. Можно ли узнать все недостающие расстояния, рассчитать их?

Эта задача сводится к изучению определенного вида систем алгебраических уравнений, и такого же рода системы уравнений возникают в задачах об изгибаемых многогранниках. Поэтому здесь, несомненно, могут быть полезны методы, развитые в теории изгибаемых многогранников.

— **И здесь области применения безграничные — от земных задач до дальнего космоса.**

— Именно так.

— **Каким образом все это строится? С помощью компьютерных программ?**

— Как ни странно, нет. Компьютерная модель создается, как правило, уже впоследствии. Чертить это на бумаге тоже проблематично — там же все плоское. А клеить такие сложные фигуры из картона я, признаться, не очень умею.

— **Неужели вы строите все это в голове?**

— И в голове тоже. Но на самом деле эта задача довольно быстро переходит из геометрической (хотя геометрическая интуиция здесь очень важна) в алгебраическую.

— **Некое математическое описание в виде формул?**

— Да. Потом, когда есть формулы, их можно загрузить в компьютер и получить объект.

— **Картинка в компьютере и то, что до этого было в голове, совпадают?**

— Не всегда.

— **Вы будете продолжать работать над этой темой? Чего хотите достичь в этом направлении?**

— Для меня эта область не совсем родная. Изначально я специализировался в другой области математики — алгебраической топологии. Топология — это наука об описании геометрического объекта с точки зрения свойств, которые не меняются при его деформациях. А алгебраическая топология стремится дать такое описание в алгебраических терминах, то есть, например, сопоставить каждой поверхности некоторый алгебраический объект и показать, что этот объект различен, скажем, для сферы и для поверхности бублика, и таким образом показать, что они не могут быть превращены одна в другую при помощи непрерывной деформации. Эта наука начала формироваться еще в конце XIX в., но с тех пор существенно развилась и усложнилась.

— **Почему же вы стали заниматься этими многогранниками?**

— Моим научным руководителем в университете был член-корреспондент РАН В.М. Бухштабер, и моей темой была как раз алгебраическая топология. А еще когда я учился на первом курсе, мне очень повезло, что семинарские занятия по математическому анализу в нашей группе вел профессор мехмата И.Х. Сабитов, о котором я уже говорил. Так что об изгибаемых многогранниках и его результатах в этой области я узнал уже тогда. И вот уже в 2011 г., когда я только что защитил докторскую диссертацию, Идждад Хакович мне сказал, что советует заняться этой задачей, потому что ему кажется, что там возможно применить мои топологические знания.

— **И он оказался прав?**

— Абсолютно. Так что часть задачи решена, остальное, надеюсь, впереди.

Виктор Матвеевич Бухштабер, член-корреспондент РАН, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник Математического института им. В.А. Стеклова:

— Я считаю, что с точки зрения вклада в фундаментальную науку результаты этой работы совершенно выдающиеся. Они уже оказали влияние на развитие математики и еще окажут. Мы можем перечислить крупных математиков, которые пытались решить эти проблемы в течение многих лет, но всякий раз попадали в тупик. Александр, конечно, опирался на результаты предшественников, но он нашел новые методы, которые позволили прорваться сначала в четырехмерный мир, а потом и в мир большего количества размерностей.

Дело в том, что проблема изгибаемых многогранников, как ее ставили классики, базировалась на нашем трехмерном мире, на повседневном опыте. Но если мы возьмем фундаментальную работу Анри Пуанкаре, основателя нашей науки — топологии, то он начинает с того, что классическая механика имеет дело с трехмерным миром. Однако если вы хотите описать динамику объекта и свойства системы в целом, то здесь нельзя обойтись без многомерных пространств, где участвуют не только координаты, но и скорость, и ускорение, и т.д. То есть от трехмерного пространства надо переходить к многомерному. Понимание этого факта послужило стимулом для создания и развития топологии.

Фундаментальный вклад Александра в том, что он сначала перенес классические задачи, связанные с трехмерным миром, в четырехмерный мир, а потом развил методы, применимые и для более высоких размерностей. До него многомерные аналоги классических задач об изгибаемых многогранниках казались недоступными. Вот почему в формулировке премии президента написано «за решение фундаментальных задач»: Александр разработал новые методы, которые позволили решить многомерные аналоги классических задач.

На первый взгляд кажется, что все это — игра нашего воображения. На самом деле мы с вами живем не в трехмерном мире, а в многомерном. Трехмерный мир — это очень просто и очевидно.

Вот, например, известно, что сейчас вы находитесь в Математическом институте в такой-то аудитории. Найти вас — это трехмерная задача.

Но если я хочу за вами следить, мне нужна информация о вашей динамике, понимание, в какой точке пространства вы будете через какое-то время. Это уже четырехмерная задача.

Фазовое пространство — это понятие, на котором базируются фундаментальные результаты всей современной математики. Мы с вами живем в многомерном мире, где наши координаты — не только данные о местоположении, но и многие другие сведения о нашем состоянии.

Сейчас здесь возникли абсолютно уникальные возможности благодаря современной вычислительной технике и новым средствам связи. Та же система навигации использует многомерные пространства. Я уже много лет

занимаюсь не только топологией, но и ее приложениями к задачам физики и химии и каждый раз чувствую то преимущество, которое дает мне топология. По сравнению с человеком, который считает, что живет в трехмерном мире, у меня значительно более богатый инструментарий.

Саша — мой ученик, а бывших учеников не бывает. Я горжусь достигнутыми им результатами, поскольку это настоящий прорыв в науке. Хорошо, когда получен результат, которым можно воспользоваться немедленно. В то же время фундаментальные результаты имеют

особую ценность. Оказывается, в нашем мире все совсем не так, как кажется на первый взгляд. Во-первых, он реально многомерен, а во-вторых, в этом многомерном мире, когда вы работаете с определенными объектами, необходимо знать запреты, которые накладывает этот мир. И тот человек, который эти запреты открыл, входит в историю математики, потому что дал всему человечеству новое понимание условий существования в этом мире.

И в-третьих, зная эти запреты, мы можем поставить замечательную задачу — построить нечто самое хорошее, чтобы использовать это для блага человечества. Не сомневаюсь, что таких построений и приобретений будет еще очень много. ■

В многомерном мире, когда вы работаете с определенными объектами, необходимо знать запреты, которые накладывает этот мир. Человек, открывший эти запреты, дает всему человечеству новое понимание условий существования в этом мире

Беседовала Наталия Лескова

Цикл телепрограмм

ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



Автор и ведущая —
Эвелина Закамская



очевидное
невероятное 

 ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ
Научная Россия



Дирк Хельбинг:
как выжить
в информаци-
онной лавине

Виктор Матвеев:
увидеть миг
рождения материи

Джек Ма:
«бесплатно» —
очень дорогое слово

Джон Перкинс:
исповедь
раскаявшегося шпиона

Майкл Газзанига:
автор концепции
«криминального мозга»

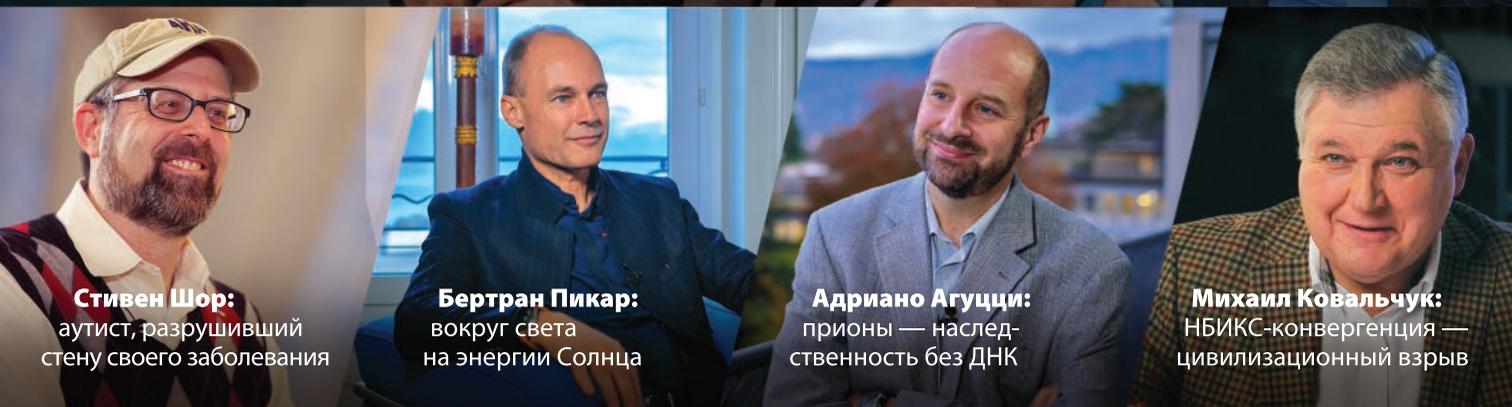


Джин Шарп:
человек,
взорвавший мир

Ноам Хомский:
интеллектуал
Западного полушария

Дэвид Гросс:
физика — это приключение

Рольф-Дитер Хойер:
человек, объявивший
о «поимке» бозона Хиггса



Стивен Шор:
аутист, разрушивший
стену своего заболевания

Бертран Пикар:
вокруг света
на энергии Солнца

Адриано Агуцци:
прионы — наслед-
ственность без ДНК

Михаил Ковальчук:
НБИКС-конвергенция —
цивилизационный взрыв

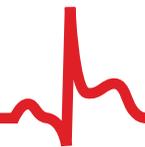
В СФБМИЦ им. академика
Е.Н. Мешалкина идет
операция



Дом где возрождаются сердца

Знаменитому на весь мир Сибирскому федеральному биомедицинскому исследовательскому центру им. академика Е.Н. Мешалкина в нынешнем году исполняется 60 лет. К юбилею центр подошел с большим количеством достижений и собственных разработок, недаром на лечение сюда едут не только со всей страны, но и из-за рубежа. О том, чего удалось достичь за эти годы и какие имеются планы на будущее, — наш разговор.

За ходом операции по фибрилляции предсердий теперь можно следить с помощью специальных мониторов



МЕДИЦИНА



Директор
СФБИЦ
академик
А.М. Караськов

Для нашей страны, да и всего мирового врачебного сообщества Е.Н. Мешалкин, имя которого носит наш институт, примерно как Ленин для коммунистов. Человек с удивительной судьбой. Вышел из семьи инженера-железнодорожника, окончил школу ФЗУ при заводе «Серп и молот», трудился чернорабочим. А в 1941 г. поступил в медицинский институт и с отличием его окончил. Оттуда был мобилизован в армию и отправился на фронт. Именно в годы войны он сделал два своих первых шва на сердце солдата, которые помогли спасти тому жизнь.

Вернувшись с войны, он в кратчайшие сроки создал интубационный наркоз, и благодаря этому стали возможны сложные операции на легких, на сердце, на других органах и системах. Это стало настоящим прорывом в хирургии: ранее даже успешно прооперированные больные нередко погибали от шока на операционном столе.

Для того чтобы оперировать на сердце, на магистральных сосудах, нужно было поставить рентгенодиагностику сосудов. Эта процедура называется зондированием сердца, и ее введение также стало важной заслугой академика Е.Н. Мешалкина. Это позволило перейти к лечению коронарных артерий — стентировать, баллонировать их. За эту работу он получил премию им. С.И. Спасокукоцкого.

Им были созданы все предпосылки для того, чтобы начать оперировать на сердце. Первую операцию сделал его учитель А.Н. Бакулев, но в дальнейшем Евгений Николаевич разработал целый ряд новых методик, которые позволили вывести эти операции на новый уровень. А в 1957 г. он создал наш институт и стал его первым директором. На памятнике академику Е.Н. Мешалкину, установленном около института, написано, что он — основоположник кардиохирургии в нашей стране.

Сегодня мы говорим о российской кардиохирургической школе, которая существует благодаря



На мониторах можно увидеть, какие участки сердца требуют особого внимания хирургов

Е.Н. Мешалкину. Тот же Н.М. Амосов считал себя его учеником. Сегодня мы выполняем более 20 тыс. различных операций в год. По большому счету это самая объемная технология лечения пациента. Заболевания сердца и крупных магистральных сосудов уносят более миллиона жизней в год и составляют более 60% в общей структуре смертности. Удельный вес заболеваний системы кровообращения пока лидирует.

— Знаю, что за последние десять лет был сделан большой рывок, продолжительность жизни в нашей стране увеличилась с 65 до 72 лет.

— Мы, кардиохирурги, внесли в это колоссальный вклад. Конечно, это далеко не предел. Однако и это дорогого стоит.

— Если двигаться в такой прогрессии, то лет через 30–40 будем жить до ста.

— Будем надеяться. Но тут важно внимание руководства страны. У нас всегда здравоохранение финансировалось по остаточному принципу. Какие-то подвижки за последние пять-шесть лет сделаны, спору нет, но тем не менее этого недостаточно. Если сравнивать с той же Америкой, то там финансирование на порядок больше. Без всяких сомнений, если хотя бы в полтора, в два раза увеличить этот объем, особенно на высокотехнологичные процедуры, то продолжительность жизни вырастет еще на пять-шесть лет.

Ну и, конечно, общество тоже должно быть повернуто лицом в нужную сторону — прежде всего, к здоровому образу жизни и профилактике заболеваний. Несмотря на то что мы постоянно популяризируем свою деятельность, проводим сотни различных школ по подготовке специалистов, все равно огромное количество пациентов приходят к нам в запущенном состоянии. Мы оперируем до 30% пациентов на терминальных стадиях, когда операция

была показана еще 10–15 лет назад. Я считаю, что Госдуме надо принять закон об ответственности за свое здоровье. Во всем цивилизованном мире такой закон есть — у нас нет.

— Вы себя считаете учеником Е.Н. Мешалкина?

— Отчасти. Мой главный учитель — Е.Е. Литасова, которая возглавляла институт десять лет, с 1989 по 1999 г. Когда я сразу после института, в 1982 г., пришел сюда, начал работать под ее непосредственным руководством. Тогда она заведовала отделением патологии и хирургии врожденных пороков сердца. Приходилось, конечно, не раз оперировать с Евгением Николаевичем, нагоняи от него получать.

— Суров был?

— Да не то слово! Однажды, когда я уже возглавлял отделение, разжаловал меня в третьи ассистенты. Правда, Елена Евгеньевна через два месяца забрала меня обратно. Но адреналину хватало.

— Вы у него переняли такую манеру руководства?

— Нет, я очень демократичен. Хотя некоторые вещи, как я сейчас понимаю, в меня просто вросли. Это определенная жесткость, когда дело касается работы самой клиники, отношения к пациенту.

— С какими достижениями вы пришли к 60-летию института?

— Институт у нас — как атомная энергетика в мирных целях. Мы делаем десятки новейших разработок в год. Сегодня они знакомы всему миру. Это касается разработок в области аритмологии, эндоваскулярных технологий, где мы тоже достигли серьезных результатов. Мы — единственный центр, который делает больше 7,5 тыс. эндоваскулярных операций в год.

У нас сегодня выполняются все закрытые технологии, которые возможны в мире. Здесь очень много своих разработок. Мы уходим от широко-масштабной, травмирующей операции. Выполняем множество гибридных техник, держим мировое лидерство в выполнении так называемой процедуры Росса.

— Что это такое?

— Трансплантация сердца и процедура Росса были впервые выполнены одновременно — в 1967 г. Но трансплантацию сердца не назвали в честь первого ее автора, а эта процедура была названа в честь Дональда Росса, который ее и сделал. Смысл ее заключается вот в чем. Клапан легочной артерии и аортальный клапан — анатомически братья-близнецы, но нагрузки на них совершенно разные. Клапан легочной артерии держит нагрузку в четыре-пять раз меньше, хотя аортальный —

это как ось Земли, то есть для человека это основной клапан. И если он поражен, замена ведет к серьезным последствиям. Даже если мы поставим механический или биологический протез, не получим нужного гемодинамического эффекта. Какой выход? Клапан легочной артерии переместить в левую сторону, на место аортального протеза. Это придумал Росс. В России такую операцию впервые выполнил в 1998 г. мой большой друг, главный кардиохирург Израиля профессор Бернардо Видне в стенах нашего института. А потом мы стали делать это сами. Сегодня наш опыт — более 1,3 тыс. таких операций.

При этом процедура Росса нами доработана и усовершенствована. Мы стали в дополнение к ней выполнять всю дугу аорты с брахиоцефалами, с сонными и подключичными артериями. Фактически мы добавляем пластические процедуры на других клапанах и комбинируем с шунтирующими операциями там, где поражены коронарные артерии. Такого никто в мире больше не делает.

— Академик А.Л. Асеев в свое время говорил, что не нужно ехать за рубеж, чтобы сделать операцию на сердце, лучше приезжать в клинику Е.Н. Мешалкина, здесь сделают лучше. Это правда? Или академик немного приукрасил?

— Без ложной скромности: он совершенно прав. Нередки случаи, когда к нам приезжают пациенты из Германии, где они были у специалистов, и те им говорят: езжайте лучше в Новосибирск, у них опыт значительно больше, результаты гораздо лучше. О зря потраченных за границей деньгах и говорить не приходится.

— Все знают о вашем институте патологии кровообращения, но не все знают, что вы занимаетесь целым рядом других заболеваний — онкологией, нейрохирургией...

— Мы — центр многогранный. У нас, например, лечатся дети начиная с первых дней жизни. Мы оперируем в перинатальный период, если это необходимо. Единственные в стране применяем многие новейшие технологии, можем, например, закрыть дефекты, не открывая грудную клетку, эндоскопически. У нас разработаны технологии, которые сегодня перенимают немцы, китайцы. У нас всегда полно иностранцев — учатся, интересуются, присутствуют на операциях. Английская речь звучит наравне с русской.

Роботы *da Vinci*, позволяющие делать суперсовременные робот-ассистированные операции, у нас появились позже, чем в некоторых ведущих московских клиниках. Но знаю, что кое-где у наших столичных коллег они просто стоят и не используются. А ведь это огромные деньги и колоссальные возможности. И мы их успешно применяем. Сегодня речь идет о сотнях таких операций в год.

У нас единственный центр в стране, который занимается симультанными, или сочетанными

технологиями. Вот, например, приходит пациент с раком почки. Плюс у него поражен аортальный клапан, да еще коронарное русло забито. Этому пациенту все отказывают. Онкологи его не берут, потому что он не перенесет операцию. Кардиохирурги не берут — а какой смысл? Все равно, дескать, скоро умрет.

Он приходит к нам, и мы делаем ему все. Мы убираем раковую почку. Делаем пластику сосудов и параллельно оперируем на сердце. Результаты хорошие. Такие люди могут жить и хорошо себя чувствуют.

У нас работают онкологический корпус и нейрохирургический центр. Сегодня в эндоваскулярной нейрохирургии мы на голову выше всех прочих профильных медицинских институтов в стране. Ведь только мы берем детей с первых дней жизни. Мальформации и эндокраниальные аневризмы у ребенка в других местах берутся лечить только с трех лет. Если ребенок до этого возраста доживет. Патологии-то тяжелые. А мы берем с нуля — и вылечиваем их полностью. В этих процедурах сегодня мы лидируем. К нам приезжают пациенты из Москвы, из Санкт-Петербурга, из зарубежных стран.

У нас ведущий в стране центр ЭКМО — экстракорпоральной мембранной оксигенации, с помощью которой можно лечить почти все недуги, связанные с нарушениями кровообращения.

Есть разработки клеточных технологий. Это и геномика, и создание искусственных органов. Не всегда можно «починить» сердце или другой орган, проще поменять на идентичный, но здоровый. Донорский орган под рукой оказывается не всегда, да и может не подойти. Выращивание органов с нужными характеристиками — это будущее медицины. И мы также стараемся здесь не отставать.

— Ну и как успехи?

— Успехи есть. Прежде всего нас интересует сердце. На втором месте стоят почка и печень. К легкому пока не приступали: это архисложное дело.

— Знаю, вы активно занимаетесь научной деятельностью, публикуетесь в ряде рейтинговых журналов за рубежом.

— Да, за рубежом нас знают очень хорошо. Может быть, даже лучше, чем на родине. И это немного обидно, потому что работаем мы в первую очередь для российских пациентов.

Сегодня очень много идей, которые мы хотели бы реализовать. Это касается всех направлений. Все наши центры, а их у нас сегодня пять, развиваются. За эти годы институт превратился в большой многопрофильный гибрид, биомедицинский кластер федерального значения. Конечно, он заряжен на то, чтобы развиваться. И поэтому каждое направление сегодня имеет как минимум десяток прорывных технологий, которые находятся

на стадии клинической апробации, на выходе или уже на серийном запуске. Для нас всегда было важно, развивая научные технологии и ведя исследовательскую работу, реализовать все это на практике.

— **У вас в институте много молодежи...**

— Да, и это радует. Очень много работает талантливых ребят. Они все заряжены на успех. И моя задача, как я это чувствую, — в первую очередь им не мешать. Ну а если есть возможность помочь, всегда стараюсь быть им необходимым. Если же подводить итог, то я считаю главным сохранить и приумножить все наработанное.



Заместитель
директора по на-
учной работе член-
корреспондент РАН
Е.А. Покушалов

— **Евгений Анатольевич, проект Института по профилактике и лечению фибрилляции предсердий в 2014 г. получил премию Правительства РФ. А теперь вы подали заявку еще и на госпремию. В чем важность этого проекта, претендующего на столь высокие награды?**

— Дело не в наградах, хотя их у нас немало и большинство из них иностранные. Неоднократно наши исследования и разработки входили в топ-10 по итогам года по рейтингу мировых институтов, в том числе Стэнфордского университета. Но дело в том, что с помощью внедрения наших методик можно спасти многие тысячи, а может и миллионы жизней наших сограждан.

Общеизвестно, что в структуре мировой смертности по-прежнему лидируют сердечно-сосудистые заболевания. Таких заболеваний множество. Из них наиболее распространены и чаще всего заканчиваются летальным исходом нарушения ритма сердца. Чаще всего они становятся осложнениями таких известных заболеваний, как инфаркт миокарда или ишемическая болезнь сердца.

Я всю жизнь занимаюсь аритмологией, поэтому так вышло, что возглавил данный проект. В этом направлении мы работаем много лет, и одним из наших главных приоритетов сегодня стали исследования с такой тяжелой патологией нарушения ритма сердца, как фибрилляция предсердий,

в простонародье — мерцательная аритмия. Так ее называют потому, что сердце бьется неравномерно, то будто выпрыгивая из груди, то замирая. Это самая распространенная аритмия, которая сегодня существует в популяции. В зависимости от регионов ею страдают порядка 2–3% населения, то есть миллионы людей по всей планете. Как правило, пациенты очень тяжело переносят это состояние, но самое главное, что 90% инсультов, приводящих к смертельным исходам, связаны как раз с фибрилляцией предсердий. Это бич нашего общества, и мы решили с ним бороться.

— **Что приводит к этому заболеванию?**

— Причины разнообразны. Заболевание может как проявляться самостоятельно, так и становиться сопутствующим для каких-то других патологий. Сначала появились медикаментозные пути решения проблемы. Существует большой спектр препаратов, направленных на подавление этого состояния. Однако мировая фармакология продвинулась в этом направлении не слишком далеко. Наиболее эффективный на сегодня препарат, который действует на мерцательную аритмию, «Амиодарон», или «Кордарон», был придуман более 30 лет назад. Новые препараты менее эффективны, чем уже существующий. При этом нынешние возможности медикаментозной терапии абсолютно не устраивают врачей. Дело в том, что любой препарат с каждым годом теряет свою эффективность. Поэтому сегодня мы можем сказать, что адекватных медикаментозных методик здесь не существует.

Несколько лет назад были придуманы такие способы лечения, как создание искусственной атрио-вентрикулярной блокады (АВБ), ставился кардиостимулятор, но и это нас абсолютно не устраивало, потому что фактически мы лечим одно, а калечим другое. Установка кардиостимулятора приводила к тому, что у пациента возникал синдром кардиостимулятора, как следствие — сердечная недостаточность в связи с отсутствием адекватной физиологической регуляции деятельности сердца.

С начала 2000-х гг. начали появляться открытия, связанные с выявлением источников фибрилляции предсердий. Родилась гипотеза, которая распространена и сегодня, что все дело в легочных венах, а значит, влияя на них, можно устранить проблему.

— **Почему именно легочные вены?**

— В сердце есть несколько структур, которые осуществляют насосную функцию, качают кровь. Предсердия распределяют кровь по сосудам, которые подходят к сердцу и передают ее в желудочки. А легочные вены, подходящие к предсердиям, помогают осуществить кровоток в общей циркуляции. И именно они, как утверждали исследователи, представляют собой субстрат для возникновения патологических пульсаций, приводящих к нарушениям ритма сердца.

Тут же начали прорабатывать способы, как с этим бороться. Каждый пошел по своему пути решения проблемы. Наш путь отличается от общепринятого: мы усомнились, что первопричина — это легочные вены, и предположили, что источник болезни лежит где-то в другом месте. И если мировая медицина все эти годы была сосредоточена на том, чтобы эту патологическую пульсацию как-то локализовать, то мы озадачились вопросом, как ее не допустить.

— То есть вы решили искать причину, а не бороться со следствием?

— Именно так. Поэтому стартовая площадка у нас была кардинально разная. Однако исследователи, которые пошли по первому пути, пальму первенства у нас выиграли. Они быстро придумали способы, каким образом бороться с недугом. Эффективность таких методик за эти годы существенно выросла.

— Что же было придумано?

— Был найден способ изоляции легочных вен с помощью так называемой радиочастотной абляции (РЧА). Радиочастотная абляция — это методика, когда происходит сильное нагревание пораженного участка, идет денатурация белка и образуется изоэлектрическая бороздка, которая изолирует вены с патологической пульсацией. Огромный пул исследователей пошел по этому пути, следом быстро подключились медицинские компании, и за последние десять лет эта методика стала золотым стандартом в мировой практике.

— А вы ее применяете? Ведь пока ваши разработки не были закончены, люди продолжали болеть и умирать.

— Конечно, мы ее активно применяли в практическом здравоохранении и до сих пор в некоторых случаях применяем. Но своих исследований мы не остановили. Нас не удовлетворяла ситуация, что мы должны вмешиваться в нормальную структуру сердца и нарушать ее. По сути, изоляция легочных вен означает повреждение нормального миокарда, а это ведет к неправильной работе всего органа. Проблема еще и в том, что эффективность таких операций не превышает 70%. Этого, конечно, недостаточно. На протяжении более пяти лет компании придумывали различные устройства, новые способы такой изоляции, новые материалы, потратили огромные деньги... Процедура с каждым годом становится все дороже, но эффективность при этом остается фиксированной.

А мы в свою очередь начали серию экспериментов на животных, где нашим партнером выступил Оклахомский университет. Мы моделировали заболевания и пытались понять, какова причина фибрилляции. В результате стало понятно, что это связано не с патологией сердца как такового. Хотя в тот момент нас никто не хотел слушать: все вокруг были уверены, что это заболевание именно сердца.

— А с чем же тогда это связано?

— Мы пришли к выводу, что на самом деле это поломки в работе автономной нервной системы.

— Значит, все-таки все болезни от нервов?

— Можно и так сказать. А если серьезно, то это очень древняя система, которая регулирует всю деятельность нашего организма, позволяет держать все под контролем. Было показано, что именно миокард предсердий, в которых возникает фибрилляция, окружен большим пулом ганглиев автономной нервной системы. Их концентрация там колоссально высока. Пошли длительные, многочисленные эксперименты. Мы искали, с чем же конкретно связана фибрилляция. Был сделан ряд публикаций по этому поводу, было множество выступлений, и постепенно все мировые лидеры кардиохирургии стали признавать нашу правоту.

Вообще автономную нервную систему нельзя недооценивать. Она регулирует работу сердца. Это,

Общеизвестно, что в структуре мировой смертности по-прежнему лидируют сердечно-сосудистые заболевания

по сути, продолжение регуляции, идущей от головного мозга. Но это было известно и раньше. Мы же выяснили, что окружающие ее ганглии — это такие микроконтролеры, сложно устроенные структуры, а не просто переключатели, как думали раньше. Фактически это проводящие участки головного мозга, потому что они имеют свою регуляцию, то есть это аналитические центры, которые зачастую самостоятельно принимают решения, как будет работать тот или иной орган, находящийся в их подчинении. Все наше тело — это большая сеть ганглионарных сгустков автономной нервной цепи. Если у нас что-то случилось, допустим, в почке, тут же сигнал поступает в головной мозг, и все ганглии, которые у нас имеются, уже знают, что там есть проблема, и начинают подстраивать работу своих органов с учетом этой патологии. Любая ситуация, которая происходит в теле, как экспресс-почта доставляется по назначению. И ответственна за это именно автономная нервная система.

— То есть сбои в работе сердца возникают из-за каких-то поломок в автономной нервной системе?

— Мы выяснили, что ганглии, которые находятся рядом с сердцем и иннервируют его, иногда начинают выключаться из нормальной работы, «ломаются». Они начинают продуцировать

нейротрансмиттеры — химические вещества, которые заставляют сердце работать то быстро, то медленно. Фактически это химическая регуляция. Именно этот процесс приводит к аритмии, а не проблемы в легочных венах. И дальше вместе с коллегами из Оклахомы мы провели серию экспериментов на животных, в ходе которых моделировали фибрилляцию предсердий и выключали эти ганглии.

— **Все? Или те, что неправильно работали?**

— Сначала мы не могли понять, какие из них неправильно работают. Мы взяли животное с фибрилляцией предсердий и просто убрали все ганглии, сделали их абляцию. Это привело к тому, что фибрилляция тут же исчезла и сердце стало работать нормально.

Мы продолжили эксперименты уже на химических моделях с ацетилхолином, и было показано, что, выключая ганглии, мы получаем нормализацию процесса. Это был сигнал о том, что мы идем верным путем.

Когда мы убираем заболевание, в сердце возникает обратное ремоделирование и оно восстанавливает свои структуры

— **А какова причина патологии автономной нервной системы?**

— Это хороший вопрос: отчего вообще возникают поломки? Точного и однозначного ответа на него пока нет. Видимо, они происходят из-за какого-то несовершенства и целого ряда провоцирующих факторов. Это, например, алкоголь, курение, стрессы, неправильный образ жизни, возраст после 60 лет, когда количество возможных поломок накапливается, это и сопутствующие заболевания — например, гипертоническая болезнь, сахарный диабет.

— **Хорошо, вы поняли, где причина фибрилляции. Но как дальше эту информацию использовать в практической медицине?**

— Этот вопрос стал для нас основным. Ведь сначала не было понимания, как мы можем работать в человеческом организме с этими ганглиями. Пришлось бы разрезать грудную клетку, а это травмирующая операция. Нам же нужно было придумать, как попасть к ганглиям со стороны эндокарда, чтобы с помощью электродов, которые можно заводить в сердце, и рентгеновского изображения понять, как ганглии необходимо

отключить. У нас начали появляться последователи — медицинские институты из других стран. Работа продолжалась.

В 2005 г. мы вышли с новой технологией — заявили, что будем выполнять абляцию ганглиев, ориентируясь на анатомические особенности сердца. Провели большое количество анатомических работ и показали, что ганглии, которые находятся в сердце, привязаны к определенным анатомическим структурам этого кровеносного органа. В основном это верхняя полая вена, нижняя полая вена и устья легочных вен. И мы фактически рассчитали, где находится их максимальная концентрация. Исходя из этого, мы внесли предложение осуществлять воздействие на ганглии, изначально зная их анатомическое расположение.

— **Как это происходит?**

— Через мини-доступ, как укол. Это малоинвазивная методика, которая выполняется под местной анестезией. Через этот прокол с помощью интродьюсера формируется тончайший тоннель. В сердце заводятся три электрода. А дальше на мониторе делается моделирование внутренней структуры сердца, выстраиваются анатомические структуры, мы эндоскопически подходим к стенке, фиксируем точку и с помощью 3D-картирования делаются расчеты, где находится скопление ганглиев. На первом этапе с помощью радиочастотной абляции мы их просто убирали. Но ясно, что это не конец истории. Мы хотели научиться распознавать, какие ганглии поражены, а какие нет, чтобы не трогать здоровые.

Подобные исследования велись и в других странах. Скажем, канадец Роберт Лемери и его группа пошли по пути сверхчастотной стимуляции, но эта технология показала очень низкую выявляемость поврежденных ганглиев — всего лишь до 25%. Говоря проще, «контакт» был слабым. Были и другие методики, но найти оптимальную не удавалось.

И тут у нас появилась идея, что патологические ганглии можно искать с помощью специального светящегося радиофармпрепарата. Те ганглии, которые работают неправильно, светятся ярче, чем нормальные. И здесь нам помогла компания *Spectrum Dynamics*, которая создала специальную камеру, с большой точностью регистрирующую это свечение. Мы начали исследования на добровольцах. Есть первые публикации в рейтинговых журналах. В ближайшее время появятся результаты рандомизированного исследования. Начинем многоцентровые исследования с участием иностранных клиник. Уже известен спонсор, который будет финансировать это многоцентровое исследование во всем мире. Важно, что уже сейчас наша технология есть в международных рекомендациях.

При этом мы не останавливаемся на достигнутом. Мы увидели, что есть ганглии, которые еще

можно вернуть в нормальное состояние. Ведь устранять то, что подлежит восстановлению, жалко. Не пойдете же вы удалять зуб, где есть небольшой кариес.

— **С зубом понятно. Но как это сделать с ганглиями?**

— Это еще один блок исследований, которые мы сейчас ведем. У нас возникла мысль, что их можно временно блокировать с помощью химического агента — ботулинового токсина. Это фактически тот самый ботокс, который применяется в пластической хирургии. При такой инъекции выключаются мышцы, а с ними передача нервного импульса. Важно, что это происходит временно. Он действует на протяжении трех-шести месяцев. У нас возникло предположение: а если за это время они самовосстановятся и смогут работать нормально? Мы не знали ответа, это была гипотеза.

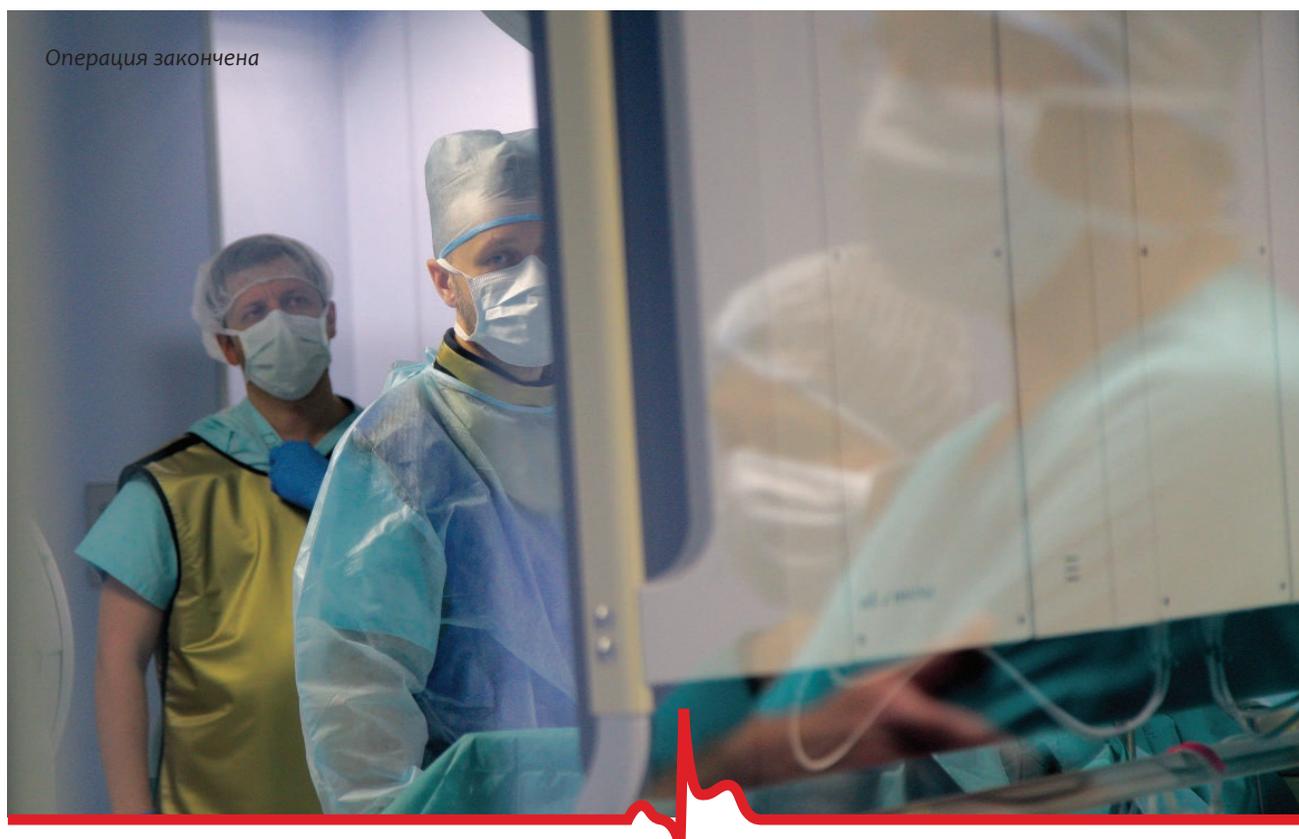
— **То есть метод тька?**

— Не совсем. Дело в том, что у нас в организме работает ремоделирование. Например, фибрилляция предсердия приводит к ремоделированию, разрушению сердца. Это анатомическое и электрическое перерождение. Но мы задали вопрос: может быть, в сердце, когда мы убираем заболевание, возникает обратное ремоделирование и сердце восстанавливает свои структуры? Это как перезагрузка компьютера. Оказалось, все верно! Эксперименты подтвердили нашу правоту.

И это открытие демонстрирует широкий спектр возможностей. Скажем, его можно применять для профилактики послеоперационных осложнений — например, при такой широко распространенной операции, как аортокоронарное шунтирование, которое в свое время провели Б.Н. Ельцину, очень часто возникает осложнение в виде аритмии. В результате пациент может погибнуть уже не от той болезни, с которой пришел на операцию, а от новой. Как с этим бороться? До сегодня врачи этого не знали. Мы предложили на две-три недели после операции блокировать ганглии, чтобы организм мог успешно восстановиться. И это работает.

А сейчас совместно с Институтом органической химии СО РАН мы придумали, как ботулотоксин комбинировать с органическим соединением мукополисахаридом, чтобы действие препарата было не мгновенным, а постепенным, пролонгированным. Может быть, в будущем мы вообще уйдем от процесса уничтожения ганглиев, а будем их временно блокировать, давая возможность восстановиться. Время действия препаратов можно регулировать, динамически наблюдая за результатом. Не исключаю, что будут придуманы новые химические соединения, лекарственные вещества, помогающие вообще обойтись без удаления ганглиев, а позволяющие их лечить. Уверен, что будущее именно в таком подходе. ■

Беседовала Наталья Лескова



Парадокс



физической активности

ЭВОЛЮЦИЯ

Изучение механизмов сжигания калорий организмом помогает объяснить бесполезность физической активности как средства для похудения, а также понять, как люди приобрели некоторые из своих уникальных биологических особенностей

Герман Понцер

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Принято считать, что физически активные люди сжигают больше калорий, чем малоподвижные.
- Исследования, однако, показывают, что традиционные охотники и собиратели, чья жизнь сопряжена с высокими физическими нагрузками, расходуют точно такое же количество калорий, как и люди, пользующиеся всеми удобствами современной цивилизации.
- Открытие, что расход энергии у людей строго ограничен, поднимает вопросы, связанные с эволюцией крупного головного мозга и других свойственных людям «энергозатратных» признаков.
- Сравнение расхода энергии у людей и человекообразных приматов указывает на то, что эволюция человеческого метаболизма была направлена на поддержание функций организма с высокой потребностью в энергии.

ОБ АВТОРЕ

Герман Понцер (Herman Pontzer) — антрополог из Хантерского колледжа Городского университета Нью-Йорка. Изучает энергетический обмен у людей и человекообразных приматов для более полного понимания эволюции физиологических и анатомических особенностей человека.



Жираф словно испарился! Полдня мы бродили вчетвером по следам раненого зверя, подстреленного накануне вечером Мвасадом — мужчиной 40 лет из племени хадза. Деревянная стрела со стальным наконечником, смазанным сильным традиционным ядом, выпущенная Мвасадом с 25 м, поразила животное в основание шеи. Хадза — племя охотников и собирателей, живущее в засушливой саванне на севере Танзании, пищу которого составляют дикие растения и животные. Ландшафт местности и ее обитателей люди хадза знают лучше, чем городские жители — находящиеся рядом с их домом магазины. Мвасад не стал преследовать раненого зверя, надеясь, что через какое-то время яд подействует и утром он найдет жирафа где-нибудь поблизости уже мертвым. Такая крупная добыча могла бы кормить семью охотника и всех жителей поселения в течение целой недели — но сначала нужно было найти ее!

Мвасад возглавлял нашу поисковую группу в составе Дэйва Рэйчлена (Dave Raichlen) из Аризонского университета, 12-летнего мальчика хадза по имени Нейе и вашего покорного слуги. Из лагеря мы вышли еще на рассвете. Нас с Дэйвом Мвасад пригласил принять участие в этой «экспедиции» из дружеского расположения, а также в расчете на то, что потребуются помощь в транспортировке туши животного в лагерь, — если, конечно, его поиски увенчаются успехом. Будучи антропологами, изучающими экологию и эволюцию человека, мы с радостью воспользовались возможностью воочию убедиться в легендарных способностях мужчин хадза выслеживать диких зверей. И, разумеется, предстоящее приключение было для нас гораздо предпочтительнее перспективы провести день в лагере за возней с научной аппаратурой.

Битый час мы с трудом пробирались через колышущееся море золотистой, высотой по пояс травы с возвышающимися тут и там колючими акациями, направляясь к месту, где был ранен жираф. Даже эта часть нашего путешествия походила на авантюру, сравнимую с поиском зубочистки, когда-то брошенной посередине пшеничного поля площадью в несколько гектаров. Час за часом мы брели по саванне под палящим африканским солнцем по следам раненого жирафа, а признаки его присутствия с каждой минутой становились все более призрачными.

Жираф словно провалился сквозь землю! Где-то после полудня мы, наконец, присели отдохнуть в тени раскидистого куста, а Мвасад тем временем напряженно размышлял, куда могло направиться раненое животное. У меня оставалось чуть больше литра воды — вполне достаточно, по моим прикидкам, для того, чтобы выдержать изнурительный полуденный зной. Мвасад, однако, по обычаю людей хадза воду с собой не взял. Когда мы поднялись на ноги, собираясь продолжать поиски зверя, я предложил Мвасаду глоток воды. Покосившись на меня, он улыбнулся, одним долгим глотком опустошил всю бутылку, а затем небрежно протянул мне пустой сосуд.

От судьбы не уйдешь! Дело в том, что Дэйв, я и Брайан Вуд (Brian Wood), антрополог из Йельского университета, уже в течение месяца жили среди людей хадза и впервые проводили прямые измерения суточного расхода энергии в популяции охотников и собирателей. В нашем исследовании участвовало более двух десятков мужчин и женщин хадза, включая и Мвасада. В качестве питья наши испытуемые использовали воду из маленьких, вероятно дорогих бутылочек, обогащенную двумя редкими изотопами — дейтерием и кислородом-18.

Анализируя концентрацию изотопов в образцах мочи каждого из участников исследования, мы надеялись оценить суточную продукцию углекислого

газа у каждого человека и на основании этого показателя определить его суточный расход энергии.

Данный подход, получивший название метода дважды меченой воды, сегодня широко используется в здравоохранении для оценки количества калорий, ежедневно сжигаемых человеком в повседневной жизни. Единственное требование, предъявляемое этим простым, совершенно безопасным для здоровья и точным методом к испытуемому, заключается в том, чтобы тот выпивал предлагаемое ему количество воды до последней капли. Вот почему всякий раз мы стараемся во что бы то ни стало убедить людей выпивать без остатка всю воду и ни в коем случае не выплевывать ее изо рта. Мвасад, похоже, уяснил это требование в полной мере.

Работая с людьми хадза, мои коллеги и я узнали много нового о механизмах сжигания калорий человеческим телом. Наряду с открытиями других ученых, работающих с иными популяциями людей, наше исследование позволило выявить поразительные особенности человеческого метаболизма. Полученные нами данные показывают, что, вопреки расхожему представлению, количество сжигаемых людьми калорий, как правило, не зависит от уровня их физической активности. И в то же самое время мы сжигаем их гораздо больше, чем наши ближайшие родственники — приматы. Результаты наших исследований помогают разгадать две, казалось бы, совершенно разные, но на самом деле тесно связанные загадки: во-первых, почему физические нагрузки, как правило, не способствуют похудению, во-вторых, каким образом возникли некоторые уникальные признаки людей.

Экономия калорий

Ученые, занимающиеся эволюцией и экологией человека, нередко фокусируют свое внимание на вопросах, связанных с расходом энергии, — ведь понятие «энергия» имеет фундаментальное значение для всей биологии. Выяснив особенности метаболизма того или иного вида животных, можно узнать многое и о его других биологических характеристиках. В идеале изучаемая популяция организмов должна жить в тех же самых условиях окружающей среды, в которых изначально эволюционировал вид и где по-прежнему действуют те же самые экологические факторы, под влиянием которых формировалась его биология. В случае человеческих популяций это условие труднодостижимо, потому что повседневная активность большинства людей не связана с добычей пищи в дикой природе. В течение почти двух последних миллионов лет современные люди и их предки жили и эволюционировали как охотники и собиратели. Сельское хозяйство возникло лишь примерно 10 тыс. лет назад, а промышленность, индустриальные города и современные технологии появились и вовсе на протяжении жизни нескольких последних поколений людей. Вот почему изучение человеческих популяций, подобных народу хадза — одному из последних уцелевших на планете сообществ охотников и собирателей, — имеет ключевое значение для понимания того, как эволюционировал и функционировал человеческий организм до появления на свете домашних коров, автомобилей и компьютеров.

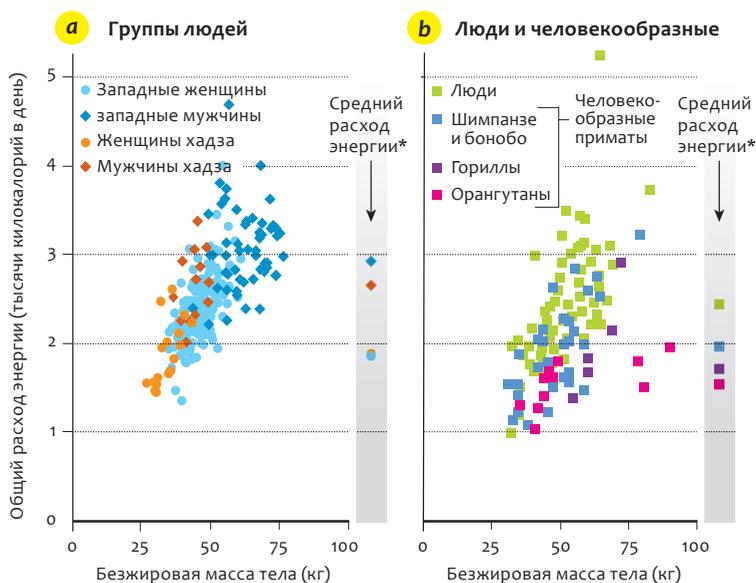
Жизнь требует от людей хадза интенсивной физической активности. Каждое утро женщины племени выходят небольшими группами из своих ветхих жилищ, сооруженных из стеблей и веток,

ОТКРЫТИЯ

Сжигатели калорий

Ученые предположили, что физически активные люди сжигают больше калорий, чем малоподвижные люди. Однако прямые измерения расхода энергии у современных охотников и собирателей, живущих в развивающихся странах, и сравнительно малоподвижных городских жителей США и Европы дают сходные результаты (а). Но если человеческий метаболизм строго ограничен, как в процессе эволюции могли возникнуть крупный головной мозг, способность к долголетию и прочие «энергозатратные» признаки, отличающие людей от наших сородичей-приматов? Люди потребляют и расходуют в день на несколько сотен килокалорий больше, чем человекообразные приматы (б); это указывает на то, что наш метаболизм приспособлен к более быстрому сжиганию калорий и благодаря этому может поддерживать функции с высокой потребностью в энергии.

*Показатели расхода энергии рассчитаны с учетом различий размеров тела жителей западных стран, людей хадза и человекообразных приматов.



SOURCES: "HUNTER-GATHERER ENERGY AND HUMAN OBESITY," BY HERMAN PONTZER ET AL., IN PLOS ONE, VOL. 17, ARTICLE NO. 03:03:1902 (FEB.); "METABOLIC ACCELERATION AND THE EVOLUTION OF HUMAN BRAIN SIZE AND LIFE HISTORY," BY HERMAN PONTZER ET AL., IN NATURE, VOL. 535: MAY 19, 2016 (RIGHT)

и отправляются на поиск ягод и прочей снеди. Некоторые из них несут за спиной спеленатых младенцев. Основу рациона хадза составляют клубни диких растений, которые женщины порой часами выкапывают палками из каменистой почвы. Мужчины каждый день преодолевают пешком многие километры, охотясь на диких животных с помощью самодельных луков и стрел. Когда дичи мало, они забираются на деревья, где на высоте 15 м от земли с помощью примитивных топоришков вскрывают гнезда диких пчел и собирают мед. В хозяйственной жизни племени активно участвуют даже дети, таскающие ведрами воду из источников, расположенных на расстоянии более мили от поселения. К вечеру люди возвращаются в лагерь и, сидя на земле вокруг маленьких очагов с готовящейся пищей, обсуждают события минувшего дня и играют с детьми.

Никакие романтические сравнения с идиллической жизнью на лоне природы здесь неуместны. Охота и собирательство — высокоинтеллектуальные и рискованные формы деятельности. Это игра с высокими ставками, где деньгами служат калории, а любой проигрыш чреват смертью. Мвасад и другие мужчины племени ежедневно расходуют сотни килокалорий на охоту и выслеживание добычи. Смекалка при этом не менее важна, чем физическая выносливость. Если хищные звери во время охоты могут всецело полагаться лишь на свою силу и скорость ног, то люди должны уметь перехитрить своих жертв, а для этого им нужно знать поведенческие особенности животных и уметь обнаруживать признаки их присутствия в той или иной местности. Тем не менее таких крупных жертв, как жираф, охотникам хадза удается добывать не чаще одного раза в месяц. И всем членам племени пришлось бы голодать, если бы женщины хадза, вооруженные энциклопедическими знаниями о биологии местных растений и использующие во время их поиска не менее замысловатые стратегии, чем мужчины во время выслеживания дичи, изо дня в день не приносили бы в лагерь достаточное количество растительной пищи. Именно этот комплексный, кооперативный характер фуражировки не только определил фантастический эволюционный успех людей, но и составил основу нашей уникальности как вида.

Специалисты в области здравоохранения и эволюции человека издавна догадывались о том, что наши предки, занимавшиеся охотой и собирательством, в своей повседневной жизни сжигали гораздо больше калорий, чем жители современных городов. Глядя на тяжелый уклад жизни народов, подобных хадза, предполагать что-либо иное попросту невозможно. Многие эксперты в области здравоохранения говорят даже о том, что снижение суточного расхода энергии стало главной причиной глобальной пандемии ожирения в развитых



Охотники и собиратели племени хадза в Танзании затрачивают в день сотни калорий на физическую активность, но общее количество сжигаемых ими калорий такое же, как у городских жителей США

странах мира, утверждая при этом, что все не сожженные телом калории откладываются в нем в виде жира. Приступая к изучению метаболизма людей хадза, мы прежде всего хотели определить, насколько больше калорий эти люди сжигают в повседневной жизни, чем современные жители западных стран.

Вернувшись в США после жаркого и пыльного полевого сезона, я аккуратно упаковал флаконы с образцами мочи людей хадза в контейнеры с сухим льдом и отправил их в Медицинский колледж Бэйлора, где находится одна из лучших в стране лаборатория, использующая метод дважды меченой воды. При этом я живо представлял себе изумление на лицах ее сотрудников, увидевших фантастические показатели энергозатрат!

Ничего подобного не случилось. Когда пришли результаты анализа, оказалось, что люди хадза в этом отношении ничем не отличаются от «обычных» людей. Мужчины хадза потребляли и расходовали за сутки около 2,6 тыс. килокалорий, а женщины хадза — примерно 1,9 тыс. килокалорий, то есть столько же, сколько потребляют и сжигают взрослые жители США и европейских стран. Мы пытались манипулировать полученными данными самыми разными способами, учитывая эффекты размеров тела, процентного содержания жира в организме, возраста и пола. Никакой разницы! Но как такое возможно? Что мы упустили из виду? А может быть, все дело в ошибочности наших представлений о биологии и эволюции человека?

Все врут фитнес-браслеты!

Мысль о том, что физическая активность помогает людям сжигать больше калорий, всегда казалась нам настолько очевидной, что мы долгое время

принимали ее на веру без какого-либо критического осмысления и экспериментальной проверки. Но начиная с 1980–1990-х гг., когда появился метод дважды меченой воды, эмпирические данные нередко шли вразрез с этой традиционной аксиомой здравоохранения и нутрициологии (науки о питании). А потому к «странным» результатам, полученным нами при изучении людей хадза, следует относиться не как к грому среди ясного неба, а скорее как к первой попавшей за шиворот холодной капле дождя, который, никем не замечаемый, идет уже долгие-долгие годы.

Ранние исследования, проведенные с использованием данного метода среди крестьян Гватемалы, Гамбии и Боливии, показали, что их показатели расхода энергии почти не отличаются от соответствующих показателей, характерных для жителей крупных городов. В 2008 г. Эми Льюк (Amy Luke) из Чикагского университета Лойолы опубликовала результаты сравнения показателей расхода энергии и физической активности у сельских нигерийских женщин и афроамериканских жительниц Чикаго. Как и в нашем исследовании людей хадза, в работе Льюк не было выявлено никаких различий между показателями суточного энергозатрата у представительниц обеих популяций, хотя они и сильно различались уровнем физической активности. Следом за этим сообщением была опубликована обзорная статья, подготовленная Ларой Дьюгас (Lara Dugas), Эми Льюк и другими учеными из университета Лойолы, в которой были проанализированы данные 98 исследований, выполненных в разных частях света. Анализ данных показал, что расход энергии в популяциях людей, пользующихся всеми удобствами современной цивилизации, практически не отличается от этого показателя у жителей менее развитых стран, чья жизнь сопряжена с более высоким уровнем физической активности.

Человек — далеко не единственный вид с «фиксированной» скоростью расхода энергии. Едва завершив изучение людей хадза, я и ряд других исследователей приступили к измерению суточного энергозатрата у приматов — представителей группы млекопитающих, к которой относятся лемуры, обезьяны, человекообразные и люди. Мы обнаружили, что приматы, живущие в неволе (зоопарках и лабораториях), расходуют за сутки такое же количество энергии, как и человек и их сородичи в дикой природе, несмотря на существенные различия в уровне физической активности. В 2013 г. австралийские ученые выявили одинаковый расход энергии у овец и кенгуру, содержащихся в тесных загонах и привольно разгуливавших по природным пастбищам. И, наконец, в 2015 г. группа китайских специалистов сообщила об одинаковом энергозатрате у больших панд, живущих в зоопарках и в дикой природе.

Недавно я присоединился к группе ученых, возглавляемой Льюк, в которую входит и Дьюгас, изучающих физическую активность и расход энергии у отдельных людей в рамках широкомасштабного многолетнего анализа под названием «Изучение моделей эпидемиологического перехода» (*Modeling the Epidemiological Transition Study; METS*). В этом исследовании участвовало более 300 испытуемых, которые в течение недели круглосуточно носили фитнес-браслеты и прочие гаджеты, отслеживающие различные показатели физической активности людей; суточный расход энергии испытуемых оценивался методом дважды меченой воды. Мы обнаружили, что связь между уровнем суточной активности людей, отслеживаемым «умными» браслетами, и показателями их метаболизма была выражена очень слабо. В среднем лежебоки расходовали за день всего примерно на 200 килокалорий меньше, чем умеренно активные испытуемые — те, что в течение недели несколько раз выполняли физические упражнения и, поднимаясь домой, ежедневно преодолевали пешком несколько лестничных маршей. Что еще важнее, когда уровень физической активности увеличивался до некоего достаточно высокого значения, расход энергии стабилизировался: люди, проявлявшие в повседневной жизни наиболее высокую активность, сжигали за сутки столько же калорий, что и умеренно активные люди.

Каким же образом нашему телу удается приспособиться к высоким уровням физической активности, ограничивая при этом расход энергии? Каким образом люди хадза затрачивают каждый день сотни килокалорий на физическую активность и все-таки сжигают при этом такое же их общее количество, как и сравнительно малоподвижные жители США и Европы? Мы не можем утверждать с полной уверенностью, но, возможно, «энергетическая стоимость» физической активности в этих случаях остается неизменной: нам известно, например, что взрослые люди хадза затрачивают на пешее преодоление одного километра такое же количество калорий, что и жители западных стран. Возможно, люди с высоким уровнем активности каким-то образом тонко модифицируют свое поведение с целью экономии энергии — например, они предпочитают сидеть, вместо того чтобы стоять, или же обладают более крепким и продолжительным сном. Но наш анализ данных, полученных в рамках *METS*, свидетельствует о том, что, хотя такие поведенческие модификации в какой-то мере и способствуют экономии энергии, исчерпывающего объяснения неизменности суточного расхода энергии они дать не могут.

Еще одна любопытная возможность состоит в том, что организм оставляет некий резерв для совершения дополнительной активности, снижая расход калорий на выполнение многих незаметных задач, составляющих большую часть нашего суточного «энергетического бюджета» — работу,

которую выполняют наши клетки и органы для поддержания жизнедеятельности. Экономия энергии на этих процессах, возможно, позволяет нам затрачивать больше калорий на физическую активность, не увеличивая общего суточного расхода калорий. Например, физические упражнения иногда ослабляют воспалительную активность, опосредуемую иммунной системой, а также выработку половых гормонов (например, эстрогена).

Увеличение ежедневных физических нагрузок у лабораторных животных не влияет на суточный расход энергии, зато приводит к урежению овуляторных циклов и замедлению репаративных процессов в тканях. Чрезмерные физические нагрузки иногда заставляют животных поедать собственных маленьких детенышей. У людей и некоторых животных в процессе эволюции, похоже, выработались особые стратегии, направленные на ограничение суточного энергозатрат.

Все эти данные указывают на то, что ожирение — болезнь креоудогдия, а не малоподвижности. Люди набирают лишний вес, когда потребляют больше калорий, чем расходуют. Если суточный расход энергии на протяжении человеческой истории не изменялся, главную причину современной пандемии ожирения следует усматривать в чрезмерном потреблении калорий. Ничего нового в этом утверждении нет. Из личного опыта и многочисленных научных сообщений специалисты отлично знают, что занятия в тренажерном зале с целью похудения — пустая затея. Новые научные данные помогают объяснить, почему физические упражнения — совершенно бесполезное средство для борьбы с лишним весом. И не потому, что мы прилагаем к этому слишком мало усилий. Все дело в том, что так уж устроен наш организм.

Но упражняться все-таки нужно! Эта статья — отнюдь не записка родителей школьному учителю, объясняющая, почему их ребенка следует освободить от занятий физкультурой. Физические упражнения оказывают на наш организм массу благотворных эффектов — от укрепления сердечно-сосудистой и иммунной системы до улучшения мозговых функций и оздоровления процесса старения. На мой взгляд, метаболическая адаптация организма к физической активности — важный фактор, помогающий упражнениям оздоравливать наш организм за счет «отвлечения» энергии от таких форм активности, как, например, воспаление, которые, продолжаясь слишком долго, могут иметь самые негативные последствия. Так, хорошо документирована связь между хроническим воспалением и сердечно-сосудистыми заболеваниями и аутоиммунными расстройствами.

Безусловно, на здоровье людей влияют и потребляемые нами продукты; физические нагрузки в сочетании с надлежащей модификацией диеты могут уберечь нас от набора нежелательных

килограммов после того, как масса тела достигла здоровых значений, но, как свидетельствуют многочисленные данные, диету и физические упражнения лучше рассматривать в качестве инструментов для достижения разных целей. Упражнения помогают нам оставаться здоровыми и энергичными, а диета — сохранять надлежащий вес.

Энергетический бюджет и эволюция

Если суточный расход энергии практически неизменен, каким образом людям удалось эволюционировать в существ, столь разительно отличающихся от наших ближайших сородичей — человекообразных приматов? В жизни за все нужно платить. Ресурсы организма ограничены, и более щедрые инвестиции в какой-либо признак неизбежно оборачиваются более скудными вложениями в другой. Кролики отличаются фантастической плодовитостью, но живут они совсем недолго: эти зверьки затрачивают массу энергии, чтобы принести на свет многочисленное потомство, а энергии на поддержание собственной жизнедеятельности у них остается совсем мало. Маленькие слабые передние конечности тираннозавра — неизбежная расплата за огромную голову, страшные зубы и мощные задние ноги. Даже динозаврам не дано иметь все!

Люди пренебрегают этим основополагающим эволюционным принципом жесткой экономии. Наш мозг настолько огромен, что во время чтения данной статьи каждый четвертый совершаемый вами вдох идет на поддержание работы этого органа. И тем не менее люди рожают более крупных детенышей, размножаются чаще, живут дольше и ведут более активный образ жизни, чем какие-либо иные представители человекообразных приматов. Деревни племени хадза изобилуют бодрыми веселыми малышами и здоровыми жизнерадостными 60–70-летними мужчинами и женщинами.

Завершив наше широкомасштабное сравнительное исследование энергетики приматов, мои коллеги и я начали задаваться вопросом, а в самом ли деле весь адаптивный набор энергозатратных признаков людей поддерживается радикальными изменениями метаболической эволюции? В этом исследовании мы обнаружили, что приматы сжигают за сутки вдвое меньше калорий, чем другие млекопитающие. Такая пониженная скорость метаболизма приматов вполне соответствует характерной для них низкой скорости роста и размножения. Не исключено, что более высокие темпы размножения и другие энергозатратные признаки людей связаны с эволюционным увеличением скорости метаболизма. Чтобы проверить эту гипотезу, нужно иметь в распоряжении несколько групп непоседливых шимпанзе, своенравных бонобо (карликовых шимпанзе), флегматичных орангутанов и игривых горилл, а также возможность тщательно следить за тем, чтобы все они полностью

выпивали предлагаемые им дозы дважды меченой воды, и провести затем анализ проб их мочи. С этой сложной задачей блестяще справились Стив Росс (Steve Ross) и Мэри Браун (Mary Brown) из зоопарка Линкольн-парк в Чикаго, работавшие в тесном сотрудничестве со зрителями и ветеринарами более десятка других зоопарков США. Исследование, занявшее около двух лет, позволило ученым получить достаточное количество данных об энергорасходе у человекообразных приматов для их корректного сравнения с соответствующими характеристиками людей.

Люди, естественно, сжигают за день больше калорий, чем другие представители человекообразных. Даже с учетом размеров тела, уровня физической активности и других факторов люди потребляют и расходуют за день на 400 килокалорий больше, чем шимпанзе и бонобо; еще сильнее отличаются они в этом плане от горилл и орангутанов. Такие «экстракалории» отражают дополнительную работу нашего организма, обеспечивающую поддержание деятельности крупного головного мозга, интенсивные процессы размножения и долгожительство. Но дело не в том, что мы потребляем больше калорий, чем наши человекообразные сородичи; опасность состоит в потреблении излишнего количества калорий, которые наш организм не в состоянии израсходовать и которые, как хорошо всем известно, вызывают ожирение. Эволюция нашего тела была направлена на то, чтобы оно быстрее сжигало калории и могло проявлять более высокую активность, чем тело других человекообразных. Человеческая эволюция при этом не обошлась без компромиссов: наш пищеварительный тракт короче и во время работы расходует гораздо меньше энергии, чем пищеварительная система человекообразных, которой для переработки грубой растительной пищи требуется огромное количество энергии. Но эти и другие критические изменения, делающие нас людьми, обеспечивались глубокой эволюционной модификацией нашего метаболизма.

Вместе по жизни

Когда день начал клониться к вечеру, наша поисковая группа повернула в сторону лагеря. Мвасад прекратил искать следы жирафа на земле и теперь вглядывался в лежащую перед нами местность. Мы возвращались в лагерь без добычи. А в возвращении домой с пустыми руками, чреватом самыми серьезными последствиями, и заключается главный риск «высокоэнергетической» стратегии жизни людей. Многие из богатых энергией продуктов, необходимых нам для поддержания интенсивного метаболизма, добыть в дикой природе очень трудно, что увеличивает энергетическую стоимость поиска пищи и повышает риск голода как для взрослых мужчин и женщин, ведущих поиск пищи за пределами лагеря, так и для остающихся в нем детей.

К счастью для Мвасада, люди выработали несколько хитроумных приемов, помогающих им избежать голода. Мы — единственные существа на планете, освоившие стряпню, которая увеличивает калорийность многих продуктов и делает их более удобоваримыми. Умение пользоваться огнем и кулинарная обработка пищи превращают несъедобные корнеплоды в изысканные крахмалистые яства. Кроме того, в процессе эволюции мы научились толстеть. Этот факт наглядно иллюстрируется кризисом ожирения в западных странах, но даже взрослые люди хадза, которые по любым человеческим меркам могут считаться образцом стройности, носят на себе в два раза больше жира, чем шимпанзе, изнывающие от безделья в зоопарках. Вполне возможно, что наша склонность к накоплению жира эволюционировала параллельно с ускорением метаболизма в качестве критического «буфера энергии» для переживания трудных голодных времен.

Мы вернулись в лагерь, когда солнце тяжелым оранжевым шаром висело над самыми верхушками деревьев. Дэйв и я нырнули в свои палатки, а Мвасад и Нейе разошлись по хижинам. Хотя жирафа мы так и не нашли, в тот вечер никто не лег спать на пустой желудок: обитатели лагеря воспользовались самым мощным и хитроумным средством, изобретенным людьми от голода, — дедежкой пищи. Совместные трапезы в виде торжественных застолий, корпоративных пиршеств, пикников, шашлыков, барбекю и т.д. — такая неотъемлемая часть нашей жизни, что мы воспринимаем их как нечто само собой разумеющееся. А между тем совместная еда — существенная часть нашего эволюционного наследия.

Повышенный энергорасход не только изменил пищевые потребности людей и одарил их склонностью к накоплению жира; он наделил людей насущной потребностью в сотрудничестве. Быстрый метаболизм связал судьбы отдельных людей в неразрывное целое, поставив их перед выбором — сотрудничать или погибнуть. Я осознал эту истину особенно остро, когда сидел рядом с Дэйвом и Брайаном и, обсуждая события минувшего дня, утолял голод консервированными сардинами и картофельными чипсами. И бог с ним, с жирафом! ■

Перевод: В.В. Свечников

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Constrained Total Energy Expenditure and Metabolic Adaptation to Physical Activity in Adult Humans. Herman Pontzer et al. in *Current Biology*, Vol. 26, No. 3, pages 410–417; February 8, 2016.
- Metabolic Acceleration and the Evolution of Human Brain Size and Life History. Herman Pontzer et al. in *Nature*, Vol. 533, pages 390–392; May 19, 2016.

КОСМОЛОГИЯ

БЫЛА *ли инфляция?*

РЕЗУЛЬТАТЫ НЕДАВНИХ НАБЛЮДЕНИЙ АСТРОФИЗИКОВ
В СОЧЕТАНИИ С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ
СТАВЯТ ПОД СОМНЕНИЕ СТАВШИЕ ПРИВЫЧНЫМИ
КОНЦЕПЦИИ ИНФЛЯЦИОННОЙ ТЕОРИИ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ.
ВОЗМОЖНО, НУЖНЫ НОВЫЕ ИДЕИ

Анна Ийас, Абрахам Лоеб и Пол Стейнхард



ОБ АВТОРАХ

Анна Ийас (Anna Ijjas) — постдокторант в Принстонском центре теоретической науки. Сфера ее научных интересов — происхождение, эволюция и будущее Вселенной, а также природа темной материи и темной энергии.



Абрахам Лоеб (Abraham Loeb) — председатель Департамента астрономии Гарвардского университета, директор Гарвардского центра по изучению черных дыр, директор Института теории и вычислений при Гарвард-Смитсоновском астрофизическом центре.



Пол Стейнхард (Paul J. Steinhardt) — почетный профессор им. Эйнштейна в Принстонском университете и директор Принстонского центра теоретической науки. Его исследования охватывают проблемы физики частиц, астрофизики, космологии и физики конденсированных сред.



В 2013 г. 23 марта Европейское космическое агентство провело международную пресс-конференцию, на которой были оглашены новые данные, полученные с помощью аппарата «Планк». В результате работы этой космической миссии была построена лучшая из всех предыдущих карта космического микроволнового фона (реликтового излучения), который образовался больше 13 млрд лет назад, почти сразу после Большого взрыва. Новая карта, по словам ученых, адресованная журналистской аудитории, подтверждает теорию, предложенную космологами еще 35 лет назад, — о том, что Вселенная имела начало как Большой взрыв с последующим кратким периодом сверхбыстрого расширения, называемого инфляцией.

Это расширение сглаживает Вселенную до такой степени, что миллиарды лет спустя она остается почти однородной во всех направлениях и на всем протяжении. Кроме того, она остается плоской, в противоположность искривленной сфере, за исключением областей незначительных колебаний плотности вещества, характеризующих детали распределения звезд, галактик и скоплений галактик вокруг нас.

Основное сообщение конференции: данные «Планка» превосходно вписываются в предсказание простой инфляционной модели, усиливая

впечатление ее основательности. Казалось, команда «Планка» закрыла книгу космологии. Три автора этой статьи в Гарвард-Смитсоновском центре астрофизики решили обсудить последствия такого заявления. Анна была тогда приглашенной студенткой из Германии. Пол — один из основателей инфляционной теории 30 лет назад, но его поздние работы указывали на серьезные противоречия ее теоретического обоснования; в то время он проводил отпуск в Гарварде. Абрахам был главой астрономического департамента и гостеприимным хозяином. Все авторы статьи отметили скрупулезную

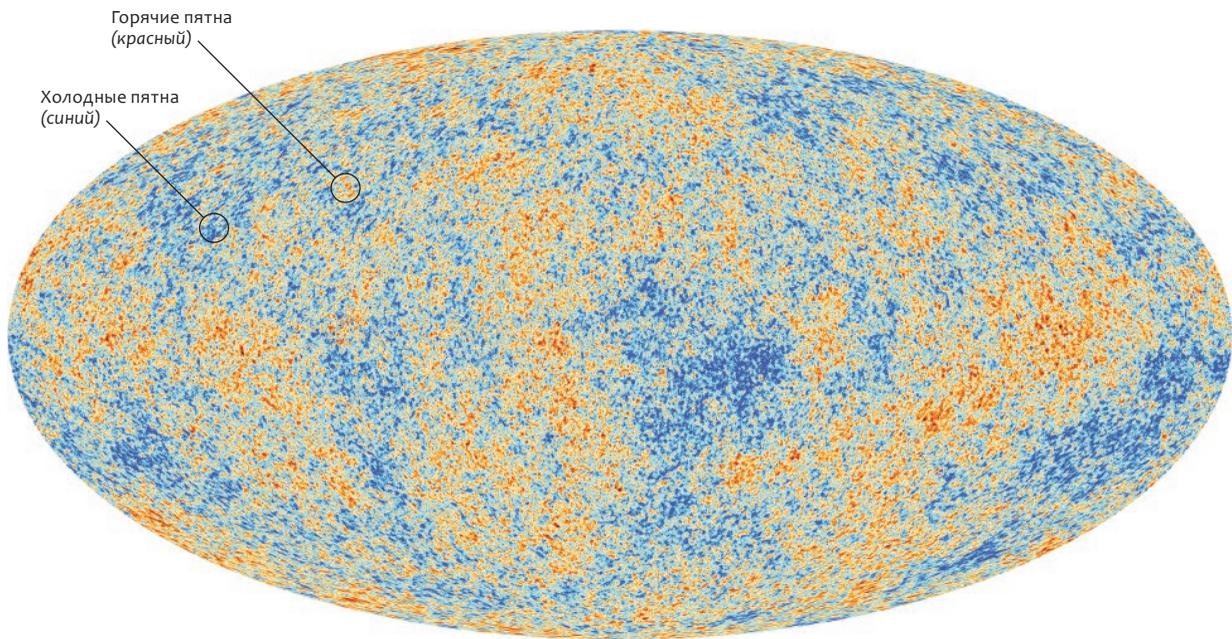
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Последние измерения космического микроволнового фона (реликтового излучения), старейшего света во Вселенной, вызывают озабоченность в отношении инфляционной теории ранней Вселенной, согласно которой в первые моменты своей жизни пространство экспоненциально расширялось.
- Типичное проявление инфляционной стадии — возникновение температурных вариаций (анизотропии) реликтового излучения (хотя картина таких вариаций может быть практически любой). Должны генерироваться также первичные (космологические) гравитационные волны, которые до сих пор не были обнаружены.
- Согласно наблюдательным данным, есть указания на то, что космологи должны пересмотреть парадигму инфляции и рассмотреть новые идеи рождения Вселенной.

Младенческая фотография Вселенной

На рисунке показана карта, полученная в результате работы космической миссии «Планк», запущенной Европейским космическим агентством. Карта представляет собой космический микроволновый фон, старейший свет во Вселенной, дающий мгновенный отпечаток состояния очень ранней Вселенной. Синие участки неба представляют собой области, где температура реликтового излучения (а значит, и температура ранней Вселенной) понижена, а красные участки неба отражают наличие областей с повышенной температурой. Сторонники инфляционной парадигмы — теории, согласно которой Вселенная стремительно расширялась в первые

моменты своей жизни, — утверждают, что горячие и холодные пятна вполне соответствуют такой модели. Однако инфляция способна произвести фактически любой подобный «узор» и, согласно теории, как правило, дает больший разброс по температурам, чем это наблюдается на представленной карте. Кроме того, если инфляционная стадия имела место, то реликтовое излучение должно было бы содержать признаки космологических гравитационных волн — рябь пространства-времени, вызванную растяжением. Однако этого не наблюдается. Данные «Планка» показывают, что космологические вопросы еще далеки от окончательных ответов.



точность наблюдений команды «Планка». Однако их не устроила интерпретация полученных результатов. Данные «Планка» не согласовывались с самыми простыми инфляционными моделями и обостряли давние фундаментальные проблемы теории, предоставляя новые поводы для рассмотрения конкурирующих идей о происхождении и эволюции Вселенной. В последующие годы данные о реликтовом излучении, собранные разными наземными и космическими инструментами, заканчивая «Планком», только увеличивали проблемы. Но даже сейчас сообщество космологов не удастывает значительным вниманием критику теории инфляции и не в состоянии достаточно непредвзято оценить инфляционную теорию Большого взрыва. Общепринятая точка зрения — вера в теорию инфляции, поскольку она предлагает единственное простое объяснение наблюдаемых особенностей Вселенной. Но, с точки зрения авторов настоящей статьи, данные «Планка» в сочетании с теоретическими результатами потрясают основы незыблемости всей инфляционной парадигмы.

Следя откровению

С целью продемонстрировать проблемы инфляции авторы, следуя указаниям сторонников этой теории, предлагают начать рассуждения следующим образом: предположим, что инфляция истинна, без всяких вопросов. Теперь представим, что некий всевидящий предсказатель сообщил нам: инфляция действительно произошла вскоре после Большого взрыва. Если мы принимаем слова такого оракула на веру, то что же конкретно нам скажет эта вера об эволюции Вселенной? Если инфляция действительно предлагает простое объяснение эволюции Вселенной, то мы ожидали бы, что оракул скажет нам многое из того, чего нам ждуть от данных «Планка». Например, оракул сказал бы, что через какой-то небольшой промежуток времени после Большого взрыва должны были остаться крохотные следы пространства, заполненного экзотической формой энергии, которая и вызвала ускоренное расширение (инфляцию). Большинство известных форм энергии, например такие, которые содержатся

в веществе и излучении, сопротивляются расширению Вселенной и замедляют его за счет собственных сил гравитационного притяжения. Инфляция требует заполнения Вселенной энергией с высокой плотностью, но такой, которая противостоит бы гравитации, тем самым вызывая ускоренное расширение. Однако заметим, что этот важнейший ингредиент, называемый инфляционной энергией, гипотетический, поскольку нет прямых доказательств его существования. Кроме того, с момента возникновения инфляционной концепции появились буквально сотни предложений о том, для чего может оказаться нужной инфляционная энергия. Каждое предложение отличает свой темп расширения. Таким образом, инфляция не может быть точной теорией, потому что обладает чрезвычайно гибкой структурой, допускающей много возможностей.

Что же может поведать нам оракул такого, что должно быть истинно для всех без исключений инфляционных моделей? Есть одна вещь, относительно которой мы должны быть уверены согласно нашим знаниям квантовой физики: температура и плотность вещества во Вселенной после окончания инфляции обязательно должны незначительно различаться от места к месту. Случайные квантовые флуктуации на субатомных масштабах могли быть растянуты во время инфляционного расширения до областей космологических масштабов, обладающих разным количеством инфляционной энергии. Согласно теории, ускоренное расширение заканчивается, когда инфляционная энергия (*инфляционное поле*. — *Примеч. пер.*) распадается на обычное вещество и излучение. В тех областях, где плотность инфляционной энергии (то есть количество инфляционной энергии на кубический метр пространства) оказалась несколько большей, чем в соседних, ускоренное расширение шло дольше, а температура и плотность Вселенной должны были быть немного выше при окончании этой инфляционной стадии. Следствием квантовых флуктуаций инфляционного поля становятся флуктуации плотности в реликтовом излучении. Таким образом, анизотропия реликтового излучения представляет собой холодные и горячие пятна соответственно пониженной и повышенной яркости — это как бы слепок самых ранних стадий жизни нашей Вселенной. В течение последующих 13,7 млрд лет эти небольшие флуктуации плотности и температуры под воздействием гравитационных сил сформировали крупномасштабную структуру космоса.

Такие рассуждения дают хорошее, хотя и несколько расплывчатое начало. Можем ли мы предсказать количество и вид распределения галактик по пространству? На каком уровне Вселенная становится искривленной и закрученной? Что в большой степени составляет современную

Вселенную — обычное вещество или другие формы энергии? На все эти вопросы теория инфляции не дает ответа, потому что допускает очень широкий диапазон начальных условий развития Вселенной. Дает ли инфляция ответ на вопрос, почему произошел Большой взрыв или как были заданы начальные условия, приведшие мир к тому, что мы наблюдаем сейчас? Нет, она снова не дает ответа.

Если мы априори знаем, что инфляция истинна, то мы не можем сказать большего о горячих и холодных пятнах, которые наблюдались миссией «Планк». Данные, полученные в ходе его работы, и более ранние исследования реликтового излучения показали, что вид горячих и холодных пятен остается принципиально тем же самым при изменении масштаба — свойство, называемое масштабной инвариантностью. Последние данные «Планка» показывают, что отклонение от идеальной масштабной инвариантности очень мало и составляет всего несколько процентов. Среднее значение температурных колебаний вдоль всех пятен есть примерно одна сотая доля процента. Защитники теории инфляции часто утверждают, что возможно изготовить шаблон с такими свойствами. Однако подобные высказывания оставляют за скобками один ключевой момент: инфляция допускает и многие другие шаблоны холодных и горячих пятен, и эти шаблоны практически не бывают масштабно инвариантными и обычно обладают вариацией температур значительно большей, чем наблюдаемая. Другими словами, масштабная инвариантность возможна, но могут присутствовать и большие отклонения от масштабной инвариантности — в зависимости от того, какой именно задается плотность инфляционного поля. Таким образом, данные «Планка» не могут быть приняты как доказательство теории инфляции.

В частности, если априори известно, что инфляция произошла, то в данных «Планка» обязана присутствовать некоторая особенность, поскольку она общая для всех инфляционных моделей. Квантовые флуктуации порождают случайные изменения инфляционного поля, кроме того, эти флуктуации производят случайные искривления пространства, которые распространяются как волны пространственного искажения через всю Вселенную после окончания инфляции. Эти возмущения, известные как гравитационные волны, служат дополнительным источником горячих и холодных пятен в реликтовом излучении. Гравитационные волны дают характерный поляризационный эффект — другими словами, наличие этих волн приводит к тому, что свет приобретает предпочтительную ориентацию своего электромагнитного поля в зависимости от того, исходит ли от горячего или холодного пятна или седлообразных областей между ними. К сожалению, поиск гравитационных волн, рожденных в постинфляционный период, пока не увенчался

успехом. Впервые горячие и холодные пятна — анизотропия реликтового излучения — были обнаружены в результате работы советского эксперимента «Реликт» в 1992 г., а позже в этом же году их наличие было подтверждено американским спутником *COBE* (*Cosmic Background Explorer*, «Исследователь космического фона»). С тех пор анизотропия наблюдалась многократно, включая последние наблюдения «Планка», результаты которых были опубликованы в 2015 г. Однако ни в одном из этих экспериментов вплоть до момента написания данной статьи никаких признаков гравитационных волн обнаружено не было, несмотря на то что они предсказываются теорией инфляции. В 2014 г., 17 марта, по результатам проведения эксперимента *BICEP2* на Южном полюсе было объявлено об обнаружении космологических гравитационных волн, однако более тщательная обработка данных убедила большинство ученых в том, что в действительности наблюдались не гравитационные волны, а поляризация, вызываемая частицами пыли в Млечном пути. Важно подчеркнуть, что ожидаемые космологические гравитационные волны не имеют ничего общего с теми гравитационными волнами, которые генерируются в процессе слияния черных дыр в современной Вселенной, обнаруженными лазерной интерферометрической обсерваторией *LIGO* в 2015 г.

Удивительны результаты эксперимента «Планк»: с одной стороны, реликтовое излучение оказалось неожиданно мало (на несколько процентов) отклоняющимся от идеальной масштабной инвариантности в распределении горячих и холодных пятен, а с другой — гравитационные волны полностью отсутствовали. Впервые более чем за 30 лет простейшие инфляционные модели, включая общепринятые и вошедшие в учебники по космологии, оказались настолько несостоятельными относительно наблюдательных данных. Конечно, теоретики стремительно бросились латать инфляционное полотно, порождая, однако, только новые трудности.

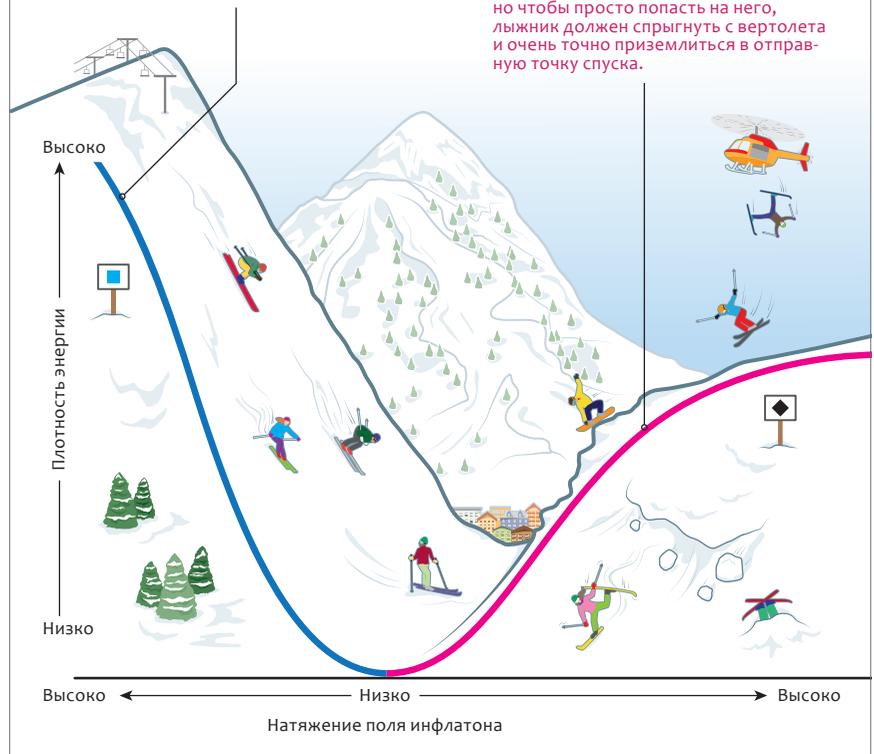
ДВЕ ВЕРСИИ ТЕОРИИ

Инфляция и горнолыжный спуск

Если инфляция произошла, то она должна была быть запущена гипотетической инфляционной энергией, вызываемой так называемым полем инфлатона, пронизывающим пространство. Различные варианты теории инфляции предлагают разные соотношения между натяжением поля инфлатона и плотность инфляционной энергии. Два из таких соотношений приводятся на рисунке. Первая кривая (синий) описывает традиционную модель инфляции из общепринятого учебника по космологии. Вторая кривая (розовый) показывает ситуацию, требующую специальных начальных условий и представляется очень маловероятной по сравнению с первой. Рядом с кривыми приводятся аналогии со спуском по горнолыжным склонам, из которой видно, почему второй класс моделей — а это как раз то, что не противоречит имеющимся наблюдательным данным, — довольно сложен для реализации.

Устойчивый равномерный склон, отражающий резкий рост плотности энергии, соответствует традиционной модели инфляции, напоминая хорошо предназначенный для катания на лыжах холм. Такие модели дают правдоподобную картину инфляции, потому что они начинают с разумных значений инфляционной энергии (аналогично удобной точке старта на горнолыжном спуске, которая показана на рисунке), а потом стабильно и предсказуемо развиваются (как плавный спуск лыжника). Однако такая картина противоречит наблюдательным данным.

Такие варианты инфляционной теории носят название «модели с плато». Для возможности своей реализации они требуют крайне маловероятных начальных условий: поле инфлатона должно принять единственно нужное начальное значение в единственно возможный момент времени для запуска инфляционного «скачивания». Такие модели схожи с горнолыжным склоном, который мало того что грозит опасностью внезапного схода лавины, но чтобы просто попасть на него, лыжник должен спрыгнуть с вертолета и очень точно приземлиться в отправную точку спуска.



Лыжник на вершине холма

Для того чтобы в полной мере оценить вклад результатов эксперимента «Планк», следует более детально взглянуть на инфляционные модели, выдвигаемые защитниками инфляционной концепции. Инфляционная энергия мыслится возникающей из гипотетического поля, называемого инфлатоном, аналогично электромагнитному полю, которое пронизывает пространство и обладает натяжением (или некоторым значением) в каждой точке пространства. Поскольку инфлатон — гипотетическое поле, то теоретики могут

свободно допустить его таким, чтобы оно обладало гравитационными силами отталкивания, что и вызывает ускоренное расширение Вселенной. Плотность инфляционной энергии в данной точке пространства задается натяжением поля в этой точке. Связь натяжения поля и плотности энергии может быть представлена в виде кривой на графике, которая напоминает холм. Каждая из сотен имеющихся инфляционных моделей обладает особым видом склона этого холма. Склон определяет свойства Вселенной после окончания инфляционной стадии — например, будет ли Вселенная плоской и гладкой или нет, будет ли обладать масштабно инвариантными разновидностями температуры и плотности или нет.

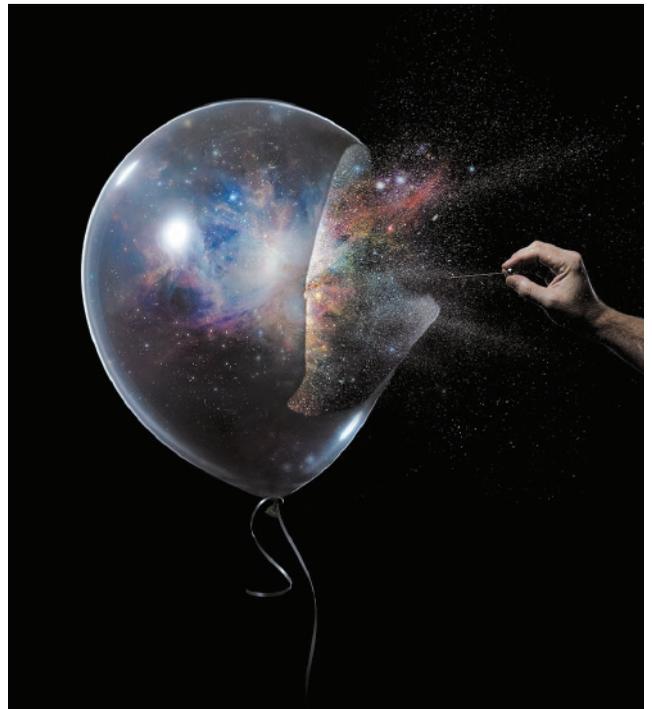
С момента публикации данных «Планка» космологи как будто ощутили себя в нижеследующей ситуации. Представьте, что вы живете в изолированном городе, расположенном в долине, окруженной холмами. Единственные люди, которых вы когда-либо видели в городе, — это его жители. И вот однажды в городе появляется незнакомка. Каждый, разумеется, хочет узнать, как гостя добралась до города. Вы задаете этот вопрос городскому сплетнику (другими словами, местному оракулу), который утверждает, что она приехала на лыжах. Веря сплетнику, вы рассуждаете, что есть только два холма, которые ведут к долине. Любопытно, прочитав путеводитель, обнаружил бы в нем первый холм, до которого можно легко добраться с помощью подъемника. Все трассы с этого холма отличаются плавным спуском, видимость и состояние снега в целом хорошие. А вот второй совершенно иной, он не включен ни в одну из стандартных трасс катания на лыжах. И это не удивительно, потому что он грешит опасностью схода лавин. Один путь вниз в ваш город труднопроходим, потому что он берет начало на плоской гряде, а потом внезапно обрывается на крутом утесе. Кроме того, нет подъемника. Единственный возможный способ прокатиться на лыжах с этого холма — это прыгнуть с самолета на парашюте и приземлиться в определенном месте на хребте (с точностью в несколько сантиметров), а потом скатиться с определенной скоростью. Малейшая ошибка уведет лыжника с трассы далеко в сторону от долины, или лыжник и вовсе окажется в ловушке на вершине холма. В худшем случае сход лавины может начаться до того, как лыжник достигнет гребня, так что все закончится трагически. Если городской сплетник все-таки прав, говоря, что незнакомка прибыла на лыжах, то разумнее предположить, что она спустилась с первого холма.

Безумие — вообразить, что кто-то мог бы выбрать второй путь, потому что шансы успешно достичь города ничтожно малы по сравнению с безопасным спуском в первом варианте.

Однако вскоре вы замечаете кое-что в вашей госте. У нее нет билета на подъемник. Основываясь

на этом факте и продолжая свято верить городскому сплетнику, вы будете вынуждены признать, что путь незнакомки проходил как раз по второму холму. Или, быть может, она вообще не каталась на лыжах, и тогда нужно в первую очередь усомниться в правдивости «оракула».

Продолжим аналогичные рассуждения применительно к космологии. Так, если мнимый оракул сообщил нам, что Вселенная эволюционировала до своего современного состояния, пройдя стадию инфляции, то мы ожидаем, что кривая плотности инфляционной энергии будет подобна профилю холма, описанного в путеводителе. Действительно, у такого холма наиболее простой спуск от вер-



шины к подножию, а форма этого спуска задается наименьшим количеством регулируемых параметров и самыми простыми условиями, позволяющими начаться инфляции. В самом деле, до сих пор почти все учебники по инфляционной космологии представляли именно такой простейший вид кривой для потенциала инфляционного поля. В частности, плотность энергии вдоль этих простых кривых монотонно растет с изменением напряженности поля. Таким образом, можно получить начальное состояние поля инфлатона, для которого плотность энергии есть число, называемое планковской плотностью (в 10^{120} раз больше, чем плотность поля инфлатона в современной Вселенной), то есть обозначает полную плотность энергии, доступной во Вселенной сразу после рождения. С этого удобного начального состояния, в котором единственная форма энергии есть инфляционная энергия, ускоренное расширение могло бы начаться

сразу. Во время инфляции натяжение поля инфлатона должно было бы естественно эволюционировать таким образом, чтобы плотность энергии медленно и плавно уменьшалась по кривой вниз, в долину, где минимум кривой и будет соответствовать современной Вселенной. Эта эволюция поля может рассматриваться аналогично скатыванию лыжника с холма. Все вышеописанное есть теория классической инфляции, описанной в учебниках.

Однако наблюдения «Планка» говорят о том, что такая история не может быть истинной. Простые инфляционные кривые описывают горячие и холодные пятна с большим отклонением от масштабно инвариантной картины, чем наблюдается, и с гравитационными волнами достаточно сильными, чтобы их можно было обнаружить. Если мы будем продолжать настаивать, что инфляция все-таки произошла, результаты «Планка» обязывают инфляционное поле спадать по более замысловатой траектории, подобно профилю второго холма из нашего примера с лыжницей — с высокой опасностью схода лавины и с плоским гребнем, который заканчивается крутым обрывом вниз, в долину. Вместо простого, плавно спадающего профиля эта кривая будет резко «дергаться» (образуя обрывы) от своего минимума до тех пор, пока не выйдет на плато (образуя хребет) при плотностях энергии, которые в миллиарды раз меньше планковской плотности, характеризующей раннюю Вселенную сразу после Большого взрыва. В этом случае плотность инфляционной энергии будет составлять ничтожно малую часть от общей плотности энергии Вселенной после Большого взрыва, слишком малую часть, чтобы сразу привести к ускоренному расширению Вселенной.

Поскольку Вселенная не находится в стадии инфляционного расширения, поле инфлатона может обладать любым начальным значением и меняться с головокружительной скоростью — как лыжник, прыгающий с вертолета. Однако инфляция может начаться, только если поле инфлатона в конечном итоге достигает значения, соответствующего точке вдоль плато, и если поле инфлатона будет меняться очень медленно. Точно так же, как для лыжника очень опасно падать с большой высоты на плоскую грядку с точно определенной скоростью и с последующим плавным спуском вниз, так и для поля инфлатона подобное почти невозможно. Другими словами, очень трудно подобрать скорость так, чтобы началась инфляционная стадия. Чтобы сделать все еще хуже: поскольку Вселенная не находится в стадии инфляции во время рассматриваемого периода после Большого взрыва, когда скорость инфляции замедляется, любые начальные возмущения или неоднородности распределения поля инфлатона будут увеличиваться; когда они вырастут до больших размеров, они будут препятствовать началу инфляционной стадии независимо от эволюции

поля инфлатона — по аналогии с тем, как сход лавины может блокировать лыжницу на гладком спуске вне зависимости от того, насколько удачно был начат спуск после прыжка с вертолета. Другими словами, принимая слова оракула на веру и настаивая на том, что инфляция все-таки произошла, мы получили бы очень странный вывод из данных «Планка», а именно — что инфляция началась с постоянной плотностью энергии, несмотря на все вытекающие отсюда проблемы. Или, быть может, в тот момент стоит поставить под сомнение авторитет оракула.

Мультихаос

В реальности, конечно, никакого оракула в нашем распоряжении нет. Мы не можем просто принять предположение о том, что инфляция произошла, тем более что инфляция не дает простого объяснения наблюдательным особенностям Вселенной. Космологи должны оценивать теории путем применения стандартной научной процедуры. Насколько велика вероятность того, что инфляция произошла, с учетом того, что мы реально наблюдаем во Вселенной? В этом отношении неутешительно то обстоятельство, что текущие данные исключают простейшую инфляционную модель и склоняются к ее усложненным вариантам. Но, по правде говоря, последние наблюдения — это не первая проблема, с которой сталкивается теория инфляции. Скорее, эти результаты придали новый поворот давно назревшим вопросам. Например, мы должны рассмотреть, насколько разумно для Вселенной иметь начальные условия, необходимые для любого типа поля инфлатона вообще. Два невероятных условия должны быть удовлетворены для того, чтобы инфляция началась. Во-первых, вскоре после Большого взрыва существует область пространства, в которой квантовые флуктуации пространства-времени уменьшаются и исчезают и пространство-время начинает подчиняться классическим уравнениям общей теории относительности Эйнштейна. Во-вторых, область пространства должна быть достаточно плоской и обладать достаточно гладким распределением энергии, чтобы инфляционная энергия могла расти и доминировать над другими формами энергии. Некоторые теоретические оценки показывают, что вероятность существования такой области с нужными характеристиками сразу же после Большого взрыва меньше, чем вероятность найти снежную гору, оборудованную подъемником, и ухоженные лыжные трассы посреди пустыни.

Более важно то, что если оказалось бы легко найти область пространства, возникшую после Большого взрыва, плоскую и достаточно гладкую, чтобы инфляция могла начаться, то инфляция стала бы вовсе не нужной. Напомним, что мотивация для внедрения инфляционной стадии — это

объяснение, каким образом современная видимая Вселенная стала такой, какой мы ее наблюдаем. Если для начала инфляции требуются те же самые свойства с той лишь разницей, что они необходимы в меньшей области пространства, то вряд ли такие рассуждения можно назвать прогрессом.

Однако такие вопросы — лишь начало проблемы. Инфляция не только требует трудных для реализации начальных условий — инфляцию невозможно восстановить, если она началась. Это последнее восходит к природе квантовых флуктуаций пространства-времени. Такие флуктуации вызывают напряжение поля инфлатона, поле меняется по пространству. В результате в некоторых областях пространства инфляция уже заканчивается, а в других еще нет. Квантовые флуктуации было принято считать крошечными, однако в 1983 г. теоретики, включая Стейнхарда, пришли к выводу, что большие квантовые скачки в инфляционном поле хоть и редки, но возможны и могут полностью изменить инфляционную историю. Большие прыжки могут увеличить натяжение поля инфлатона до значений, существенно превышающих среднее, приводя к тому, что в таких областях инфляция будет происходить значительно дольше. Хотя большие скачки редки, но области, которые благодаря им подвергаются расширению, достигают размеров, значительно больших соседних областей, и, следовательно, быстро начинают доминировать в пространстве. За мгновения области, где инфляционное расширение прекратилось, окажутся окруженными по-прежнему раздувающимися областями. Затем процесс повторится. В самой большой области натяжение инфляционного поля будет меняться таким образом, что плотность энергии начнет уменьшаться и инфляция будет заканчиваться, но редкие большие квантовые скачки будут продолжать удерживать инфляционное расширение в некоторых областях, создавая еще большие объемы. Этот процесс будет продолжаться до бесконечности.

Таким образом, инфляция длится вечно, генерируя бесконечное количество областей, в которых она закончилась и образовалась отдельная вселенная. Только в таких областях, где инфляция закончилась, темп расширения пространства падает настолько, что могут образовываться галактики, звезды, планеты и жизнь. Наиболее тревожащим следствием такой модели вечной инфляции представляется то, что космологические свойства в каждой области различны из-за случайностей начальных квантовых флуктуаций. В целом большинство вселенных не становятся ни плоскими, ни свободными от деформаций. Распределение вещества не будет гладким. И картина распределения горячих и холодных пятен в анизотропии реликтового излучения не будет масштабно инвариантной. Области будут характеризоваться

бесконечным числом возможных значений параметров, включая в том числе и нашу собственную Вселенную, и никакой из вариантов не будет предпочтительнее другого. В результате получается конструкция, которую космологи называют мультивселенной (мультимиром). Поскольку каждая область может обладать любыми физически мыслимыми законами, концепция мультимира не объясняет, почему наша Вселенная обладает особыми свойствами, которые мы наблюдаем. Все особенности нашей Вселенной оказываются чисто случайными. Возможно даже, что такая картина слишком оптимистична. Некоторые ученые спорят, может ли какая-либо область пространства эволюционировать в видимую нами Вселенную. Вместо вечной инфляции может реализоваться чисто квантовый мир с неопределенными и случайными флуктуациями повсюду, даже в тех областях, где инфляция заканчивается. Авторы хотели бы предложить новый термин — «мультихаос» — как более удачный для описания нерешенного исхода вечной инфляции, заключается ли она в наличии бесконечного множества областей со случайно распределенными свойствами или же в наличии квантового беспорядка. С точки зрения авторов, нет никакой разницы в том, какое из описаний более корректно. В любом случае мультихаос не делает таких предсказаний относительно свойств нашей наблюдаемой Вселенной, чтобы она стала бы более вероятной. Хорошая же научная теория должна объяснять, почему мы наблюдаем именно одно, а не другое. Мультихаос не проходит этот основной тест.

Смена парадигмы

Если принимать во внимание все обсужденные проблемы, предположение того, что инфляция не произошла, заслуживает серьезного рассмотрения. Если мы сделаем шаг назад, то существуют две логические возможности. Либо у Вселенной было начало, называемое Большим взрывом, либо у нее не было начала и вместо Большого взрыва был так называемый Большой отскок — переход от какой-то предыдущей фазы космологического развития к современной расширяющейся фазе. Хотя большинство космологов предпочитают концепцию Большого взрыва, на данный момент нет никакого резона отдавать предпочтение тому или иному названию события, произошедшего 13,7 млрд лет назад. В случае Большого отскока, в противоположность Большому взрыву, не требуется последующего периода инфляции для создания Вселенной современного вида. Другими словами, Большой отскок воспринимается как резкий отход от парадигмы инфляции. Модель Большого отскока дает такой же эффект, как модель Большого взрыва совместно с инфляцией, потому что до Большого отскока процесс медленного сжатия,

растянутого на миллиарды лет, вполне мог сгладить и сделать плоской Вселенную. Может показаться нелогичным, что медленное сжатие обладает тем же свойством, что и быстрое расширение, но есть простой аргумент, показывающий, что так и должно быть.

Напомним, что без инфляции медленно расширяющаяся Вселенная может стать более искривленной, деформированной и неравномерной во времени за счет гравитационных эффектов пространства и вещества. Представьте, что вы смотрите кинофильм, в котором этот процесс запущен вспять: большая, сильно искривленная, деформированная и неоднородная Вселенная постепенно сжимается и становится плоской и однородной. Таким образом, гравитация работает как бы реверсивно, разглаживая пространство и вещество в медленно сжимающейся Вселенной.

Как и в случае инфляции, квантовая физика изменяет картину обычного сглаживания и в модели Большого отскока. Квантовые флуктуации меняют скорость сжатия от точки к точке, поэтому некоторые области испытывают отскок и начинают расширяться и охлаждаться раньше других. Ученые смогли построить модели, в которых температурные флуктуации после Большого отскока зависят от скорости сжатия таким образом, чтобы соответствовать наблюдаемой «Планком» анизотропии реликтового излучения. Другими словами, сжатие до Большого отскока может делать то же самое, для чего была в свое время изобретена инфляция. Вместе с тем теории отскока имеют важное преимущество по сравнению с инфляционными моделями — они не порождают мультихаоса. Когда начинается фаза сжатия, Вселенная уже обладает большими размерами и описывается классической теорией Эйнштейна. Отскок происходит до того, как Вселенная сожмется до таких микроскопических размеров, когда квантовые эффекты станут значимыми. В результате никогда не наступает стадия, описываемая квантовой физикой, и, в отличие от модели Большого взрыва, нет нужды придумывать, как перейти от квантового описания к классическому. Поскольку во время сглаживания нет инфляции, которая вызвала бы появление редких больших квантовых флуктуаций и резкого увеличения объема, сглаживание в процессе сжатия не приводит к появлению многих вселенных. Последние теоретические работы дают представление о механизмах того, как можно было бы провести Вселенную от сжатия к расширению, построив, таким образом, космологию Большого отскока.

Наука без эмпирической проверки?

Учитывая проблемы с инфляционными моделями и возможности космологических моделей с отскоком, можно было бы ожидать оживленных дискуссий среди ученых, акцентированных на том, как

различить эти две теории на основе наблюдательных данных. Однако существует одна тонкость: инфляционная космология, насколько мы сегодня ее понимаем, не может быть оценена на истинность с помощью научных методов. Как обсуждалось выше, ожидаемые выводы инфляционной модели могут быть легко изменены при варьировании начальных условий, при изменении профиля кривой инфляционной энергии или просто замечанием о том, что инфляционная картина приводит к вечной инфляции и к мультихаосу. Каждая по отдельности и все вместе, эти особенности делают инфляцию настолько гибкой, что ни одно наблюдение не сможет ни доказать, ни опровергнуть ее. Некоторые ученые признают, что инфляция непроверяема, но все же не могут от нее отказаться. Исследователи предлагают изменения в самом научном познании путем отбрасывания одного из его основополагающих свойств — проверки наблюдениями или экспериментами. Такое заявление вызвало бурные дискуссии о природе науки и ее возможном пересмотре, продвигая идею новой, неэмпирической науки.

Распространенное заблуждение заключается в том, что эксперименты могут быть использованы для фальсификации теории. На практике опровергнутая теория дает меньше шансов, чтобы как-то ее залатать. Теория становится все более архаичной и искусственно усложненной для соответствия новым наблюдениям и, наконец, доводится до такого состояния, когда ее предсказательная сила практически сводится к нулю. Эта предсказательная сила характеризуется тем, сколько возможностей исключает теория. Чем меньше шансов подправить такую теорию, тем меньшей мощностью она обладает. Теория, подобная модели мультихаоса, не исключает ничего и поэтому обладает нулевой мощностью. Декларирование пустой теории как бесспорного стандарта требует каких-то аргументов за пределами науки. Не считая мнения оракула, единственная альтернатива — это привлечение авторитетов. История учит нас, что это неверный путь.

Сегодня нам повезло вскрыть с помощью наблюдений острые проблемы теории. Тот факт, что наши лидирующие концепции не разработаны, — это историческая возможность для прорыва теорий. Вместо того чтобы закончить историю о ранней Вселенной, мы должны признать, что книга космологии широко открыта. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ Inflationary Paradigm in Trouble after Planck 2013. Anna Ijjas et al. in *Physics Letters B*, Vol. 723, Nos. 4–5, pages 261–266; June 25, 2013.

Милк

Взлет: запуск беспилотника, оснащенного пробоотборниками воздуха над полями, в окрестностях Блэксберга, штат Вирджиния



робы высокого полета

БИОЛОГИЯ

Взяв на вооружение беспилотные летательные аппараты и теорию хаоса, исследователи пытаются выяснить, как микроорганизмы распространяются по всему миру

Шейн Росс и Дэвид Шмале

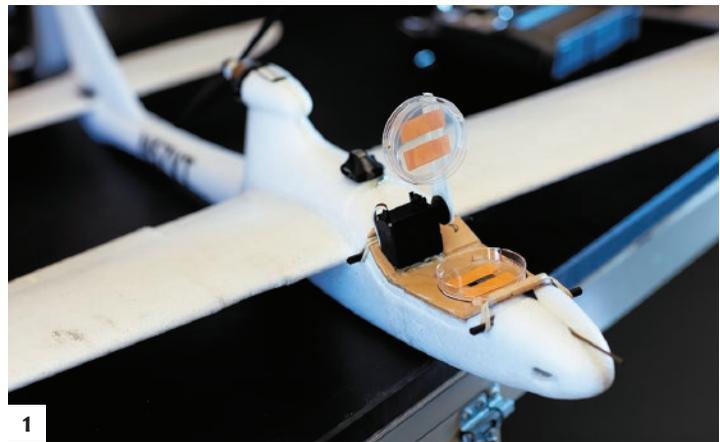
ОБ АВТОРАХ

Шейн Росс (Shane Ross) — доцент кафедры динамических систем и гидродинамики в отделе биомедицинской инженерии и механики Виргинского политехнического института.

Дэвид Шмале (David Schmale) — профессор кафедры физиологии и патологии растений Виргинского политехнического института.



Окружающий воздух изобилует различными микроорганизмами. С каждым вдохом мы поглощаем тысячи бактерий, вирусов и грибов. Уже почти 150 лет назад ученые выяснили, что некоторые из них служат возбудителями болезней у растений, домашних животных и человека. Недавно они узнали, что кроме этого микроорганизмы способны влиять на погоду, повышая температуру замерзания воды и вызывая атмосферные осадки. Удивительно, но некоторые из этих микробов, несомненно волнами глобальных воздушных потоков, пересекают океаны и континенты. Новейшие приборы и технологии позволяют узнать больше о том, откуда эти организмы берутся, как распространяются и каким образом — зачастую совершенно неожиданными способами — влияют на нашу планету во время своих странствий.



Более десяти лет мы вдвоем охотимся на патогенных микроорганизмов, которые наносят колоссальный ущерб посевам зерновых и приводят к миллиардным убыткам, вызывая широкий спектр заболеваний. Пораженные ими растения перестают развиваться и погибают от отравления токсинами. Один из нас (Дэвид Шмале) занимается изучением аэробиологии микроорганизмов, вызывающих болезни у растений, другой (Шейн Росс) разрабатывает математические модели, которые описывают и предсказывают перемещение воздушных масс на большие и малые расстояния. Начиная с 2006 г. мы отслеживаем маршруты распространения фитопатогенов из одной области, региона или континента в другие.

Наш незаменимый помощник — небольшой воздушный флот дронов (беспилотных летательных

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Одна из самых опасных болезней сельскохозяйственных культур — фузариозное увядание (вилт) — поражает в первую очередь ячмень, овес и другие зерновые; с изменением климата ее возбудитель распространяется в новые регионы земного шара.
- Споры гриба, вызывающего фузариоз, перемещаются с воздушными потоками. Чтобы определить, как далеко эти патогены могут улететь, авторы статьи использовали дроны и разработали сложные методы моделирования. Полученные данные свидетельствуют о том, что микроорганизмы перемещаются по воздуху замысловатыми и постоянно меняющимися маршрутами, удаляясь от исходной точки на десятки и сотни километров.
- В будущем эти исследования помогут фермерам уберечь посевы, отслеживая пути распространения фитопатогенов в атмосфере и применяя наиболее эффективные меры средств борьбы с ними.



2

аппаратов), оснащенных пробоотборниками, которые собирают и анализируют популяции микроорганизмов в нижних слоях атмосферы. Каждая проба содержит широкий спектр интересных организмов, многие из которых недостаточно хорошо изучены либо вообще ранее не были известны науке. Для того чтобы разобраться, как им удастся перемещаться в атмосфере на такие большие расстояния, мы разработали новые инструменты и сформулировали новые гипотезы относительно того, каким образом они способствуют выпадению дождя, снега и других осадков.

Наши исследования помогут аграриям следить за перемещением скоплений болезнетворных бактерий в воздухе и прогнозировать направление их движения, чтобы определять, какие поля необходимо обрабатывать или оставить на карантине. Помимо прочего, они помогут фермерам решить, сорта каких растений стоит высевать и когда необходимо проводить обработку фунгицидами или другими



3

План полета. Дроны, используемые для сбора микроорганизмов в нижних слоях атмосферы, оснащены особыми чашками Петри, которые открываются и закрываются по команде с Земли (1). Беспилотник летит по заданному маршруту (2). В лаборатории собранные споры прорастают, образуя колонию *Fusarium* (3).

грибов рода *Fusarium*, вызывающих фузариоз. *Fusarium asiaticum* долгое время представлял серьезную проблему для сельскохозяйственных угодий в центральных провинциях Китая, откуда недавно он начал перемещаться на север. *F. graminearum* — возбудитель фузариоза злаков — распространен

препаратами. В своих исследованиях мы сосредоточились в основном на одном патогене, *Fusarium graminearum*, — грибе, который за последние несколько десятилетий распространился дальше и быстрее всех других частично благодаря изменению климата, а также применению системы нулевой обработки почвы, при которой значительная часть растения остается в земле, что позволяет патогенам безбедно существовать там из года в год. Мы обеспокоены тем, что дальнейшее потепление климата нанесет серьезный удар по обеспечению населения сельскохозяйственными продуктами, и не исключаем быстрого распространения этого и других грибов, которые делают зерна непригодными к потреблению в пищу.

Токсины в нашей пище

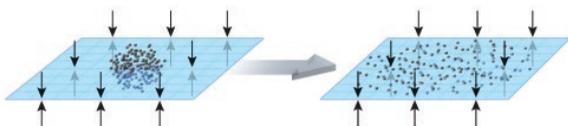
Далеко не все знают, какой вред могут нанести сельскому хозяйству болезнетворные микроорганизмы. Одна из самых опасных болезней растений — фузариозное увядание (вилт), при котором обесцвечиваются колоски пшеницы, ячменя, овса и других зерновых, а в пораженных зернах накапливаются токсичные метаболиты (микотоксины). Попадая в организм людей и домашних животных в большом количестве, они вызывают тяжелое недомогание, нередко сопровождаемое рвотой. Поскольку зерна, содержащие токсины, зачастую бывает невозможно отделить от здоровых, собранный урожай необходимо проверить и уничтожить, если содержание токсинов в нем превышает следовые количества.

Существует около 60 видов

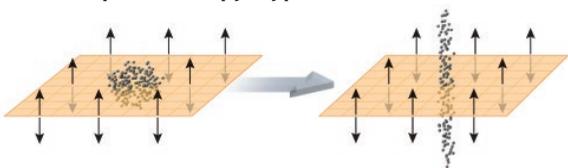
Стены из воздуха

Движение воздуха, как и любой другой текучей среды, создает определенные паттерны — примером может служить Атлантическое струйное течение. Их конфигурация определяется невидимыми транспортными барьерами («стенами») из воздуха, называемыми лагранжевыми когерентными структурами. Эти структуры разделяют на две основные категории: «стены», в основном притягивающие воздушные потоки (и все содержащиеся в них частицы), и «стены», которые обычно отталкивают их. Чтобы определить, рассеется ли в конечном итоге масса частиц, например споры грибов, вдоль «стены» **1** или частицы оторвутся от нее и улетят по обе стороны **2**, используется сложный математический аппарат.

1 Притягивающая лагранжева когерентная структура

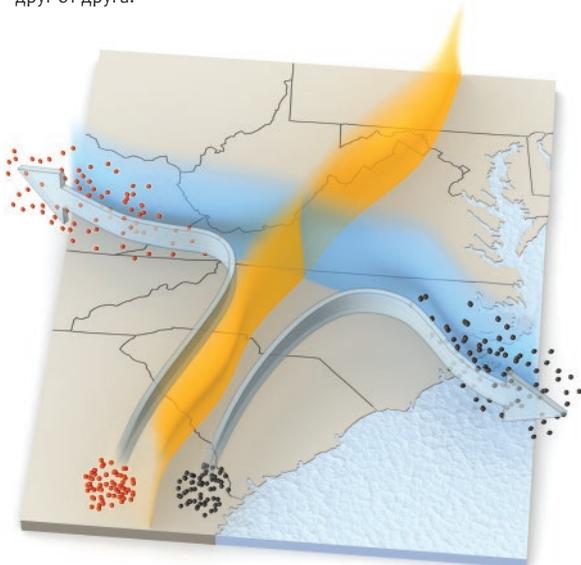


2 Отталкивающая лагранжева когерентная структура



Лагранжевы когерентные структуры создают разные воздушные паттерны

В месте пересечения притягивающей структуры (синий) с отталкивающей (оранжевый) образуется так называемая седловая точка. Из приведенного ниже рисунка видно, как две группы частиц, которые начали движение поблизости друг от друга, попав в седловую точку, расходятся в противоположных направлениях и в конце концов оказываются на расстоянии сотен километров друг от друга.



преимущественно в США, где в 1970-х гг. он нанес серьезный вред посевам кукурузы и стал причиной многочисленных случаев заболевания свиней (в ходе данной эпидемии был открыт микотоксин дезоксиниваленол, вызывающий рвоту и отказ от пищи у свиней). Поскольку бороться с фузариозом крайне трудно, культивирование пшеницы во многих регионах США стало убыточным.

F. graminearum зимуют в растениях, оставшихся на земле после сбора урожая предыдущего года. С наступлением весны и лета на них развиваются грибковые структуры перитеции, через которые по мере созревания выбрасываются споры *Fusarium*. Они попадают на формирующиеся пыльники пшеницы и пестики кукурузы. Споры прорастают, гриб распространяется по всему растению и в конце концов микотоксины накапливаются в зернах. Во избежание перекрестного заражения растений одного урожая растениями другого специалисты рекомендуют не засеивать пшеницей поля, на которых в предыдущем году росли кукуруза или другие зерновые, восприимчивые к фузариозу.

Стены из воздуха

Одна из целей нашего совместного исследования — разобраться, как микроорганизмы преодолевают такие большие расстояния. Первым делом мы решили выяснить, как далеко *F. graminearum* перемещается по воздуху от зараженного поля в течение дня или ночи.

При финансовой поддержке *U.S. Wheat and Barley Scab Initiative* и *Virginia Small Grains Board* мы провели серию экспериментов на высокоурожайных пшеничных полях в штате Виргиния. Изолировав один определенный штамм *F. graminearum* от остальных распространенных в этом штате, мы охарактеризовали его на генетическом уровне и получили возможность отличать его от штаммов, уже присутствовавших на полях, которые мы собирались исследовать. Затем на площади около полугектара мы разбросали стебли кукурузы, зараженные тестируемыми грибами, и расставили чашки Петри, чтобы собрать в них споры *Fusarium*, разлетевшиеся на разные расстояния от места инокуляции.

В одной из серий экспериментов мы обнаружили споры нашего штамма почти в километре от места, где они были рассеяны. Но поскольку область наших исследований ограничивалась территорией радиусом в 1 км, мы не могли сказать, как далеко разлетелись другие споры. Во всяком случае, теперь стало ясно, что споры *Fusarium* способны перемещаться гораздо дальше, чем предполагалось ранее.

Вместо того чтобы расставлять чашки Петри в поле все дальше и дальше от места инокуляции, мы решили выискивать наш штамм *Fusarium*

в воздухе над подопытными полями. Чем выше в небе мы обнаружим микробов, тем скорее сможем перейти к сложным математическим расчетам, используемым метеорологами при прогнозировании погоды, чтобы определить, как далеко микробы могут перемещаться.

Для реализации нашего замысла мы заказали несколько дронов, оснащенных особыми пробоотборниками для улавливания и анализа микроорганизмов во время полета. При финансовой поддержке по программам *Emerging Frontiers* и *Dynamical Systems* Национального научного фонда США мы собрали с помощью дронов некоторое количество спор *F. graminearum*, пролетавших в это время над нашими головами в Виргинии. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что отдельные споры летели по воздуху в течение нескольких часов — достаточно долго, чтобы можно было связать их перемещение с масштабными атмосферными фронтами, охватывающими сотни километров.

Дальнейшее исследование показало, что основную роль в том, как далеко переместятся споры и где они приземлятся, играют короткоживущие невидимые движущиеся воздушные «стены» воздуха. Такие свойства атмосферы, формально известные как лагранжевы когерентные структуры, проявляются всякий раз, когда потоки воздуха (или любой другой текучей среды, например жидкости) сталкиваются друг с другом или огибают какое-либо препятствие, например гору или крыло самолета. От исходного направления и скорости потоков в момент столкновения зависит, куда частицы полетят дальше, создавая конфигурации, которые можно моделировать на компьютере с применением теории хаоса и положений нелинейной динамики.

Как вы, возможно, догадались, эти недолговечные воздушные фронты во многом определяют погоду на ближайший день. Показано, что сложные, постоянно меняющиеся лагранжевы когерентные структуры формируют, сталкивают и разделяют воздушные массы, например над Атлантическим океаном, таким образом, что ураганные ветры либо набирают силу, либо ослабевают по мере того, как проносятся над поверхностью воды. Менее обширные границы раздела воздушных масс определяют, будут ли патогены подниматься вверх или снижаться и кружиться над Землей, приземляясь на одном сельхозугодье и минуя другое. Отслеживая лагранжевы когерентные структуры во времени и пространстве, мы можем судить о том, откуда вероятнее всего следует ожидать нашествия микробов в конкретном регионе и в каком направлении они двинутся дальше. Если наши предсказания будут сбываться, фермеры станут доверять им так же, как они доверяют метеосводкам.



Ловцы микробов: Росс (слева) и Шмале (справа) следят за перемещением микроорганизмов вдоль воздушных потоков

Грибы *Fusarium* — это лишь вершина айсберга. Поскольку микроорганизмы способны перемещаться по воздуху, для них, конечно, не существует никаких границ между странами. Смертоносный вирус стеблевой ржавчины пшеницы (*Ug99*) появился в конце 1990-х гг. в Уганде и мгновенно распространился по всему Африканскому континенту. Фермеры Австралии и Северной Америки обеспокоены его возможным перемещением с постоянными атмосферными потоками через Индийский и Атлантический океаны соответственно. Ржавчину сои принес в 2004 г. в США из Южной Америки ураган «Айван»; зимой этот патоген прячется в южных регионах США, а с наступлением ежегодного периода вегетации по одним и тем же воздушным путям вторгается в северо-восточные области и на Средний Запад страны. Аграрии США даже создали национальную сеть мониторинга, чтобы отслеживать ежегодное сезонное распространение данного патогена.

Многие из упомянутых микроорганизмов не могут совершать такие длительные воздушные путешествия самостоятельно прежде всего потому, что они погибают под действием ультрафиолетового излучения Солнца. Правда, этого можно избежать, «оседлав» частицы пыли. Дейл Гриффин (Dale Griffin) из Геологической службы США и ряд других исследователей зафиксировали несколько

постоянно существующих путей глобального перемещения пыли, тянущихся, в частности, от Африки к Европе и Азии или от Азии к США. По оценкам, ежегодно сотни миллионов тонн пыли из Сахары вместе с микроорганизмами оседают во Флориде. Эта пыль сутками висит в воздухе и служит причиной великолепных закатов, однако порождает серьезные экологические проблемы. Одно из недавних исследований свидетельствует о том, что определенные патогены — возбудители заболеваний некоторых разновидностей кораллов в Карибском море — попадают в этот регион из Африки. С опустыниванием территории на северо-западе Африки вместе с пылью по всей планете разносится все больше губительных для растений микроорганизмов.

Ветер и вода

Путешествуя по воздуху, микроорганизмы не только переносят болезни, но и влияют на погоду над сушей и водой. Известно, что выпадению осадков в виде града, снега и дождя предшествует образование крошечных кристалликов льда в облаках. Что именно формируется вокруг кристаллика — снежинка или капля дождя — зависит от условий окружающей среды, в том числе от присутствия в ней взвешенных частиц, например продуктов неполного сгорания топлива, от чего температура замерзания воды повышается.

В 1982 г. Дэвид Сэндс (David Sands) с коллегами из Университета штата Монтана высказал мнение, что центрами кристаллизации могут служить также бактерии *Pseudomonas syringae*. Дальнейшие исследования позволили установить механизм данного феномена. Некоторые штаммы *P. syringae* вырабатывают поверхностный белок, который связывает молекулы воды, формирующие кристаллическую решетку. На земле эти «льдистые» штаммы могут подморозить посевы зерновых. «А в атмосфере, где температура существенно ниже 0° С, такие частицы, если их достаточно много и они вырабатывают большое количество белка, могут инициировать формирование дождевых капель или снежинок», — полагает Сэндс.

Это вполне здравая мысль. Со времени опубликования статьи Сэндса было обнаружено множество частиц *P. syringae* в пробах дождевой воды и снега. Сказано однозначно, служат ли микроорганизмы основной причиной выпадения осадков или лишь способствуют этому, невозможно. Однако владельцы горнолыжных курортов, не дожидаясь ответа, для получения искусственного снега в периоды оттепелей используют промышленные снегогенераторы (снежные пушки) с добавлением в небольшом количестве частиц *P. syringae*.

Предположения, высказанные Сэндсом, подтолкнули нас к поискам в атмосфере других микроорганизмов, инициирующих выпадение осадков.

Исследования, проведенные Шмале с коллегами при поддержке программы *Dimensions of Biodiversity* Национального научного фонда, показали, что видовое разнообразие микроорганизмов, опосредующих выпадение осадков, гораздо шире, чем предполагалось ранее. Борис Винацер (Boris Vinatzer) и Шмале обнаружили в воздухе и атмосферных осадках в Виргинии множество различных бактерий и грибов, которые вполне могут играть роль центров образования льда, во всяком случае в лабораторных условиях. Разнообразие микроорганизмов, причастных к выпадению осадков, по-видимому, неодинаково в разных частях земного шара. Разобравшись в том, почему тот или иной вид бактерий преобладает в том или ином регионе, мы сможем лучше предсказывать погоду. И, возможно, со временем нам удастся использовать их для создания средств, вызывающих дождь в засушливых регионах или областях, охваченных засухой.

Мы рассчитываем объединить все, что узнали о микроорганизмах, содержащихся в капельках воды, с потенциалом лагранжевых когерентных структур, чтобы описать, что происходит в воздухе непосредственно над поверхностью озер, рек и океанов. Для сбора микроорганизмов над водой мы используем беспилотные плавательные суда и дроны. Математические уравнения, которые описывают процессы перемешивания изобилующего микроорганизмами воздуха с брызгами набегающих друг на друга волн, а также учитывают воздушные потоки или даже всплески на воде от дождевых капель, оказались гораздо сложнее тех, с которыми мы имели дело до сих пор. Вода покрывает примерно 70% поверхности нашей планеты, и мы не сомневаемся, что в ходе будущих исследований обнаружатся новые способы перемещения микроорганизмов из одного конца земного шара в другой. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Маккензи Д. Стена из воды // ВМН, № 9, 2013.
- Mycotoxins in Crops: A Threat to Human and Domestic Animal Health. David G. Schmale III and Gary P. Munkvold in Plant Health Instructor. Опубликовано онлайн в 2009 г. www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Mycotoxins/Pages/default.aspx
- Life in the Clouds. Lesley Evans Ogden in BioScience, Vol. 64, No. 10, pages 861–867; October 2014.
- Highways in the Sky: Scales of Atmospheric Transport of Plant Pathogens. David G. Schmale III and Shane D. Ross in Annual Review of Phytopathology, Vol. 53, pages 591–611; August 2015.
- The Surprising Importance of Stratospheric Life. Chelsea Wald in Nautilus, No. 37, Chapter 1; June 2, 2016. <http://nautilus.us/issue/37/currents/the-surprising-importance-of-stratospheric-life>

Спящие красавицы науки

Некоторые важнейшие открытия могут годами оставаться неочевидными

Эмбер Уильямс

В основе науки лежат открытия, но не менее важными могут быть и «повторные открытия». Исследователи из Индианского университета в Блумингтоне недавно просмотрели 22 млн научных статей, опубликованных в XX в., и, к своему удивлению, обнаружили десятки «спящих красавиц» — исследований, которые годами не привлекали внимания, а затем неожиданно обнаруживались. Главнейшие из них, те, что дольше всего пребывали в забвении, а затем вдруг вызвали наибольший интерес, относятся к областям химии, физики и статистики. По какой причине они

вновь привлекали внимание? Чаще всего к ним обращаются ученые из других областей (например, медицины), ищущие свежие идеи либо возможность проверить те или иные теоретические положения. Аспирант-информатик Кин Кэ (Qing Ke), работавший над этим проектом, говорит, что, вероятнее всего, вследствие роста доступности научной литературы таких «спящих красавиц» будет обнаруживаться все больше.

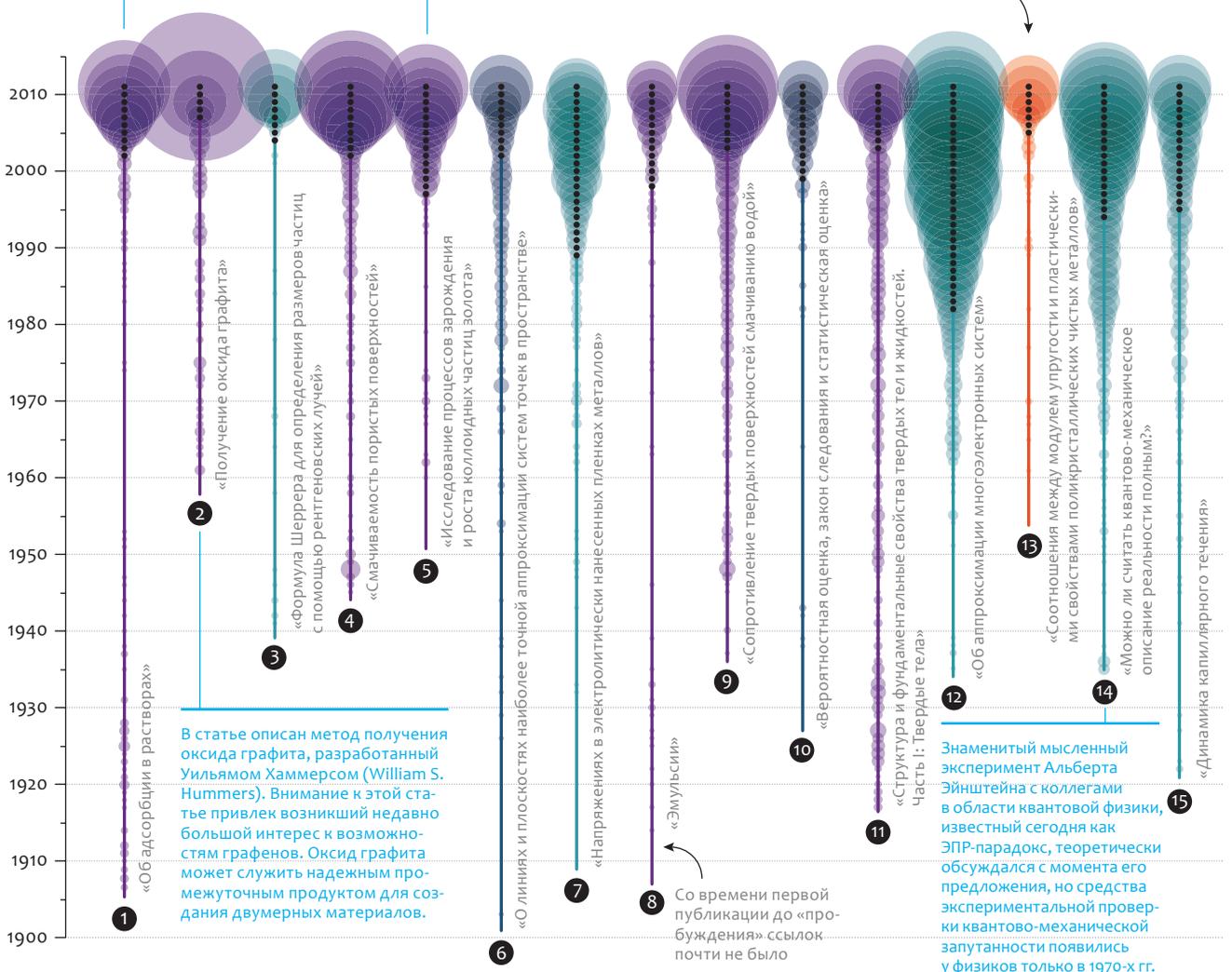
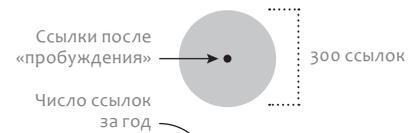
Перевод: И.Е. Сацевич

Здесь Герберт Фрейдлих (Herbert Max Finlay Freundlich) публикует первую математическую модель адсорбции атомов или молекул на поверхности. Сегодня модель адсорбции играет очень важную роль в мерах по восстановлению окружающей среды и избавления от загрязнений в промышленных зонах.

Статья Джона Туркевича (John Turkevich) и его коллег объясняет, как взвесить наночастицы золота в жидкости. Своим «пробуждением» эта «спящая красавица» обязана медицине, где наночастицы золота используются для выявления опухолей и доставки лекарственных препаратов к органам.

15 важнейших «спящих красавиц»

- Физика
- Химия
- Статистика
- Металлургия





МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

ПОБЕДИ

То, что еще недавно казалось фантастикой, сегодня стало реальностью: человеку с терминальными стадиями рака легкого можно продлить жизнь.



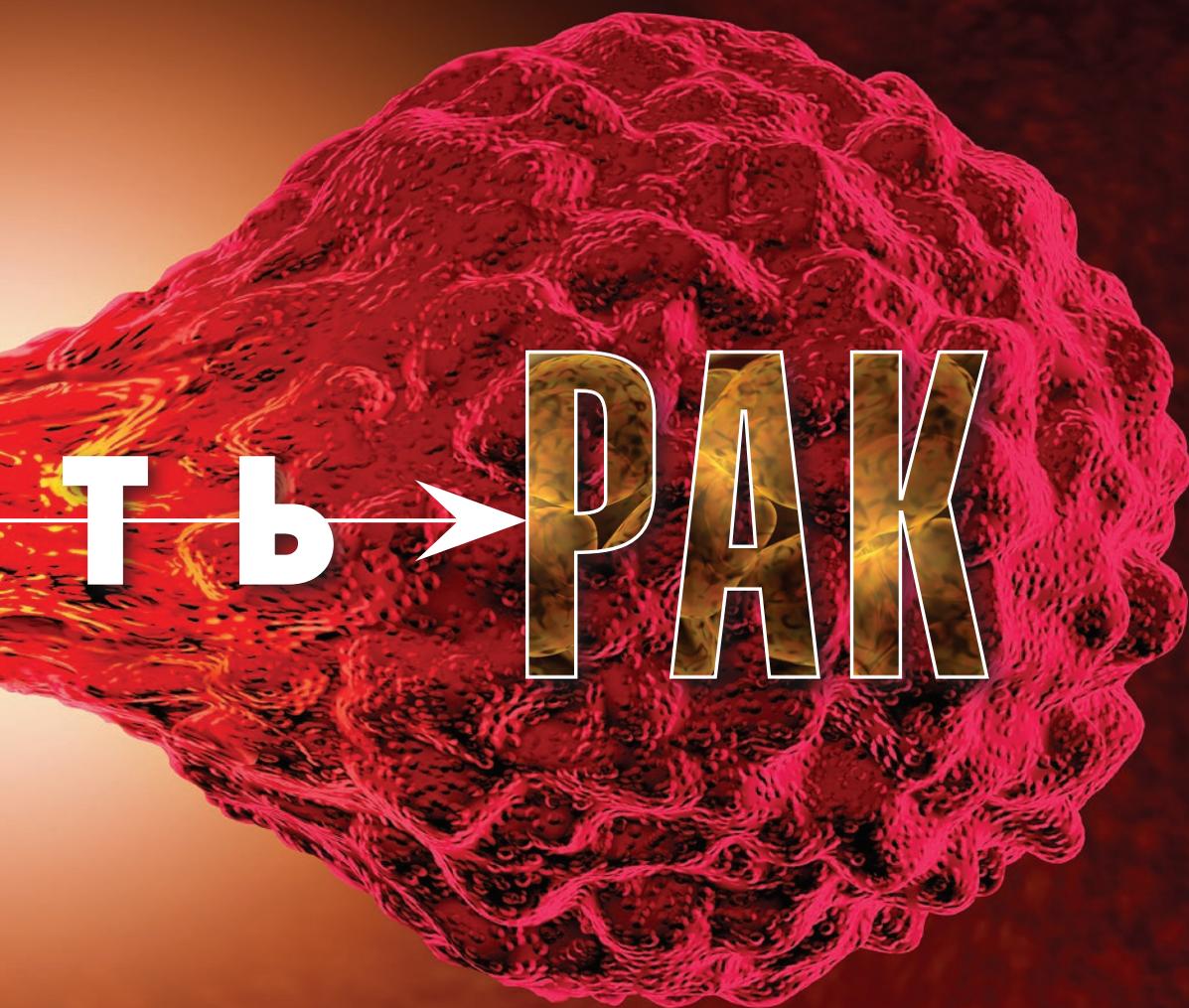
Молодые ученые из Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН **Алексей Александрович Дмитриев** и **Анна Викторовна Кудрявцева** стали лауреатами премии президента РФ за «расшифровку новых механизмов, лежащих в основе возникновения и развития специфического метаболизма злокачественных эпителиальных опухолей». Проще говоря, они сделали важные шаги в понимании природы главного убийцы XXI в. — рака. О том, что это за работа и каково ее прикладное значение, — наш разговор.

Алексей Александрович Дмитриев, старший научный сотрудник Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта:

— Канцерогенез — это сложный многостадийный процесс, в котором задействованы десятки и сотни генов. Мы занимаемся тем, что изучаем, чем на молекулярном уровне злокачественная опухолевая клетка отличается от нормальной эпителиальной. Наш подход характеризуется комплексностью. В каждой клетке есть ДНК, с которой

синтезируется РНК, а с РНК — белок. На каждом из этих этапов существует значительное количество регуляторных механизмов. В наших исследованиях мы стараемся учесть многие из них.

На сегодня мировым сообществом получено колоссальное количество данных о нуклеотидных последовательностях, а также их модификациях, например метилировании ДНК, чем в основном занимаюсь я. Данные о последовательностях нуклеиновых кислот, которые



Улучшение наступает буквально на второй-третий день, и люди в скором времени возвращаются к нормальному образу жизни.

представлены в опухолевых клетках, в большинстве случаев выкладывают в открытый доступ. Крупнейшая в этой области — база международного проекта *The Cancer Genome Atlas (TCGA)*, в которой депонированы данные для тысяч образцов более чем двух десятков видов рака.

Одно из наших достижений — разработка программного обеспечения, которое позволяет на основе анализа данных, представленных в общедоступных базах, делать предположения о механизмах образования и развития злокачественных новообразований, а также связывать молекулярно-генетические и клинические характеристики, предлагать новые маркеры.

— **Как вы это делаете? На мышцах, или у вас имеются какие-то образцы человеческих тканей?**

— Сначала мы анализируем базы данных. Далее идет работа с первичными опухолями российских пациентов — это в основном послеоперационный материал.

— **Любые опухоли или какие-то конкретные?**

— Мы работаем с эпителиальными опухолями. Они самые распространенные и характеризуются высокой смертностью. Например, рак легкого, почки, толстой кишки, яичника, молочной железы. Образцы мы получаем из клиник — в первую очередь это Московский онкологический институт им. П.А. Герцена. Мы анализируем закономерности, обнаруженные при работе с базами данных, и делаем выводы, наблюдаются ли они в популяции российских пациентов либо есть какая-то специфика. То есть существуют ли популяционные особенности или же обнаруженная закономерность универсальна.

— **И к какому выводу приходите?**

— К тому, что необходимы проверка на популяционные особенности и разработка специфичных систем молекулярных маркеров. Молекулярно-генетический анализ опухоли нужен для выбора эффективной схемы лечения. Такой анализ позволяет определить агрессивность опухоли и предсказать ее чувствительность к тем или иным препаратам. Насколько вероятен послеоперационный рецидив?

Как будет протекать болезнь? Потребуется ли химиотерапия или достаточно динамического наблюдения?

— **Такие работы уже ведутся во всем мире. Что принципиально нового сделали вы?**

— До сих пор механизмы образования и развития злокачественных опухолей известны только в общих чертах. Конкретные участники этого процесса изучены далеко не все. Мы добавили более 30 новых онкоассоциированных генов, которые вовлечены в этот процесс.

— **То есть вы внесли важный вклад в понимание природы развития рака?**

— Фактически да. Кроме того, некоторые закономерности, которые, как мы видим, связаны с клиническими характеристиками, мы предлагаем использовать как молекулярные маркеры. Это наша фундаментальная часть. Проверкой на широкой выборке и внедрением должны заниматься другие люди.

Одно из наших достижений — разработка программного обеспечения, которое позволяет делать предположения о механизмах образования и развития злокачественных новообразований

— **А кто-то будет этим заниматься? Не закончится ли все фундаментальной наукой без прикладного применения?**

— Думаю, нет. Вот, например, один из генов, исследованный нами под руководством В.Н. Сенченко, предлагается для использования в клинической практике во всем мире, потому что выяснилось, что экспрессия этого гена, его метилирование ассоциировано с прогнозом рака молочной железы. Доведением до практики занимаются в основном фармкомпания, и я надеюсь, что такая же судьба ждет и остальные результаты наших исследований.

Анна Викторовна Кудрявцева, руководитель лаборатории постгеномных исследований Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта:

— Наша работа — это масштабное фундаментальное исследование, которое раскрывает многие аспекты канцерогенеза, то есть процесса перерождения нормальной клетки в злокачественную.



Кандидат биологических наук А.А. Дмитриев

Важно, что мы рассматриваем этот процесс как комплексное явление, то есть на самых разных этапах и уровнях его формирования. Это позволяет сделать совершенно новые, интересные выводы, которые в дальнейшем могут быть основой для прикладных направлений, для внедрения в практику.

— **Какие выводы уже сделаны?**

— Например, вывод о том, что некоторые маркеры мы можем использовать для предсказания агрессивности течения заболевания, в частности рака предстательной железы. Кроме того, мы на самом высоком уровне используем уже известные методы, которые применяются за границей, внедряем их в российских условиях, чтобы каждый пациент мог получить все новейшие достижения мировой медицины в обычных клиниках.

Вообще, мы производим некий задел, на основе которого в будущем можно будет разработать что-то действительно новое. В настоящее время персонализированная медицина применяется уже очень широко, и она действительно позволяет,

используя ряд маркеров, давать оценку того, насколько будет эффективен тот или иной препарат. Но не менее важна и фундаментальная исследовательская работа, направленная в будущее.

— Вы говорите, что ищете свой путь для развития отечественной онкологии. Что это за путь?

— Нас интересуют редкие опухоли. Дело в том, что рак толстой кишки, рак легкого или молочной железы, конечно, очень часто встречаются и, с одной стороны, следовало бы обратить внимание на них, поскольку очень много людей ими страдают. С другой же стороны, существует также большое количество редких опухолей, и у людей, которые ими поражены, нет почти никакой возможности получить своевременную диагностику и адекватное лечение. Практически никакой информации о том, как будет развиваться эта болезнь, нет.

— О каких заболеваниях речь?

— Например, сейчас мы занимаемся парагангиомами головы и шеи. В частности, это опухоль каротидного тельца, она же каротидная хемодектома или каротидная парагангиома. Это такая опухоль, которая развивается в зоне раздвоения сонной артерии на наружную и внутреннюю. Она очень опасна своей локализацией. Ее сложно хирургически удалить. Опухоль сдавливает артерию, нарушается мозговое кровообращение, и это приводит к инсульту. Почти нет организаций, которые берутся за ее удаление, потому что нужны междисциплинарные бригады врачей и опытные сосудистые хирурги, так как операция сложная, сопряжена с высокими рисками осложнений и сопровождается массивной кровопотерей.

— И что же хотите сделать вы?

— Мы хотим получить данные о молекулярно-генетических особенностях этой опухоли. Потому что если мы знаем, что эта опухоль имеет склонность к агрессивному течению, то нужно рекомендовать удаление за прилежащим участком артерии и ее пластику. Но в некоторых случаях можно рекомендовать локальное удаление, потому что, скорее всего, рецидива не будет. Было бы здорово найти какие-то маркерные признаки, которые могли бы свидетельствовать о том, какие лекарства, разработанные для других локализаций, могут применяться в этом случае.

— Что за исследование энергообмена в опухоли?

— Этой темой мы занялись примерно десять лет назад. С одной стороны, нарушение энергетического обмена в опухоли — так называемый эффект Варбурга — показано еще в 1925 г., то есть давным-давно. Тем не менее по сию пору для многих опухолей не определено точного механизма, как все это происходит. В каждом виде рака, оказывается, процесс идет по-своему. Более того, двух

одинаковых опухолей не бывает, и даже в пределах одного вида рака каждая опухоль имеет свои особенности. В целом клетки начинают очень быстро делиться, сосуды в них не успевают прорасти, то есть клетки находятся в условиях недостатка кислорода, так называемой гипоксии. И в этих условиях развивается ряд каскадных процессов, что в итоге приводит к нарушению функций митохондрий и активации гликолиза, это путь получения энергии для клетки, но не самый эффективный.

— А если туда подавать кислород?

— Эффект Варбурга в том и заключался. Немецкий биохимик Отто Варбург доказал, что если клетка уже перешла на такой измененный путь энергетического обмена, то даже после появления кислорода в достаточном количестве она уже не может перестроиться. Произошли фатальные изменения. Многие исследователи начали подбирать специальные лекарственные средства, которые могли бы воздействовать на разные этапы энергетического обмена, специфически усиленного в опухолевых клетках, чтобы подавлять его, и таким образом надеяться на то, что раковые клетки начнут гибнуть.

В последний год активно развивается направление, которое показывает, что этот энергетический обмен очень тесно связан с уровнем метилирования генома. К определенным нуклеотидам прикрепляется метильная группа, что не дает гену нормально функционировать с обычной эффективностью. Итак, работа генов контролируется различными механизмами, и важно понять, как они реализуют ту информацию, которая в них закодирована.

Один из таких механизмов регуляции — метилирование так называемой прототерной области генов. Например, при раке толстой кишки есть группа опухолей, около 15%, которые характеризуются очень плотным уровнем метилирования по всему геному. И это имеет клиническое значение: в зависимости от уровня метилирования образцов можно сделать вывод о том, насколько эта опухоль агрессивна. Кроме того, это может дать нам подсказку, какими препаратами можно лечить данного пациента.

— А энергетический обмен?

— Оказалось, что уровень метилирования по геному связан с энергетическим обменом. Правда, до конца этот процесс еще не изучен, но это только дает нам новую широкую область, в которой можно проводить исследования, сопоставляя эти два процесса, которые раньше считали независимыми.

— Вы не приблизились к пониманию того, что вообще становится причиной перерождения клетки из нормальной в раковую?

— Для многих опухолей это уже известно. Для каждой локализации есть какие-то доказанные этиологические факторы. Ну, например, рак



Кандидат биологических наук А.В. Кудрявцева

плевры — это контакт с асбестом, для меланомы — это часто ультрафиолетовый свет, или генетическая природа, как в некоторых случаях рака молочной железы, яичников и желудка. Часто бывает, что воздействует совокупность признаков, которые могут повлиять на развитие болезни. Но в некоторых случаях, конечно, люди совершенно не понимают, отчего это. Говорят про экологию, но здесь совсем темный лес.

Хотя есть и закономерности. Когда это наследственное заболевание, то есть оно закодировано во всех клетках организма, то рак возникает довольно рано, в молодом возрасте. Если же он развивается в пожилом возрасте, то объяснить это довольно просто хотя бы тем, что ухудшается работа системы починки ДНК. Каждый раз, когда у нас делится клетка и генетический материал удваивается, происходит очень большое количество ошибок. Система репарации, восстановления клетки обычно это удаляет. Но с возрастом все начинает работать хуже, в том числе эта система. И если она не очень эффективно справляется со своей

задачей, накапливаются генетические мутации, свойственные именно клеткам, которые не перейдут в дальнейшее поколение. Иногда стоит произойти буквально нескольким событиям в клетке, чтобы она стала злокачественной. Она начинает бесконтрольно делиться, не реагируя на сигналы организма и чувствуя себя как независимый организм. По сути, она начинает жить в теле как паразит, используя его в качестве ресурса для роста и размножения.

— Как вы думаете, удастся когда-нибудь полностью победить рак?

— На нашем веку, думаю, нет. Но вообще идет очень мощное развитие медицины, и в частности онкологии. То, что еще недавно казалось фантастикой, сказкой, сейчас воплощается в реальность. Человеку с терминальными стадиями, например, рака легкого можно очень существенно продлить жизнь. Улучшение наступает буквально на второй-третий день. Люди действительно чувствуют себя намного лучше и возвращаются к нормальному образу жизни. Раньше о таком нельзя

Злокачественная клетка ведет себя как независимый организм. Она живет в теле как паразит, используя его в качестве ресурса для роста и размножения

было даже помыслить. Однако подобного эффекта удастся добиться только для пациентов, имеющих мутации в конкретном гене, — это называется таргетной терапией.

Хотя и опухолевые клетки хитрые. Они находят пути, как обойти все эти препятствия. Они лабильные, у них больше степеней свободы, и к любому таргетному препарату, который мы применяем, где-то в течение года возникает резистентность. Наша задача — подобрать такую серию препаратов, чтобы можно было их применять один за другим и таким образом максимально увеличивать продолжительность жизни пациента.

Сейчас некоторые онкологические заболевания переходят в хроническую стадию. С ним можно жить годами и хорошо себя чувствовать. Это, конечно, очень большое достижение, и во многом оно реализуется именно благодаря таким фундаментальным научным исследованиям, как наше. Поэтому мне сложно сказать, сможем ли мы полностью победить рак, но точно знаю: надо пытаться. ■

Беседовала Наталья Лескова



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

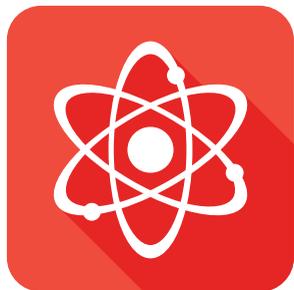
Научная Россия



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



СИНТЕЗ

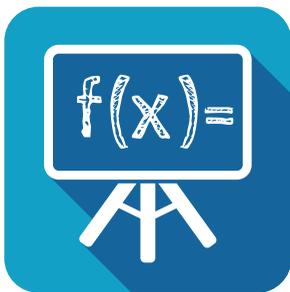


На стыке дисциплин
рождаются новые открытия

ВСЕХ



НАУК



Три года назад на базе Курчатовского комплекса НБИКС-технологий были созданы ресурсные центры, основная задача которых — максимально эффективное использование уникального научного оборудования НИЦ «Курчатовский институт». О том, что удалось сделать за эти годы и какие имеются дальнейшие планы, — наш разговор с руководителем отделения ресурсных центров и руководителями конкретных направлений.

Олег Владимирович Акилин, заместитель руководителя Курчатовского комплекса НБИКС-технологий — руководитель отделения ресурсных центров НИЦ «Курчатовский институт»:

— Идея создания ресурсных центров принадлежит президенту НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Ковальчуку. Ресурсные центры — это инструментальная составляющая исследовательской инфраструктуры Курчатовского института, предназначенная для выполнения широкого круга исследований, измерений и технологических работ. Сама специфика подразделения, в котором мы работаем, — Курчатовского комплекса НБИКС-технологий — предполагает конвергенцию в исследованиях, когда биологи взаимодействуют с физиками, физики с химиками, химики со специалистами в информационных технологиях, что приводит к объединению знаний из разных областей науки, использованию разнообразных технологий и оборудования для достижения единой цели. Этим объясняется и структура отделения ресурсных центров. Оно состоит из восьми подразделений, отражающих основные направления исследований, проводимых в НБИКС-комплексе. Прежде всего, это создание антропоморфных систем, разработка природоподобных технологий.

Изначально, когда формировался Курчатовский комплекс НБИКС-технологий, установки и приборы находились в научных подразделениях. Но, поскольку оборудование очень сложное, требующее постоянного внимания специалистов высокого класса, мы пришли к идее создания специализированного подразделения, нацеленного именно на работу с этими научными установками.

Например, обучение работе на современных микроскопах занимает до пяти лет послевузовской подготов-

ки! Некоторые же приборы требуют объединения усилий нескольких специалистов, иногда и целых коллективов. Для этого нужно проходить систематическое обучение, повышать квалификацию, участвовать в профильных конференциях, связанных с изучением современных методик. Словом, необходима координация этой деятельности. И ресурсные центры отвечают именно за это.

В начале нашей работы мы ориентировались на выполнение исследований только в рамках



Руководитель отделения ресурсных центров НИЦ «Курчатовский институт» О.В. Акилин

Курчатовского комплекса НБИКС-технологий. Но постепенно расширили сферу деятельности и сегодня работаем со всеми подразделениям Курчатовского института. Напомню: наш национальный исследовательский центр объединяет несколько крупных институтов в Москве, Протвине, Гатчине и Санкт-Петербурге, и все они тоже имеют возможность пользоваться нашей инфраструктурой. Безусловно, это очень удобно и востребовано.

Задача нашего отделения — организовать эффективную и бесперебойную работу оборудования в режиме коллективного пользования. Это подразумевает не только проведение самого исследования, но и организацию ремонтных, сервисных работ, поверки оборудования, то есть поддержание инфраструктуры в работоспособном состоянии. неполадки или поломки, от которых никто не застрахован, мы исправляем максимально быстро благодаря налаженным контактам с нашей инженерной службой и подрядными организациями.

Одна из важных задач — отработка новых методик, а иногда и выработка нестандартных подходов на основе известных методик, но для новых применений. Например, сейчас и гуманитарии используют физические методы в своих исследованиях. Поэтому мы разрабатываем методики для социогуманитарного направления — для исследования археологических образцов и артефактов различных эпох.



Рентгеновские приборы видят внутреннюю структуру различных объектов

Все эти сложные исследования и измерения должны проводить высококвалифицированные специалисты, значит, нужно подумать о системе их подготовки и повышения квалификации. В этом плане наша уникальная инфраструктура очень полезна и для обучения молодых кадров. У нас организована непрерывная подготовка начиная от школьников, затем студентов, аспирантов и до специалистов из других институтов.

Таким образом, существуют три важные составляющие деятельности ресурсных центров, на которых основана наша работа: инфраструктура, кадры и эффективность.

Сейчас в ресурсных центрах сосредоточено более 600 единиц современного оборудования, необходимого для исследований, измерений самых разных типов и уровней сложности. Некоторые наши приборы исключительны не только для России. В частности, новейшие электронные микроскопы для биологических исследований установлены всего в двух-трех лабораториях мира. У нас работают также уникальные линейки оборудования для нейрокognитивных исследований. При этом мы постоянно развиваемся, внедряем новые методики.

Каждый месяц мы выполняем от 400 до 500 заявок от научных подразделений, как внутренних, так и внешних.

В нынешнем году заканчиваются реконструкция помещений и создание не имеющего аналогов комплекса экспериментальных моделей. Это виварий, которым мы по праву гордимся. Уверен, что он будет одним из лучших в России. Уникален он как по количеству и видам животных, так и по качеству применяемых в нем методик и выполняемых исследований. Условия содержания животных там будут на самом высоком уровне, в соответствии с требованиями GLP.

Дело в том, что все исследования на животных предварительно получают одобрение в комитете по биоэтике. Эксперты проверяют, соответствуют ли проводимые эксперименты действующим нормативным документам, чтобы минимизировать вред, наносимый животному, окружающей среде и людям, работающим с этим животным.

Еще одно перспективное направление — работа с древней ДНК. Мы планируем исследовать археологические образцы и палеонтологические останки, что требует определенных условий, включая специальные чистые помещения, а также новейших методик. Отмечу, что такого рода исследования в нашей стране пока не проводились.

Сергей Александрович Тихомиров, руководитель Ресурсного центра лабораторных рентгеновских методов:

— Все мы с детства знаем про рентген. Кто-то из опыта, связанного с посещением больницы, кто-то из курса физики. А у нас, можно сказать, такой

же рентген, как в травмпункте, но подход к сбору информации, реализованный на приборах, несколько иной.

В нашем ресурсном центре представлены дифрактометры, спектрометры, на которых различными методами, такими как порошковая дифрактометрия, рентгенофлуоресцентный и фазовый анализ, высокоразрешающий рентгеновский метод, можно углубленно изучить и дополнить имеющиеся знания об объектах. Проще говоря, мы помогаем ученым увидеть структуру изучаемого материала. Неважно, где он применяется — в медицине, строительстве, сталелитейном производстве или для микро- и наноэлектроники. Рентген важен для всех научных областей, потому что позволяет понять структуру вещества или ткани неразрушающими методами. Это важно также при создании материалов с заданными характеристиками.

Уникальность нашего ресурсного центра в том, что мы обладаем набором рентгеновских аппаратов, которые могут работать с различными веществами, будь то биологические, полимерные вещества, сплавы металлов или материалы наноэлектроники, или сверхпроводящие материалы.

Большое подспорье в исследованиях — такая уникальная для нашей страны мегаустановка, как синхротрон, работающий в Курчатовском институте. Это дает колоссальные возможности для проведения изысканий на максимально высоком уровне.

Наши рентгеновские аппараты могут работать с различными веществами, будь то биологические, полимерные вещества, сплавы металлов или гетероструктурные материалы

Алексей Николаевич Кухтенков, руководитель Ресурсного центра ядерно-физических методов измерения:

— В нашем ресурсном центре существуют два направления. Первое — исследования на позитронно-эмиссионном томографе. С этой целью создана технологическая площадка для производства ультракороткоживущих радионуклидов, незаменимых для ранней диагностики заболеваний. Позитронно-эмиссионная томография — это метод, который позволяет не только выявлять онкологические и кардиологические заболевания на самых ранних



Проводятся исследования на уникальном просвечивающем электронном криомикроскопе

стадиях, но и прогнозировать риск их возникновения. Разработка и внедрение этих методов считаются передним краем медицинской науки, основой медицины будущего. Второе направление — исследования когнитивных функций на ЯМР-томографе для понимания принципов функционирования мозга человека.

Михаил Юрьевич Пресняков, руководитель Ресурсного центра зондовой и электронной микроскопии:

— На сегодня центр электронной и зондовой микроскопии, пожалуй, один из самых оснащенных. Если два года назад мы занимались в основном материаловедческими задачами, то с появлением двух суперсовременных криогенных микроскопов мы вступили в очень интересное фундаментальное направление структурной биологии. Именно здесь, на стыке дисциплин, рождаются новые открытия. Для того чтобы получить данные о структуре белка с помощью нашего криомикроскопа, не имеющего аналогов в России, мы должны уметь их интерпретировать. Поэтому в группе обязательно должен быть микробиолог. Для того чтобы обработать полученные данные и собрать трехмерную модель белка, нам необходим специалист, который профессионально общается с компьютером, то есть программист. И, конечно, не обойтись без физика. Это и есть взаимодействие разных наук — конвергенция.

Что касается просвечивающей классической электронной микроскопии для материаловедческих задач, мы исследуем очень широкий спектр



С помощью магнитно-резонансного томографа 3 Тл можно получить высокоинформативные МР-изображения тканей и органов тела

объектов — от электроники, спинтроники до предметов культурного наследия, например в археологии. Естественно-научные методы позволяют нам определить датировки артефактов.

На мой взгляд, важно и воспитание молодых кадров. Мы тесно сотрудничаем с Физтехом. Ребята уже со второго, третьего курса слушают лекции, которые читает наша научная группа, изучают устройство приборов, выполняют лабораторные работы на микроскопах. Таким образом, они своими глазами видят, какая интересная исследовательская работа их ожидает в Курчатовском институте. А потом лучшие из них смогут прийти к нам уже в качестве молодых сотрудников, аспирантов.

Андрей Вячеславович Емельянов, руководитель Ресурсного центра электрофизических методов и Ресурсного центра оптической микроскопии и спектроскопии:

— В Ресурсном центре электрофизических методов мы исследуем и измеряем электрофизические, магнитные, гальваномагнитные, теплофизические характеристики материалов различных структур. Где это может применяться? По сути, в любых повседневных устройствах микроэлектроники: телефонах, телевизорах, компьютерах. Это используется также в транспортной, ядерной энергетике, в различной альтернативной генерации — солнечных и ветровых батареях. Мы проводим комплексные исследования всех этих свойств. Одно из основных наших направлений — разработка и создание различных устройств для новой электроники. Во-первых, это спинтроника, основная идея которой — создать спиновый транзистор, основанный на новом принципе работы. Второе

актуальное направление — разработка мемристоров. Это сопротивление с эффектом памяти, которое позволяет создать аналог биологического синапса. Не секрет, что сегодня существуют различные теории работы головного мозга. Одна из них говорит о том, что нейроны как вычислительные процессоры связаны друг с другом с помощью синапсов. То есть мозг — это вычислительный процессор со сверхпараллельной архитектурой. Именно поэтому он так эффективно работает. Мы пытаемся реализовать эти принципы в «железе» и создать подобие человекоподобной системы — своего рода искусственный интеллект. И определенные успехи уже есть.

Ирина Юрьевна Зарайская, руководитель Ресурсного центра нейрокognитивных исследований:

— По сути, наш ресурсный центр призван обеспечить экспериментальными исследованиями нейробиологию — довольно новую для Курчатовского института область, которая занята исследованиями мозга. Ресурсный центр очень хорошо инструментально обеспечен. Мы можем проводить исследования как на отдельных нейронах, так и на культурах нейрональных клеток, выращиваемых на электронных матрицах. А это значит, что по мере созревания такой нейрональной культуры есть возможность регистрировать ее электрическую активность, чтобы дальше проводить исследования по обучению нейрональных культур. Это искусственно выращенные нейронные сети, аналог тех нейроконнектомов, которые существуют в целостном мозге.

Следующий этап — это возможность проведения экспериментов на животных. Благодаря нашим научным подразделениям собрана замечательная коллекция животных — моделей для изучения нейрокognитивных процессов в мозге с возможностью их визуализации, в том числе прижизненной.

Другое наше направление — это линейка поведенческих тестов для фенотипирования животного: нейрологического, физиологического и когнитивного. Для этого в ресурсном центре собрано уникальное оборудование, позволяющее оценивать разные виды обучения и памяти животных. Большинство таких систем у нас автоматические. Поэтому исследователь имеет возможность получения большой базы данных о двигательной активности, питании животного, его весе и способности к обучению. Эти модели не только очень хороши для фундаментальных нейробиологических исследований, но и в том числе имеют высокую ценность для прикладных задач, в частности для

фармакологии или клиники. В настоящее время мы выполняем отдельные виды доклинических исследований, а в ближайшее время планируем полный спектр.

Вячеслав Николаевич Костромин, руководитель Ресурсного центра органических и гибридных материалов:

— Наши основные задачи — исследования и прикладные разработки в области структурного материаловедения. Ресурсный центр представляет собой уникальный комплекс современного оборудования, изначально собранный для исследования полимерных материалов, и охватывает большое количество методик. Мы проводим механические испытания образцов на одноосное растяжение, сжатие, статический сгиб в широком диапазоне температур. Доступно также проведение реологических измерений с помощью капиллярного и ротационного реометров. В центре реализована методика определения проницаемости по кислороду.



Роботизированный комплекс для кристаллизации белков

Одна из важных особенностей центра — возможность собственного изготовления опытных образцов: композитных, многокомпонентных и наполненных полимерных материалов при различных температурах и времени смешения. Таким образом, вся линейка оборудования позволяет исследовать исходный, а затем модифицированный материал.

Наш коллектив ведет разработку биоразлагаемых штифтов для остеосинтеза, ортопедии,

хирургии, которые не требуют повторной операции для их удаления. У нас разрабатывают также перевязочные нетканые материалы, раневые и ожоговые покрытия из ультратонких волокон. На оборудовании ресурсного центра были исследованы и искусственные матрицы трахей и сосудов. Такие перспективные изыскания создают фундаментальную и практическую базу для создания синтетических органов и тканей — актуального направления медицины будущего.

Павел Менделеевич Барановский, руководитель Ресурсного центра молекулярно-клеточной биологии:

— Этот ресурсный центр создавался с перспективой получения диагностических или лекарственных препаратов, которые могут стать прототипами для доклинических исследований. У нас есть геномный комплекс, с помощью которого мы можем секвенировать любой ген, выделить его из общей генетической массы. Мы обладаем оборудованием, которое позволяет клонировать этот ген, наработать рекомбинантный белок, очистить его, установить его свойства. Используем уникальное оборудование — роботизированный комплекс для кристаллизации белков и определения их пространственной структуры. Иначе говоря, мы можем отследить характеристику метаболитов белка и провести его доклинические исследования, понять, как он воздействует на иммунную систему. С помощью новейшего комплекса — микрофлюидной установки — мы можем получить наночастицы с заданными свойствами, поместить их в определенный белок и заставить лечить заболевание, например рак.

Наши исследования важны не только для фармакологии или медицины, но и для археологии. Получены очень интересные результаты по изучению исторических артефактов. Скажем, нам удалось пролить свет на тайну средневековых сфероконусов, найденных на территории Татарстана. Это конусообразные сосуды с узким горлышком, точного назначения которых археологи не понимали. Была версия, что туда насыпали порох и использовали как бомбы. А наши ученые исследовали вещество черного цвета с внутренней поверхности стенок этого сосуда, и оказалось, что это смола хвойных пород — живица. Она обладает антисептическими и заживляющими свойствами. По всей видимости, эти сфероконусы были своеобразными переносными аптечками. Такое вот неожиданное, но интересное и важное применение наших возможностей: ведь речь идет о нашей истории, а значит, о фундаментальном познании того, кто мы, зачем пришли в этот мир, какими были наши предки. ■

Беседовала Наталья Лескова



СТРАСТИ **ПО БЕРИЛЛИЮ**

Мы продолжаем начатый в предыдущих номерах журнала рассказ о работах ученых Томского политехнического университета. Сегодня речь пойдет о редком, но чрезвычайно важном металле бериллии. Россия стоит на пороге бериллиевого голода. О том, как сотрудники ТПУ помогают решить эту проблему, нам рассказал проректор по научной работе и инновациям доктор технических наук, профессор **Александр Николаевич Дьяченко**.

— Александр Николаевич, зачем нам вообще нужен бериллий? Как-то обходились раньше без него?

— Обойтись можно без всего, но вот без бериллия человек последние 70 лет не обходился. Он применяется во многих областях промышленности. Самые распространенные — пружинные механизмы и бериллиевые бронзы как токопроводящие элементы. Металлический бериллий применяется в аэрокосмической и атомной технике. Современные технологии без этого металла просто невозможны.

— Космос от рядового потребителя далек, атом — тоже. А в бытовой технике бериллий используется?

— Бериллий — уникальный металл. Он в полтора раза легче алюминия и в девять раз его тверже. Изделия из него в 13–15 раз меньше и легче, чем из алюминия. Он используется практически везде, где используется медь. Медь сама по себе отличный металл, но, если в нее добавить хотя бы 0,5% бериллия, у нее проявляются совершенно удивительные свойства. У пружины в 1 тыс. раз увеличивается количество сжатий-разжатий. Если обычным гаечным ключом стукнуть по гайке, выбивается искра. Использование таких инструментов небезопасно, а иногда и вообще невозможно. А инструменты из бериллиевой бронзы не искрят.

— В бериллиевой бронзе медь заменена на бериллий?

— Нет, бериллий там используется как добавка. Есть медно-бериллиевые бронзы, есть алюмо-бериллиевые бронзы. Спектр изделий, в которых используется бериллий, достаточно широк. В чистом виде его применяют, например, в рентгеновской технике: окошки, из которых выходит рентгеновский луч, сделаны из бериллиевой фольги. Мы

используем этот удивительный металл, часто об этом даже не подозревая. Когда проходим флюорографию, мы не думаем, что рентгеновский луч идет через бериллиевую пленку. Когда мы пользуемся сотовой связью, интернетом или смотрим



Проректор ТПУ по научной работе и инновациям доктор технических наук, профессор А.Н. Дьяченко

телевизор, не задумываясь, что в космическом спутнике, передающем сигнал, есть бериллиевые детали. Когда включаем электричество, не думаем, что ток идет от атомной электростанции, где в ядерном реакторе тоже используются бериллиевые изделия. Бериллий невидим, но он незаменим.

— Иначе говоря, если в автомобильные рессоры не добавлять чуть-чуть бериллия, машина будет ездить, но значительно меньше по времени?

— Именно так. Она может стать даже чуть-чуть дешевле, потому что в ней не будет дорогого бериллия, но рессоры в ней будут служить в два раза меньше. И на их частой замене вы потратите денег в разы больше.

На старых запасах

— Если бериллиевым технологиям уже столько лет, а бериллиевое производство имеет такое большое значение, значит, у нас все это есть и развивается. Тогда в чем проблема?



Добыча бериллия

— Бериллиевая промышленность в СССР была организована в 50-е гг. прошлого века. До 1990 г. в нашей стране было собственное производство бериллия, которое после 1990 г. оказалось в Республике Казахстан. Последние четверть века мы покупаем этот металл в основном в Казахстане. Без бериллия наша промышленность никогда не оставалась, мы всегда его использовали, но это был уже бериллий импортный.

— Он и добывается, и перерабатывается в Казахстане?

— Нет. Добывался бериллий на Ермаковском месторождении в Бурятии и на Малышевском — в Свердловской области. Дальше сырье обогащалось и бериллиевый концентрат перевозился

в Усть-Каменогорск на Ульбинский металлургический завод, где из него и производили металлический бериллий, гидроксид и оксид бериллия или бериллиевые бронзы.

— То есть бериллиевую руду добываем мы, обогащаем ее мы, а уже до готового продукта ее доводят в Казахстане и нам же продают?

— Не совсем так. Добывали руду во времена СССР. После раздела советского имущества все бериллиевое сырье, которого к тому времени было добыто с большим запасом, и все обогащенные концентраты были перевезены на Ульбинский металлургический комбинат. Дальше УМЗ использовал ранее добытый советский бериллиевый концентрат. И до сих пор производит бериллий из этого сырья. Собственной добычи в Казахстане нет.

Сейчас запасы подходят к концу. Когда сырье закончится, на чем будет работать завод, неизвестно. Но это еще полбеды. Главная для нас проблема заключается в том, что поскольку 25 лет бериллиевое сырье было не востребовано, на месторождениях закрылась его добыча. Сейчас какая-либо перерабатывающая инфраструктура там вообще отсутствует. В России сегодня бериллиевое сырье не добывается, хотя есть месторождения, есть закрытые ныне горно-обогатительные комбинаты. Это все надо восстанавливать.

— Иначе мы можем столкнуться с бериллиевым голодом?

— Однозначно мы с ним столкнемся. Сырье вскоре закончится, добыча в России отсутствует, и мы будем вынуждены пользоваться импортным сырьем. Сырье добывают три страны: Китай, США и Мозамбик.

— При таком небольшом количестве поставщиков есть риск нарваться на монопольный сговор и, как следствие, на очень высокие цены.

— Конечно, стоимость бериллия для нас может подскочить в несколько раз.

— С другой стороны, бериллий — токсичный металл. Следовательно, его добыча и переработка — удар по экологии. Может, лучше пусть его делают в Китае и в Америке, а мы будем покупать готовый продукт? Дорого, зато без вреда для природы.

— Покупать в Китае и в США, конечно, можно все. И это нормальный подход для стран третьего мира. Не будем обижать эти страны, но там, где люди живут в хижинах, там ничего не производят, все покупают за рубежом. Если это наш путь, то — да, это интересное направление, способствующее идеальной экологии. Можно жить в избах, шалашах или в землянках, одеваться

в шкуры или вообще не одеваться, жить в полном единении с природой. Но, я думаю, это не российский подход. К тому же у нас нет выбора: мы не можем, как южные страны, жить просто так, любуясь миром. Хотя бы потому, что у нас достаточно суровый климат.

Далее: не надо забывать, что у нас жесткая политическая обстановка. В любой момент нам могут отказаться продавать все что угодно, в том числе и бериллий. Россия при таком подходе просто не выживет. Мы обречены на развитие самых современных технологий. Это единственный способ, при котором наша страна может достойно существовать, а россияне — достойно общаться друг с другом и со всем миром.



Ермаковское месторождение в Бурятии

На новых принципах

— **Есть еще вопрос технологий. Подозреваю, что за четверть века они сильно изменились, а в Казахстане остались на уровне конца 1980-х...**

— Даже глубже. В конце 1980-х гг. готовился технологический прорыв, образовался новый технологический уклад, технологии интенсивно менялись. Во всех странах, кроме, к сожалению, СССР.

— **Нам тогда было не до того.**

— На УМЗ производство бериллия началось в 1951 г. Каких-то серьезных технологических изменений за весь последующий советский, а тем паче постсоветский период не было. Можно сказать, что сегодня завод работает по давно устаревшим и крайне нерентабельным технологиям середины прошлого века.

— **Как Томский политех пришел к вопросу переработки бериллия?**

— Томский политех не пришел, он всегда был в этой теме. Начиная с запуска первого бериллиевого производства на УМЗ основной инженерный корпус составляли выпускники ТПУ.

Наши ученые принимали непосредственное участие в разработке первого советского бериллиевого проекта. Эти компетенции сохранились у нас до сих пор. И не только компетенции — сохранились даже люди, которые в те далекие времена в этом проекте участвовали. Конечно, сейчас они на пенсии, но чем хороша университетская среда, так это преемственностью поколений.

— **Насколько сильно современные технологии, разработанные в ТПУ, отличаются от того, что было раньше?**

— Не сильно, а кардинально. Классическая технология производства бериллия, применяемая в том числе и на УМЗ, предполагает использование серной кислоты. Не буду вдаваться в технологические подробности, но применение серной

кислоты возможно только для одного из видов бериллиевых руд, где породонеситель — это силикаты, песок. Американские и китайские руды — это, условно говоря, 90% песка и 10% оксида бериллия. Серная кислота оксид бериллия растворяет, а песок — по сути, стекло — с ней не взаимодействует, и в раствор уходит сульфат бериллия.

Российские руды Ермаковского месторождения — высокофтористые. Там большое количество флюорита, который несовместим с серной кислотой. При их взаимодействии выделяется газообразный едкий и очень вредный фтороводород, утилизация которого достаточно затратна. Поэтому мы приняли другой подход — нашли реагент, который взаимодействует с бериллиевой составляющей, но не взаимодействует с флюоритовой: фторид аммония. Это основная идея нашей технологии. Дальше идут стандартные операции: выщелачивание, получение тетрафторобериллата аммония, гидроксида, оксида бериллия, металла, бериллиевой бронзы.

— **Насколько эта технология дороже старой в экономическом плане?**

— Новая технология не может быть дороже старой. Если она дороже, это не технология — это метод, способ. В основе технологий всегда лежит экономика. По нашим расчетам, фтороаммонийная технология примерно на 40% дешевле, чем серно-кислотная.

На новых планах

— **Кому мы должны сказать спасибо за новую технологию?**

— Сама идея восстановления российского бериллиевого производства достаточно молода. Она принадлежит А.В. Квашнину, бывшему в 2009 г. полномочным представителем президента РФ



Бериллиевая бронза по виду не отличается от бронзы обычной, зато по свойствам...

в Сибирском федеральном округе. Анатолий Васильевич уделял большое внимание экономике и природопользовательским технологиям. Было ясно, что огромный потенциал Сибири не задействован полностью. В том числе были известные проблемы с Ермаковским месторождением в Забайкалье.

Дальше эти идеи получили поддержку в Министерстве промышленности и торговли. В 2013 г. там запустили программу развития промышленности и повышения ее конкурентоспособности, которой руководит первый заместитель министра Г.С. Никитин. В ней есть подпрограмма развития редкометалльной промышленности, а уже в ней — отдел цветной металлургии и редких металлов, которым руководит С.И. Гришаев, и с ним мы плотно работаем.

В рамках проекта у нас есть промышленный партнер — созданная специально под него проектная компания «Редкие металлы Сибири». Общее руководство осуществляет генеральный директор Ю.Ю. Нечаев. Отдельно стоит отметить специалистов, которые решают все технические и научные вопросы, благодаря которым мы возродим в России бериллиевую промышленность. Это сотрудники кафедры химической технологии редких элементов и ее заведующий Р.И. Крайденко. Таким коллективом, начиная от главного идеолога и заканчивая исполнителями, мы идем к решению бериллиевой задачи.

— **Экспериментальное производство уже работает?**

— Работает опытная установка, собранная на опытном производстве Томского политеха. Поскольку бериллий — токсичное вещество и в стенах университета полноценно заниматься им не позволяют экологические нормы, экспериментальные

работы в 2015 г. проводились на площадке Сибирского химического комбината. В 2016 г. мы занимались проектными изысканиями, а в начале этого года вышли на Фонд развития промышленности, получили финансирование и за 2017 г. должны уже сделать проект, утвердить его во всех надзорных органах и начать строительство промышленного производства. Дальше по дорожной карте на 2018 г. у нас запланировано строительство, а на 2019 г. — начало промышленного выпуска оксида бериллия.

— **Предполагается строительство нового комбината?**

— Конечно. Старого в стране просто нет. Обогащительные мощности есть, их надо восстановить, но самое главное — это гидрометаллургия. Мы планируем производить обогащение на базе Ермаковского месторождения. Здесь мы работаем в тандеме с недропользователем — компанией «Метрополь», владеющей лицензией на добычу бериллиевых руд до 2025 г. Гидрометаллургическое производство будет располагаться на площадке Приаргунского производственного горно-химического объединения в Краснокаменске. Это дочернее предприятие АО «Атомредметзолото» «Роса-

Бериллий — уникальный металл. Он в полтора раза легче алюминия и в девять раз его тверже. Изделия из него в 13–15 раз меньше и легче, чем из алюминия

тома», там будет налажено производство оксида и гидроксида бериллия. В дальнейшем возможно производство металлического бериллия и высокотехнологичных изделий из него. Здесь, я думаю, хорошо подходит Сибирский химический комбинат. Но это решение будет лежать уже на руководстве «Росатома», наша компетенция так далеко не распространяется.

— **Если вы говорите, что месторождения заброшены, значит на их перезапуск может уйти немало времени и средств?**

— Восстановить добычу, конечно, будет непросто. Добычей и обогащительной частью занимается ГК «Метрополь». У них есть инвестиционный проект, по которому они должны организовать производство сырья уже к концу 2019 г., ко времени, когда будет построено гидрометаллургическое производство. Но на первой стадии мы планируем

работать в основном на сырье «Росрезерва». Наши отцы-основатели в советское время очень заботливо сэкономили для страны достаточно большое количество запасов бериллиевого сырья, которое сегодня находится на хранении в «Росрезерве», его хватит на несколько лет работы. Мы сможем на нем окупить вложенные в гидрометаллургическое производство инвестиционные затраты. Это даст значительную экономию. Когда это сырье закончится, уже в полном объеме развернутся добыча и обогащение нашего сырья на Ермаковском месторождении.

На новых рынках

— На каком месте по разведанным запасам бериллия находится Россия?

— Мы, безусловно, в лидерах. На каком месте, точно сказать нельзя, поскольку многие страны скрывают свои запасы. Но на Ермаковском месторождении утверждены запасы составляют 1,7 млн т однопроцентной руды. Этого хватит еще лет на 50. Дальше будут новые разработки, изыскания. Я думаю, откроют новые месторождения.

— Значит, у нас есть возможность не только покрывать внутренние потребности, но и выходить на мировой рынок в качестве достаточно крупного производителя?

— Однозначно. Мы должны занять на мировом рынке свою нишу. Когда страна выйдет на производство 100 т в год в пересчете на металлический бериллий, мы можем занять 20–30% мирового рынка. Именно благодаря современным технологиям, потому что меньшая себестоимость повышает конкурентоспособность. Здесь у нас значительное преимущество: и Китай, и США, и Казахстан сегодня производят бериллий по технологии, по которой его производили еще в Германии в 1923 г. Естественно, за сто лет прогресс шагнул вперед, поменялись конъюнктура цен, сырьевые материалы, аппаратное оформление. И мы планируем выйти на рынок с действительно современной технологией.

— Сколько сейчас стоит бериллий?

— Черновой — около \$400–500 за килограмм. Вакуумплавленный металлический — около \$1 тыс. за килограмм. В форме оксида — \$300 за килограмм. Бериллиевая фольга и другие изделия специального назначения — до \$10 тыс. за килограмм. Условно мы считаем наши экономические показатели на уровне \$300 за килограмм металла в оксиде и \$450 — в металле.

— Все равно недешевый металл.

— Это скромно сказано. Бериллий — один из самых дорогих металлов. Из промышленных —

самый дорогой. Он примерно в десять раз дороже титана и в сто — алюминия.

— Изначально и алюминий был страшно дорог, но с развитием технологий он подешевел в сотни раз. Может, и бериллий лет через 50–70 будет стоить \$10–15?

— Мы обязательно придем к этому. Действительно, первый алюминий в начале XX в. по цене приравнивался к драгоценным металлам. Из первого алюминия делали очень дорогие столовые приборы. Сейчас — самые дешевые. Когда-то алюминиевые ложки использовались в княжеских и царских домах. В наши дни я даже говорить не буду, где большей частью их используют.

Сегодня наша страна занимает первое место по производству алюминия — около 4 млн т. Это самый доступный металл. В советские годы были планы выйти на первое место не только по алюминию, но и по титану. Мы это сделали, снизив себестоимость производства. Были планы выйти



Держать в руках чистый бериллий не рекомендуется: токсичен. А вот так, в баночке — пожалуйста.

на первое место и по бериллию и передвинуть его тем самым из позиции стратегического, редкого металла в позицию общедоступного, как алюминий или титан.

— Это было реально?

— Да. Госплан СССР поставил задачу примерно к нашему времени довести производство до 1 тыс. т в год в пересчете на металлический бериллий. Если бы те планы были реализованы, мы бы не просто заняли по производству бериллия первое место в мире, мы бы действительно сделали его общедоступным. К сожалению, планам не суждено было сбыться: по факту сегодня все мировое годовое производство находится на уровне 300 т. Но наша цель — осуществить их на современном этапе. ■

Беседовал Валерий Чумаков

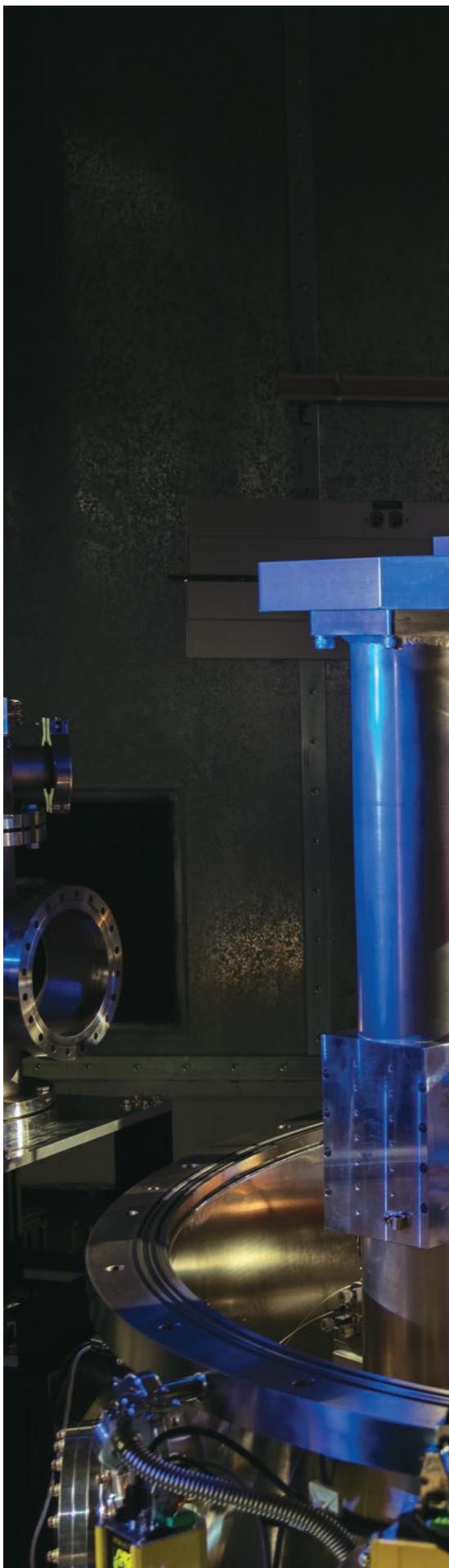
МАССОВЫЕ ИСТЕРИИ

МЕТРОЛОГИЯ

Близки к завершению затянувшиеся попытки найти замену артефакту из XIX столетия, который определяет килограмм

Тим Фолджер

Photographs by Richard Barnes





Весы Киббла, такие как NIST-4, установленные в Национальном институте стандартов и техники США, сравнивают электрическую и механическую силы. Они чрезвычайно сложны и служат ключевым элементом для процесса перепределения килограмма.

ОБ АВТОРЕ

Тим Фолджер (Tim Folger) пишет для *National Geographic*, *Discover* и других американских журналов, редактор ежегодника «Лучшие публикации об американской науке и природе» (*The Best American Science and Nature Writing*).



В один из апрельских дней прошлого года, подходя к стойке контрольно-пропускного пункта вашингтонского аэропорта им. Даллеса, Джон Пратт (Jon Pratt) чувствовал себя неуютно. В его кофре от фотоаппарата лежали четыре цельнометаллических цилиндра — объекты того сорта, которые непременно привлекают к себе пристальное внимание зорких инспекторов Администрации транспортной безопасности. Каждый из цилиндров весил ровно 1 кг. Один из них, сиявший на солнце платино-иридиевым сплавом, размером с половину консервной банки, стоил по крайней мере \$40 тыс. (Цена на платину в настоящее время колеблется в районе \$1 тыс. за унцию, часто используемую единицу массы драгоценных металлов.) Три других были изготовлены из нержавеющей стали с помощью точной механической обработки.

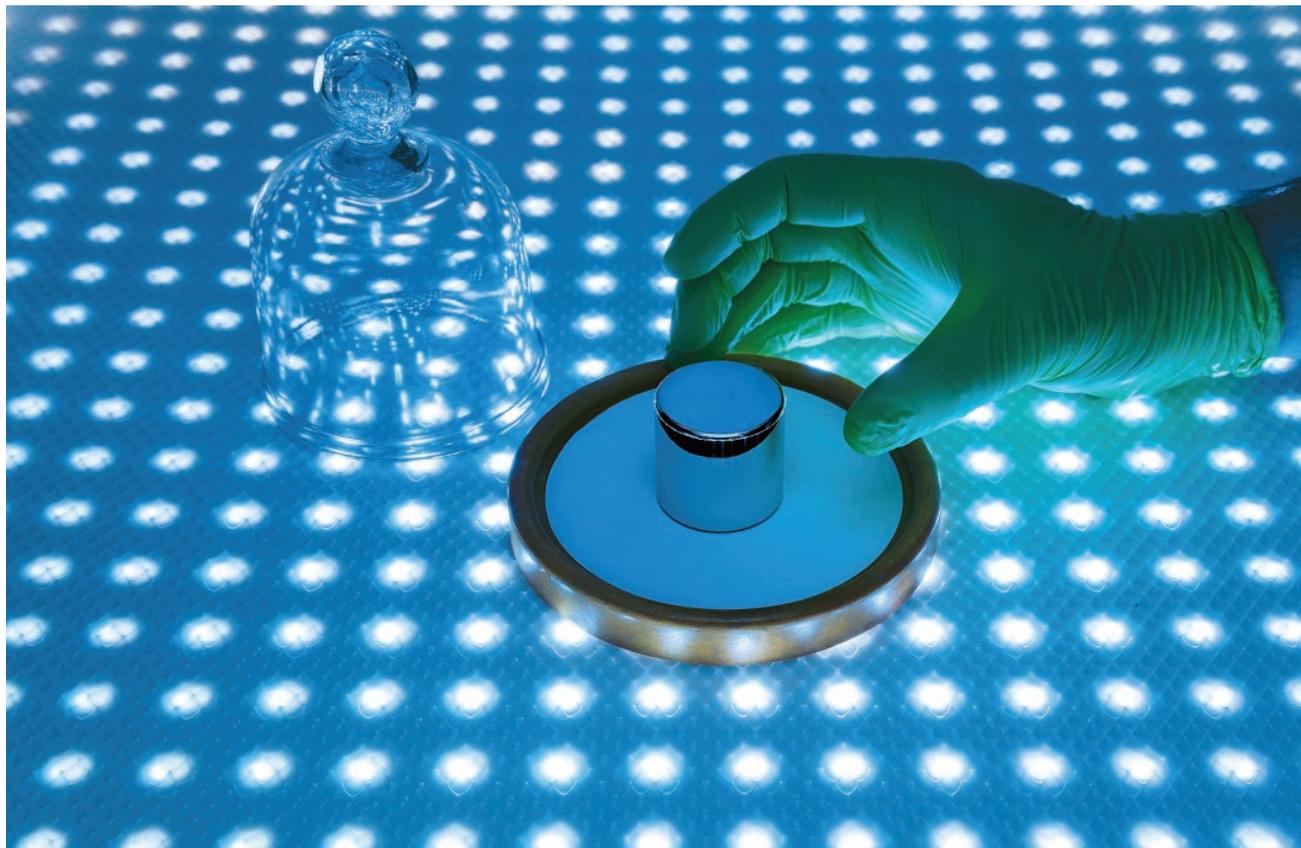
Задачей Пратта было доставить их в сохранности и неприкосновенности коллеге, работающему в парижском предместье

При себе у Пратта были документы из Национального института стандартов и техники, которые должны были облегчить ему прохождение через барьеры службы безопасности аэропорта. В бумагах объяснялось, что он везет четыре официальных килограмма США — эталонные образцы массы, которые служат основой для всех измерений веса в стране, — и отдельно указывалось, что ни к одному из эталонных килограммов не следует ни прикасаться, ни вынимать из их защитных футляров.

По-прежнему стройный бывший панк-рокер Пратт возглавляет Отделение квантовых измерений Национального института стандартов и техники в Гейтерсберге, штат Мэриленд. «Тот парень из Администрации транспортной безопасности основательно потрепал мне нервы, — вспоминает он. — Но затем он прочел всю сопроводительную литературу, и этот эпизод, скорее всего, запомнился ему как самое яркое его впечатление того дня». Спустя несколько минут Пратт преодолел все препоны и занял свое место на борту авиалайнера, выполнявшего семичасовой перелет в Париж, что обернулось для него очередной дилеммой: что делать со своим дорогостоящим багажом, если потребуется ненадолго отлучиться? Следует ли ему всегда держать сумку при себе, как советовали некоторые коллеги? «Признаюсь, я оставил ее под сиденьем переднего кресла, когда выходил в туалет, — рассказывает Пратт. — Так что на короткое время она была вне моего поля зрения и, возможно,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- С 1889 г. килограмм определяется сравнением с одним платино-иридиевым цилиндром, хранящимся в секретном подвале в Париже. Это последняя из единиц измерения, все еще привязанная к физическому эталону.
- Но эталон килограмма теряет массу. Отчасти вот почему в 2011 г. на Генеральной конференции по мерам и весам было принято решение переопределить килограмм, привязав его к константе квантовой механики.
- В этом году процесс переопределения, в котором участвуют официальные метрологические лаборатории пяти стран и для которого требуется проведение измерений из разряда самых трудных во всей истории физики, вступает в свою окончательную фазу.



K20, национальный килограмм США, в настоящее время прокалиброван с помощью Международного эталона килограмма в Париже. После переопределения американские метрологи будут использовать вместо него NIST-4.

кто-то воспользовался моим отсутствием и оставил отпечатки своих рук на этих килограммах».

Такое происшествие перечеркнуло бы многие месяцы кропотливой работы по измерению эталонных килограммов с точностью до несколько частей на миллиард (*ppb*). Пратт с цилиндрами направлялся в Международное бюро мер и весов (МБМВ), находящееся в Севре, коммуне в западном предместье Парижа, расположившейся на левом берегу Сены всего в 10 км от Триумфальной арки. Спустя несколько месяцев тамошние метрологи должны будут сравнить их с точно такими же металлическими цилиндрами из трех других стран, а также с килограммовой сферой из кремния высокой чистоты, изготовленной в Немецкой национальной метрологической лаборатории. Это стало последним шагом, отметившим исторической переход к другому методу измерения массы.

С 1889 г., того самого, когда открыли для посещения Эйфелеву башню, килограмм определялся массой платино-иридиевого цилиндра, хранящегося в подвале штаб-квартиры Международного бюро мер и весов внутри трех вложенных друг в друга стеклянных сосудов, имеющих форму колокола. Международный эталон килограмма, известный среди метрологов также как МЭК или

Le Grand K, — это универсальный эталон; все национальные стандарты массы других стран — его точные копии. В метрологии килограмм — это аномалия; он — последняя из оставшихся единиц измерения, все еще привязанная к физическому объекту. Но уже ненадолго. В конце 2018 г. *Le Grand K* будет смещен с пьедестала и новое определение килограмма получит прочное основание в виде постоянной Планка, константе квантовой теории, связанной с количеством энергии, переносимой одним квантом света, или фотоном.

Зачем же отправлять *Le Grand K* в отставку? Многие годы метрологи стремились к точности и надежности международного стандарта массы, привязанного к фундаментальной постоянной Вселенной, а не к тщательно оберегаемой металлической болванке викторианской эпохи. Но для этого есть и более неотложная причина: оказывается, *Le Grand K* теряет массу. Через каждые 30 лет *Le Grand K* извлекают из его хранилища для чистки и сравнения с шестью официальными копиями, или *temoins* (контрольными образцами), которые хранятся в том же хранилище. Когда первые два *temoins* сравнили с *Le Grand K* в 1889 г., они оба точно соответствовали оригиналу. Однако измерения, проведенные вскоре после Второй

Меняющиеся единицы измерения

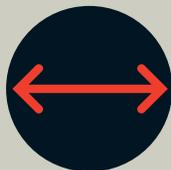
Международная система единиц (СИ), которую называют также метрической системой, базируется на фундаменте из семи основных единиц. (22 другие единицы — производные этих семи.) Ожидается, что в 2018 г. Международный комитет мер и весов переопределит большую часть основных единиц в ходе самого кардинального пересмотра метрической системы с 1960 г. Эти изменения свяжут семь основных единиц с неизменными константами природы. Метр, секунда и кандела останутся, по существу, теми же самыми, но четыре другие ждут фундаментальное переосмысление.

Уже определенные на основе физических констант

Единица: **метр**
Аббревиатура: м
Измеряет: длину

Современное определение (принято в 1983 г.)
Расстояние, проходимое светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ с.

Исторические заметки
Когда французская Академия наук в 1791 г. предложила метрическую систему, она определила метр как одну десяти-миллионную от четверти длины окружности Земли, которая в свою очередь была как меридиан, который проходит с Северного полюса к экватору через — а где же еще? — Париж.



Единица: **секунда**
Аббревиатура: с
Измеряет: время

Современное определение (принято в 1967 г.)
Секунда — это «время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133».

Исторические заметки
Первоначальное определение хорошо всем знакомо: секунда была $1/86\,400$ «средних солнечных суток», или времени, в течение которого Земля совершает оборот вокруг своей оси. Нынешнее квантово-механическое определение Международной комитет мер и весов присвоил секунде в 1967 г.



Единица: **кандела**
Аббревиатура: кд
Измеряет: силу света

Современное определение (принято в 1979 г.)
Кандела — это «сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540×10^{12} Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ ватта в стерадиане» (единица телесного угла в системе СИ).

Исторические заметки
В начале XX в. США, Франция и Великобритания определили канделу, взяв в качестве эталона силы света лампу накаливания с углеродной нитью. В 1933 г. метрологи выработали для нее более точное определение, базирующееся на излучении абсолютно черного тела, принятое в 1948 г., а позже замененное нынешним.



мировой войны и в 1992 г., показали, что копии весят чуть-чуть больше, чем *Le Grand K*. Абсолютно невероятным представляется, что все копии каким-то загадочным способом приобрели дополнительную массу, в то время как *Le Grand K* сохранился в неизменном виде. Существует, конечно, и более правдоподобное объяснение. «Мы могли бы предположить, — утверждает директор Международного бюро мер и весов Михаэль Шток (Michael Stock), — что Международный эталон килограмма теряет массу». Такая неопределенность стала одной из причин того, что Генеральная конференция по мерам и весам — руководящий орган бюро — в 2011 г. приняла решение установить новый стандарт массы.

Никто не знает, по какой причине *Le Grand K* мог бы терять свой вес. Эталон слишком ценен для того, чтобы подвергать его исследованиям, которые могли бы дать ответы на этот вопрос. Загадка эта создает реальные проблемы. По мере совершенствования техники в предстоящие десятилетия прецизионные измерения массы на молекулярной шкале и даже еще точнее станут обычной практикой в широком спектре отраслей промышленности. «Нам потребуется возможность

измерить микрограммы массы с точностью по крайней мере до трех значащих цифр, — говорит Пратт. — А с эталоном килограмма перспектива проводить измерения на столь мелкой шкале выглядит довольно туманно».

Недостки *Le Grand K* не ограничиваются измерением массы. Единицы силы и энергии в конечном итоге тоже базируются на ней. «Мы подошли к точке, за которой, вероятно, увидим изменение фундаментальных констант, обусловленное изменением Международного эталона килограмма. — заявляет Шток. — А это абсолютная нелепость».

Новый стандарт

Килограмм — на сегодня последний из базовых элементов метрической системы, который ожидает переделки, но он не останется самым последним. Помимо килограмма Международная система единиц, или СИ, включает метр, ампер (единицу силы тока), секунду, канделу (единицу силы света или, выражаясь иначе, яркости, присущей источнику света), моль (единицу количества вещества, то есть отношение веса образца того или иного вещества к числу содержащихся в нем атомов) и кельвин (единицу температуры).

Предстоит переопределить

Единица: **килограмм**
Аббревиатура: **кг**
Измеряет: **массу**

Современное определение (принятое в 1989 г.)
До настоящего времени килограмм все еще определяется сравнением с *Le Grand K*, платино-иридиевым цилиндром, спрятанном в подвале в Париже.



Предлагаемое переопределение

Если работа и далее пойдет по расписанию, в 2018 г. килограмм будет привязан к постоянной Планка, неизменной величине квантовой теории, которая определяет количество энергии, переносимой одной частицей света, или фотоном.

Единица: **ампер**
Аббревиатура: **A**
Измеряет: **силу тока**

Современное определение (принятое в 1946 г.)
Нынешнее определение ампера, в которое помимо прочего входят «два параллельных прямолинейных проводника бесконечной длины пренебрежимо малой площади кругового поперечного сечения <...>, расположенные на расстоянии 1 м один от другого в вакууме», невозможно точно воспроизвести в лабораторных условиях.

Предлагаемое переопределение

Ампер будет упрощен закреплением численной величины заряда одного протона (фундаментальной константы, известной как элементарный заряд).



Единица: **кельвин**
Аббревиатура: **K**
Измеряет: **температуру**

Современное определение (принятое в 1967 г.)
Сегодня один кельвин равен «1/273,16 термодинамической температуры тройной точки воды» — сочетание температуры и давления, при которых лед, водяной пар и жидкая вода могут существовать одновременно.

Предлагаемое переопределение

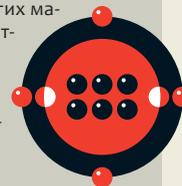
Кельвин будет основан на фиксированном значении постоянной Больцмана, константе, которая связывает среднюю кинетическую энергию молекул газа с его абсолютной температурой, что увеличит точность измерений как экстремально низких, так и экстремально высоких температур.

Единица: **моль**
Аббревиатура: **моль**
Измеряет: **количество вещества**

Современное определение (принятое в 1971 г.)
«Моль — это количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг».

Предлагаемое переопределение

Связь моля с килограммом будет разорвана, и эта единица будет определяться закреплением численного значения числа Авогадро, которое соответствует числу молекул, атомов или любых других малых дискретных частиц материи в одном моле вещества.



Две из семи основных единиц СИ были переопределены несколько десятилетий назад. В 1983 г. метр, ранее измеряемый как расстояние между двумя линиями, выгравированными на твердой планке из иридий-платинового сплава, хранящейся в том же подвале, что и *Le Grand K*, стал теперь расстоянием, проходимым светом за 1/299 792 458 с. А с изобретением в 1960-х гг. усовершенствованных атомных часов секунда, которая ранее определялась как часть астрономических суток, была переопределена на основе частоты СВЧ-излучения, испускаемого атомом цезия. Моль, кельвин и ампер также ждут своей очереди на пересмотр в 2018 г.

Текущее (так сказать) состояние ампера — особенно странно. Его официальное определение, часть которого включает два бесконечно длинных, одномерных, не имеющие массы проводника, настолько абстрактно, что ампер невозможно воспроизвести в лабораторных условиях. Все изменится в 2018 г., когда ампер будет переопределен на основе заряда электрона — прогресс, ставший возможным благодаря разработке нанотехнологических приборов, способных подсчитывать отдельные заряженные частицы в электрической цепи.

«Если мы взглянем на последующие переопределения, они, вероятно, будут включать базирующуюся на квантовой механике канделу для силы света, а также, возможно, и оптическое определение секунды вместо нынешнего микроволнового, — полагает Алан Стил (Alan Steele), главный метролог Канады. — Но до этого пройдет еще не менее 15 лет. А возможно, и больше».

Переопределение килограмма — основной элемент усилий по созданию по-настоящему универсальной системы измерений, которая не привязана к ограниченному земным реалиям. В принципе, новые единицы, вероятно, будут иметь смысл для разумных существ везде — отсюда и до Андромеды. Для метрологов настало головокружительное время. «Такое случается только раз в жизни, — продолжает Стил. — Последний раз, когда мы предпринимали что-нибудь столь же фундаментальное, был, когда переопределяли метр. Это время, когда стоит быть главным метрологом, скажу я вам. Конечно, это не вопрос войны и мира, но это классно!»

В подвале

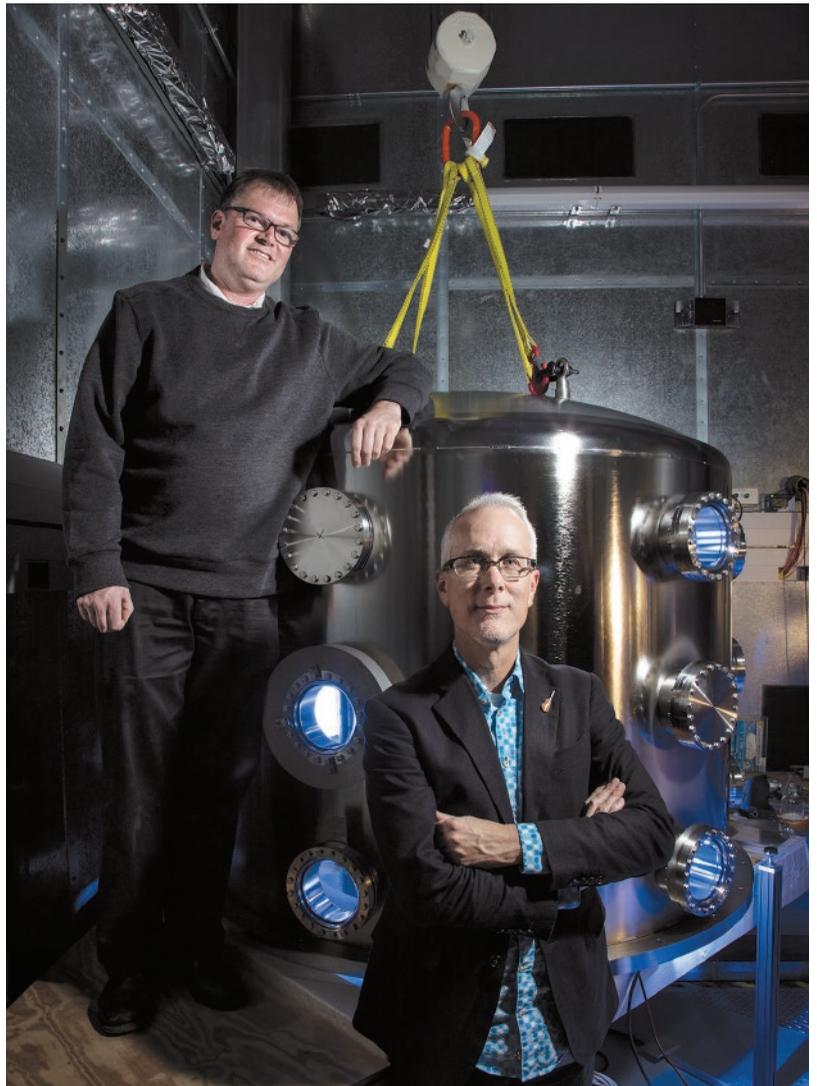
Le Grand K был не самым первым официальным килограммом. У него был предшественник,

изготовленный в годы Великой французской революции, когда, собственно, и родилась вся метрическая система. До революции почти все меры веса и длины во Франции определялись местной традицией. Стандарты отличались от города к городу,отягощая страну бременем из более чем 700 различных единиц измерения. Например, туаз был равен английскому фатому (*или русской маховой сажени. — Примеч. пер.*); расстоянию между пальцами вытянутых рук человека. Но парижский туаз, который был равен 72 пусам (*от фр. роисе — «большой палец» — Примеч. пер.*), мог отличаться от туаза, использовавшегося в Марселе. Саванты, как французы называли тогда своих ученых, искали способ покончить с этим хаосом, создав новую систему измерений «для всех людей, на все времена», — девиз, увековеченный на современной табличке Международного бюро мер и весов.

«В 1791 г. их идея состояла в том, что стандарты должны базироваться на неизменных явлениях природы, — рассказывает Ричард Дэвис (Richard Davis), бывший директор отделения эталонов массы Международного бюро мер и весов, на которое возложена обязанность обеспечить сохранность *Le Grand K*. — Мы по-прежнему так и поступаем», — продолжает он. Единственная разница состоит в том, что теперь метрологи обратились к естественным константам, которые действительно неизменны.

Мы находимся в кабинете Штока в Павильоне де Бретейль, роскошном особняке XVII в., расположившемся на покрытой зеленью вершине холма, откуда открывается живописный вид на Сену в районе парка Сен-Клу, бывшего когда-то охотничьим заповедником французских королей. За розовым садом Марии-Антуанетты по-прежнему тщательно ухаживают. Он был штаб-квартирой международного бюро со времени Метрической конвенции 1875 г., договора, подписанного 17 странами.

«Вы заметили с левой стороны остров, когда утром шли в Севр по мосту?» — спрашивает Дэвис. На этом острове, по его словам, когда-то располагался завод *Renault*, на котором во время Второй мировой войны делали технику для вермахта. Американские бомбардировщики неоднократно устраивали на него налеты. После того как в ходе



Метрологи Стивен Шламмингер и Джон Пратт у весов Киббла NIST-4, помещенных в свою вакуумную камеру весом 450 кг

одного из них Павильон де Бретейль сильно потряхнуло, *Le Grand K* был помещен в специальный амортизирующий контейнер. Хотя *temoins* были эвакуированы и находились в подземном хранилище Банка Франции в течение почти всей войны, в тексте Метрической конвенции было специально оговорено, что *Le Grand K* должен все время оставаться в бюро.

Когда после войны, в 1946 г., *Le Grand K* был извлечен из подвала для проведения чистки и сравнения с шестью его копиями, было обнаружено, что он на 30 мкг легче, чем *temoins*. Ко времени очередной чистки, спустя еще 45 лет, эта разница выросла до 50 мкг — веса крыла мухи.

«50 мкг за 100 лет, — рассказывает Шток, когда мы рассматриваем график изменений на его рабочем компьютере. — Видите, это не очень много». На сегодня, по его словам, эта разница не создает

каких-либо практических проблем. «Но если бы мы ничего не изменили, однажды проблемы обязательно возникли бы».

Для наномира и нанотехнологий 50 мкг — величина огромная. Более того, неопределенность в массе эталона килограмма оставила бы серьезный след в длинной цепи фундаментальных единиц: метрическая единица силы ньютон определяется через килограмм, ньютон в свою очередь определяет джоуль — единицу энергии, джоуль определяет ватт, и т.д. В конечном итоге небольшой вопросительный знак поставил бы под вопрос почти каждое измерение в физическом мире.

Очистка и сравнение *Le Grand K* с контрольными образцами массы — это нетривиальная задача, особенно ввиду того, что с 1889 г. она выполнялась всего четыре раза. Во-первых, *Le Grand K* необходимо извлечь из его *saveau* (склепа), что требует присутствия трех уполномоченных лиц, для того чтобы открыть три расположенных по вертикали

В подземном хранилище находится огромный сейф с цифровым замком, внутри которого помещен *Le Grand K*, укрытый под тремя вложенными друг в друга стеклянными колпаками в форме колокола. Помимо этого, в сейфе хранятся шесть официальных копий эталона

замка. В подземном хранилище находится огромный сейф с цифровым замком, внутри которого помещен *Le Grand K*, укрытый под тремя вложенными друг в друга стеклянными колпаками в форме колокола. Помимо этого, в сейфе хранятся шесть официальных копий эталона. Только три человека в мире имеют ключи от подвала: директор Международного бюро мер и весов, директор парижского Национального архива и президент Международного комитета мер и весов, который осуществляет общий надзор за деятельностью бюро. Поскольку ключи разные, все три этих чиновника должны присутствовать для того, чтобы открыть подвальное помещение.

«В истории Метрической конвенции с 1875 г. я всего лишь третий человек не из Европы, который был избран президентом Международного комитета мер и весов, — говорит Барри Инглис (Barry Inglis), инженер-электрик из Австралии. — Я спросил их, что случится, если однажды, когда я буду

возвращаться домой, мой самолет упадет в Индийский океан: "Что, ребята, вы тогда будете делать?" Впрочем, я уверен, что найдется специалист по замкам, который сможет вскрыть старый замок без особых проблем».

Мало кому из сотрудников бюро удалось хоть одним глазком взглянуть на *Le Grand K*, и ходят слухи, что на официальной фотографии изображен его муляж. «Я видела его однажды», — поведала мне Сюзанн Пикар (Susanne Picard), которая работает в Международном бюро мер и весов с 1987 г. Трое обладателей ключей открывают подвал раз в год, чтобы посмотреть — ни в коем случае не трогая! — на *Le Grand K* и удостовериться, что он по-прежнему там.

Войдя в святая святых с хранящимся там *Le Grand K*, техники забирают сияющий цилиндр с помощью отделанных замшей щипцов и переносят его в станцию очистки, где его протирают с помощью замшевой ткани, смоченной спиртом и эфиром, после чего ополаскивают струей дважды дистиллированной воды. Заключительный обдув азотом удаляет все оставшиеся капли воды. Весь процесс занимает примерно час. Бюро провело эксперименты, используя различные методы очистки опытных образцов, например с помощью ультрафиолетового излучения, но, как ни странно, эти методы делали сплав слишком чистым. «Они, очевидно, удаляли больше грязи, чем по нашему методу, — говорит Шток. — Но после них эталон массы становится нестабильным, поскольку был настолько чист, что его поверхность становилась высоко реактивной». А это сде-

лало бы *Le Grand K* менее надежным в качестве стандарта, поэтому бюро только и оставалось придерживаться своего проверенного метода очистки с помощью куска замши и промывки водой.

После бани *Le Grand K* и его *temoins* переносят в чистое помещение и устанавливают на устройство, называемое компаратором. Устройство стоимостью \$500 тыс. позволяет измерять разницу масс в образцах с точностью до 1 мкг. Компаратор и десять так называемых рабочих эталонов килограмма — рабочие лошадки отделения массы Международного бюро мер и весов; они используются для большей части повседневной работы по калибровке, а *Le Grand K* и *temoins* достают на свет божий лишь раз в несколько десятилетий для проверки национальных эталонов килограмма из различных стран.

Когда наша беседа с Дэвисом и Штоком подходит к концу, я спрашиваю, нельзя ли мне хотя бы одним глазком увидеть вход в подвал, где хранится

Le Grand K; о том, что у меня нет ни единого шанса взглянуть на сам драгоценный цилиндр, я, конечно, знал. Они оба разразились громким смехом, отрицательно качая головами: «Нет, нет! Конечно же нет!».

«Вы не первый, кто спрашивает нас об этом», — добавляет Дэвис. — «Он расположен где-то рядом?» — спрашиваю я. — «Да, — отвечает Дэвис, — но это все, что известно широкой публике».

Трудная процедура измерения

Уже скоро *Le Grand K* станет исторической диковинкой и новое международное определение килограмма массы станет базироваться на постоянной Планка. Постоянная Планка выражается в единицах энергии и времени, а значит, может быть выражена и в единицах массы с помощью хорошо известного соотношения $E = mc^2$. Как и в случае с гравитационной постоянной G , постоянная Планка возникает в ходе построения теории, но ее

собственных лабораторий, уточняют значения (каждый свое) постоянной Планка. После этого новое точное значение постоянной Планка будет использоваться для окончательного переопределения килограмма.

Основная часть этой работы будет заключаться в проведении экспериментов с помощью необычайно сложного прибора, называемого весами Киббла. До прошлого года весы Киббла назывались весами Ватта, в 2016 г. метрологи решили дать весам другое имя после смерти человека, который их изобрел, британского физика Брайана Киббла (Bryan Kibble). Измерения с помощью весов Киббла настолько сложны, что в 2012 г. журнал *Nature* назвал их среди пяти самых сложных лабораторных экспериментов в физике наряду с экспериментами по обнаружению бозона Хиггса или гравитационных волн.

Как-то в мае прошлого года Стефан Шламмингер (Stephan Schlamminger) из Национального института стандартов и техники подвез меня к белому двухэтажному зданию, расположившемуся на краю поросшего лесом кампуса площадью 235 га, в котором находятся более старые из двух весов Киббла, сегодня основательно пронафталиненные после завершения постройки новой модели в 2014 г. Именно здесь Национальным институтом стандартов и техники была проведена большая часть измерений постоянной Планка, и новая модель весов будет работать во многом таким же образом.

Измерения с помощью весов Киббла настолько сложны, что в 2012 г. журнал *Nature* назвал их среди пяти самых сложных лабораторных экспериментов в физике наряду с экспериментами по обнаружению бозона Хиггса и гравитационных волн. Весы Киббла позволяют определить постоянную Планка, отталкиваясь от массы эталона килограмма

численная величина может быть получена только путем эксперимента. А с совершенствованием инструментов наши измерения универсальных констант становятся все точнее и точнее.

Чтобы перейти на новый квантовый стандарт, Международное бюро мер и весов выработало двухступенчатую стратегию. Сначала национальные метрологические лаборатории пяти различных стран зафиксировали численное значение постоянной Планка, взвесив свои национальные эталоны килограмма через ее величину, а затем посмотрят, насколько хорошо согласуются результаты их измерений. Именно этот тест проводило бюро летом прошлого года. Если его результаты, которые ожидаются уже в начале текущего года, окажутся удовлетворительными, участники проводимого исследования осуществят работу в обратном порядке — используя свои национальные эталоны килограмма с помощью оборудования

любое сходство с фермерской усадьбой исчезает, когда заходишь внутрь. Внутри помещение похоже на декорации для съемок фильма в жанре стимпанк со стенами и потолком, полностью экранированными листами из меди. «Видите, здесь все из латуни, — показывает Шламмингер. — Ни кусочка железа». Медь и латунь экранируют инструменты от внешних магнитных полей. Но магнитные поля, которые создают внутри здания, настолько сильны, что могут стереть информацию с кредитной карточки. Посреди комнаты на первом этаже стоит высокая опорная стойка со сверхпроводящим магнитом в своем основании. Во время проведения измерений он охлаждается жидким гелием.

Сам механизм весов расположен на втором этаже. Он состоит из расположенного вертикально алюминиевого колеса диаметром полметра с чашами весов, подвешенными на тонкой проволоке с обеих его сторон. Во время измерения на одну

чашу помещают эталон килограмма; проволочная катушка подвешена прямо под такой же чашей с помощью трех четырехметровых стержней. На чаше с другой стороны весов находятся уравновешивающий груз и электрический мотор. Чтобы получить все величины, необходимые для уравнения, связывающего массу с постоянной Планка, необходимо использовать два различных режима работы весов. В режиме взвешивания направленная вертикально вниз сила тяжести испытываемой массы точно уравновешивается магнитным полем, создаваемым током, текущим в катушке, подвешенной под чашкой. В режиме движения испытываемую массу снимают с чашки весов и катушка движется вверх с помощью электродвигателя, находящегося на другой чашке, с постоянной скоростью в магнитном поле, создаваемом сверхпроводящим магнитом весов, которое индуцирует электрическое напряжение в движущейся катушке.

Величину тока, полученную при измерении в режиме взвешивания, и значение индуцированного напряжения, полученное в режиме движения, затем вставляют в уравнение квантовой теории, которое связывает ток, напряжение и электрическое сопротивление с постоянной Планка. Если вкратце, то весы Киббла позволяют определить постоянную Планка, отталкиваясь от массы эталона килограмма. Затем, используя полученное точное значение постоянной Планка, с помощью весов можно измерить массу без какой-либо потребности иметь в своем распоряжении физическое воплощение эталона.

Для получения точных результатов Шламмингеру и его коллегам требуется учитывать локальные флуктуации давления воздуха и гравитационного поля. Следует брать во внимание и прецессию земной оси, равно как и воздействие приливов. «Если не учесть влияние приливов, — объясняет Шламмингер, — ошибка составит 100 частей на миллиард ($100 \text{ ppb} = 0,00001\%$. — Примеч. пер.)». Несмотря на всю сложность, отмечает он, измерительный прибор напоминает ему что-то из другой эпохи. Когда его группа измеряла значение постоянной Планка, клапаны следовало открывать и закрывать в особой последовательности; давление внутри емкостей с жидким гелием требовалось постоянно контролировать. «Такое чувство, как будто управляешь паровым экипажем, — добавляет Шламмингер, — хотя на самом деле проводишь эксперименты по измерению величин квантовой механики».

Прощай, *Le Grand K*!

Что последует далее, зависит от результатов прошлогодних измерений. Результаты измерений эталонов килограмма трех из пяти участвующих в работе национальных метрологических лабораторий должны совпадать с точностью до 50 мкг —

массы крыла мухи, нынешней погрешности в определении массы *Le Grand K*. После того как будут опубликованы пилотные результаты, работа по переопределению начнется в полном объеме.

Если все пойдет как запланировано, килограмм будет определяться через значение постоянной Планка. Международное бюро мер и весов установило строгие стандарты для переопределения: не только все измерения постоянной Планка должны укладываться в 50 ppb ($0,000005\%$), но и по крайней мере одно должно иметь точность 20 ppb ($0,000002\%$) — уровень, который канадцы уже превзошли. Чтобы переопределение состоялось уже в 2018 г., все новые измерения должны быть приняты к публикации к 1 июля 2017 г.

А как быть с *Le Grand K*? Он так и останется в своем подвале. Хотя, если учитывать сложность весов Киббла, мы, вероятно, еще увидим новые эталоны килограмма. Вместо того чтобы постоянно проводить архисложные измерения с помощью весов Киббла, метрологические лаборатории во всем мире для повседневной работы будут еще многие десятилетия использовать новое поколение эталонов. Новые прототипы уже обретают четкие очертания в бюро. Но они будут калиброваться с помощью весов Киббла, а не путем сравнения с *Le Grand K*.

Так что же, неужели мы подошли к концу нашей истории? Действительно ли у нас появился эталон килограмма для всех и на все времена?

«Один из моих предшественников, нобелевский лауреат Шарль Эдуар Гийом, полагал, что нынешний эталон килограмма прослужит 10 тыс. лет, — говорит он. — Конечно, это было слишком оптимистичное заявление. Я не уверен, что это будет последнее переопределение, но оно, должно быть, хорошо послужит в течение какого-то времени. Хотя, возможно, и не продержится следующие 10 тыс. лет».

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Робинсон И. Весомый довод // ВМН, № 4, 2007.
- The Measure of All Things: The Seven-Year Odyssey and Hidden Error That Transformed the World. Ken Alder. Free Press, 2002.
- Frontier Experiments: Tough Science. Nicola Jones in Nature, Vol. 481, pages 14–17; January 5, 2012. www.nature.com/news/frontier-experimentstough-science-1.9723
- How to Build Your NIST D.I.Y. Watt Balance. Video. National Institute of Standards and Technology, August 26, 2015. www.youtube.com/watch?v=oST_krdqLPQ

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

ВО ВРЕМЯ
НЕДАВНИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ВЫЯСНИЛОСЬ, ЧТО
КОСМИЧЕСКОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ
БЫТЬ БОЛЕЕ
РАЗРУШИТЕЛЬНЫМ
ДЛЯ МОЗГА
КОСМОНАВТОВ, ЧЕМ
СЧИТАЛОСЬ РАНЕЕ.

СМОГУТ ЛИ
ВСЕ-ТАКИ ЛЮДИ
ПУТЕШЕСТВОВАТЬ
И ЖИТЬ СРЕДИ
ЗВЕЗД?

Чарлз Лимоли

ЧТО МЕШАЕТ ОСВОЕНИЮ

ДАЛЬ НЕ ГО КОСМОС



A

ОБ АВТОРЕ

Чарлз Лимоли (Charles Limoli) — нейробиолог и специалист по радиационной биологии, работает в Медицинской школе Калифорнийского университета в Ирвайне. Он изучает когнитивные нарушения, возникающие при использовании некоторых методов лечения рака и из-за космического излучения.



Тысячелетиями люди вглядывались в ночное небо и мечтали о путешествиях к звездам. Теперь, когда они побывали на Луне и пожили на орбите в космической станции, кажется, что человечество неизбежно пойдет и дальше: к Марсу, в другие места Солнечной системы и за ее пределы. Эта мечта есть во многих культурах, и над ее воплощением работают космические агентства разных стран мира.

Но мы знаем, что космос опасен. Во время любых космических полетов космонавты сталкиваются с сильнейшим холодом, невесомостью, отсутствием атмосферы и сильной радиацией. До сих пор казалось, это лишь небольшие технические проблемы, которые можно решить, а также некоторый риск, на который готовы пойти смелые космические путешественники. Однако мы с коллегами провели новое исследование, в котором выяснилось, что космическое излучение может быть более разрушительным, чем считалось ранее, в особенности для хрупкого, но такого важного органа, как человеческий мозг. И хотя исследователи уже много десятилетий знают о радиации в космосе, только недавно появились сведения, насколько серьезно она влияет на мозг и какими продолжительными могут быть последствия.

Облучая мышей, мы с коллегами выявили у животных значительные и долговременные когнитивные нарушения, которые, вероятно, должны возникать и у людей, а это ставит под сомнение возможность успешного проведения космических программ. Даже во время полета на Международной космической станции, которая находится относительно низко, и космонавты в значительной степени защищены от неблагоприятных

воздействий верхними слоями атмосферы Земли, они рискуют получить некоторые когнитивные нарушения. А опасность для тех, кто полетит на Марс и далее, может быть смертельной.

На сегодня у нас мало возможностей снизить подобный риск. Улучшив экранирование космических аппаратов, можно частично блокировать излучение, но пока для этого нет достаточно легких материалов. Разработка лекарств, которые могли бы бороться с последствиями радиации, сейчас только начинается. Если мы не найдем эффективного решения, мечта человечества о путешествиях по Солнечной системе и за ее пределами может навсегда остаться невоплотимой.

Мощные частицы

Космическое излучение разрушительно, мы не можем его увидеть или почувствовать, но оно заполняет каждый дюйм пустого, на первый взгляд, пространства и может серьезно повреждать ткани тела человека. Наиболее опасны для космонавтов галактические космические лучи (ГКЛ), состоящие из заряженных ядер атомов, которые летят почти со скоростью света. Помимо ГКЛ, равномерно распространенных в космосе, есть еще протоны (ионы водорода), которые выбрасывает наше

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Космические полеты всегда были опасны, но недавно выяснилось, что космическое излучение значительно вреднее для мозга, чем считалось ранее.
- Облучая мышей заряженными частицами, ученые воспроизвели воздействие, которому подвергаются космонавты, и обнаружили у животных нарушения поведения и повреждения в нервной системе.
- Для того чтобы в будущем человек смог перемещаться среди звезд, необходимо улучшить защиту космических аппаратов и скафандров или использовать лекарства, защищающие мозг.

Солнце. Хотя большую часть излучения в космическом пространстве обеспечивают именно протоны, они легкие и поэтому вредят нашему организму значительно меньше, чем более тяжелые частицы. Самое главное, что у всех этих частиц энергии достаточно, чтобы проникать сквозь защиту космических кораблей и тел космонавтов. Магнитные поля вокруг Земли оберегают ее обитателей, отклоняя большую часть космических частиц, но выход за пределы магнитосферы неизбежно приводит к нежелательным последствиям взаимодействия частиц с тканями человека.

Космическая радиация опасна потому, что когда частицы проходят сквозь человека, они отдают часть своей энергии, которая «ионизирует» атомы в его теле, то есть выбивает электроны из атомов, превращая их в заряженные частицы. Частицы затем движутся дальше, выбивая электроны в следующих атомах и тем самым усиливая повреждение. Чем тяжелее частица, тем больше у нее будет энергии и тем больше она ионизирует атомов.

Перемещение электронов приводит к тому, что некоторые молекулярные связи между атомами разрываются и повреждаются белки, липиды, нуклеиновые кислоты и другие важные молекулы в клетках и тканях организма. Из-за перемещения электронов появляются свободные радикалы — атомы или молекулы с неспаренными электронами на внешних орбиталях, которые имеют очень высокую реакционную способность и стремятся достроить внешний электронный уровень за счет электронов от соседних атомов или молекул. Поэтому свободные радикалы взаимодействуют с другими молекулами в организме, превращая их в новые химические вещества, уже не выполняющие первоначальной функции. Например, когда радикалы сталкиваются с ДНК, они могут разорвать связь между дезоксирибозой и фосфатной группой или повредить азотистые основания.

Для оценки воздействия ионизирующего излучения ученые используют «поглощенные дозы» — количество энергии, переданной телу (на единицу массы). В системе СИ поглощенная доза

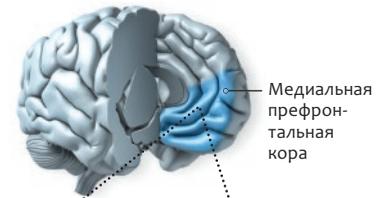
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мозг в космосе

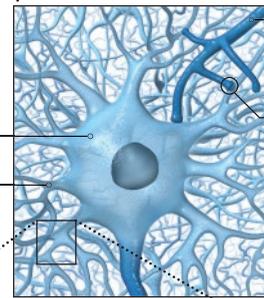
Космическое излучение может повредить мозг космонавтов сильнее, чем предполагалось ранее. Ученые воздействовали на мышей потоком заряженных частиц и оценивали изменения в поведении и физические повреждения нейронов.

Излучение, похожее на космическое, повредило часть мышинного мозга — медиальную префронтальную кору, которая связана с памятью. В поврежденной области выросты нейронов, называемые дендритными шипиками, уменьшаются в размерах и количестве.

Дендриты получают химические сигналы от других нейронов. Шипики — это маленькие выросты дендрита, которые обеспечивают обучение и память. Через восемь недель после облучения дозой в 30 сГр у мышей было потеряно от 20% до 40% дендритных шипиков (желтые).

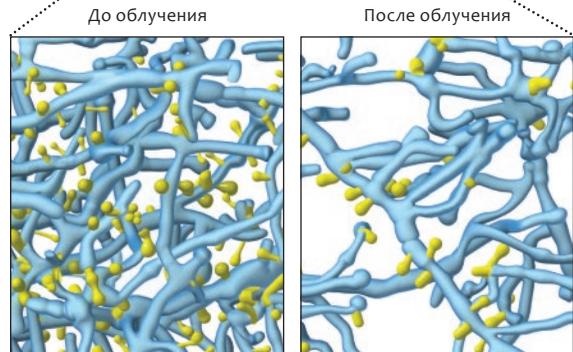


Медиальная префронтальная кора



Тело нейрона
Дендрит

Аксон, соединяющий нейроны
Синапс



До облучения

После облучения

измеряется в греях (Гр), и 1 Гр соответствует одному джоулю на килограмм. Кроме того, излучение бывает разного «качества», то есть при одной и той же дозе может быть разная плотность ионизации. Для характеристики разных типов излучения ученые используют понятие линейной передачи энергии (ЛПЭ), то есть величину потерь энергии за единицу пути. Так, доза излучения с высокой ЛПЭ значительно опаснее, чем такая же доза излучения с низкой ЛПЭ, поскольку она оставляет в теле больше энергии и происходит ионизация большего числа атомов. Следовательно, клетке будет сложнее восстановиться после повреждения. Поскольку у многих типов радиации, встречающихся в космических лучах, относительно высокая ЛПЭ, эта характеристика имеет большое значение, если речь идет о далеких космических полетах.

По сравнению с легкими частицами более тяжелые, пролетая, вызывают образование большего количества свободных радикалов на своем пути и более серьезные повреждения. На молекулярном уровне мы обнаруживаем участки

SOURCE: "WHAT HAPPENS TO YOUR BRAIN ON THE WAY TO MARS," BY YIPRAN K. PARIHAR ET AL., IN SCIENCE ADVANCES, VOL. 1, NO. 4, ARTICLE NO. E440236, MAY 1, 2015. Illustration by Emily Cooper

протяженностью несколько нанометров, где плотность свободных радикалов столь высока, что в относительно небольшом объеме возникает много повреждений в важных молекулах. Таким образом, тяжелые заряженные частицы вызывают гораздо больше множественных повреждений по сравнению с фотонными излучениями (такими как рентгеновское и гамма-излучение). И именно из-за высокой плотности повреждений космическое излучение более опасно, чем обычные типы излучений, с которыми мы имеем дело на Земле.

Воспроизведение космоса на Земле

Несмотря на то что заряженные частицы распространяются по всему космосу, воспроизвести этот тип излучения в земных условиях для изучения его влияния на организм весьма сложно. Одно

Ученые разрабатывают пищевые и лекарственные добавки, которые должны смягчить последствия воздействия радиации на мозг, однако исследования находятся сейчас на ранних стадиях — и ни один из препаратов не сможет стать панацеей

из немногих мест, где мы можем проводить эксперименты с имитацией космического излучения, — Лаборатория космического излучения NASA, которая была создана NASA и Брукхейвенской национальной лабораторией на острове Лонг-Айленд в 2003 г. Там ускорители заряженных частиц разгоняют разные ионы до скоростей, близких к тем, которые характерны для космического излучения. Исследователи, и я в том числе, подвергают объекты (в нашем случае мышей) воздействию такого излучения и оценивают его влияние. С помощью этих тестов мы выясняем, как определенные типы космического излучения в разных дозах воздействуют на ткани живого организма.

Недавно мы взяли шестимесячных мышей, подвергли их воздействию низких доз облучения (от 0,05 до 0,3 Гр) заряженными частицами (в том числе кислорода и титана), а затем оценили их поведение. Чтобы понять, как излучение повлияло на память и когнитивные способности мышей, мы проводили тесты на определение новизны объекта (*novel object recognition, NOR*) и определение новизны местоположения объекта (*object in place, OiP*). Сначала грызуны обследовали пустую коробку. Затем мы помещали туда детали лего, резиновых уток и другие игрушки и давали мышам еще раз там

побегать. Потом, через несколько минут, а в других случаях через несколько часов или дней, мы заменяли игрушку на новую (*NOR*), или перемещали ее на другое место (*OiP*). Умное здоровое животное заметит изменения и дольше будет обследовать новую игрушку на новом месте. Мыши же, получившие повреждения, будут меньше обращать внимания на изменения. Эти тесты позволяют надежно оценить работу гиппокампа (он отвечает за память и обучение) и коры мозга (когнитивные способности). Для оценки поведения животного мы использовали индекс предпочтения (*discrimination index*), для вычисления которого подсчитывали отношение времени, проведенного животным около нового объекта или местоположения, к общему времени, затраченному на обследование всех объектов.

С помощью тестов *NOR* и *OiP* мы обнаружили достоверное снижение индекса предпочтения у мышей, подвергшихся облучению. Через шесть недель у грызунов, получивших воздействие, равное 5 и 30 сГр (сантигрей), индекс упал примерно на 90%, причем изменения были удивительно единообразны вне зависимости от полученной дозы. Более того, в последующих исследованиях выяснилось, что эффект сохранился в течение 12, 24 и даже 54 недель после получения воздействия. Результаты означают, что такие уровни космического излучения могут

создать сложности космонавтам, которые должны решать возникшие проблемы, принимать важные решения и заниматься другой жизненно необходимой деятельностью.

Ураган для нейронного дерева

После того как были проведены поведенческие тесты, мы с коллегами посмотрели, что происходит в мозге у облученных мышей. Проходя через мозг, заряженные частицы могут серьезно влиять на связи между нейронами. Мы хотели найти физические повреждения, которые могли бы быть связаны с обнаруженными изменениями в поведении. Для этого мы использовали генетически модифицированных мышей, в мозге которых имелись нейроны с флуоресцентным белком, хорошо видные под микроскопом с мощным увеличением. Мы получили серии срезов определенных структур мозга на разных уровнях и объединили их, создав трехмерную реконструкцию.

Мы обнаружили значительные изменения в дендритах нервных клеток. Дендриты — пальцеобразные отростки клетки, которые получают химические сигналы от других нейронов (похожие отростки, занимающиеся передачей сигналов, называются аксонами). В исследованиях, недавно

проведенных в нашей лаборатории, было обнаружено, что приводящие к слабой ионизации (имеющие низкую ЛПЭ) рентгеновское и гамма-излучения вызывают достоверное уменьшение длины, площади и разветвленности дендритов через десять и 30 дней. Все вместе свидетельствует о снижении дендритной сложности. Это важнейший параметр, который можно было бы сравнить со степенью ветвления дерева. И в недавно проведенных исследованиях, результаты которых опубликованы в 2015 г. в журнале *Science Advances*, мы также обнаружили, что воздействие даже очень низкими дозами заряженных частиц может вызывать значительное и необратимое упрощение дендритного дерева.

Более того, изменения происходили в конкретной области мозга — медиальной префронтальной коре, которая, как известно, участвует в формировании памяти, и на основе наших поведенческих тестов мы предполагали, что она может повреждаться. Это не значит, что в других областях мозга повреждений нет и что другие нейронные системы остались ненарушенными. Но в нашем исследовании благодаря сочетанию поведенческих изысканий с нейровизуализацией мы выявили связь между когнитивными нарушениями и структурными изменениями именно в этих участках мозга.

Мы изучили полученные срезы при сильном увеличении, чтобы найти доказательства других структурных изменений, происходящих с шипиками — маленькими, меньше микрона, выростами на дендритах, обеспечивающими обучение и память. Если дендриты — как ветки на дереве, то дендритные шипики — как листья на ветках. Они позволяют образовывать синапсы, с помощью которых нейрон получает сигнал от другой клетки, и могут быть разной формы и выполнять разные задачи. И в нашей старой работе, где мы использовали рентгеновские лучи и протоны, и в более поздней с заряженными частицами оказалось, что дендритные шипики крайне чувствительны к облучению. Мы обнаружили, что плотность шипиков, то есть их количество на единицу длины дендрита, у мышей была снижена и через короткий промежуток времени после облучения (десять дней), и спустя более длительный период (шесть недель). Такие серьезные и стойкие последствия означают, что заряженные частицы могут вызывать структурные изменения в мозге, уменьшая число синаптических связей и нарушая способность нейронов передавать сигналы.

Для того чтобы убедиться, что перемены в мышном поведении вызваны теми изменениями, которые были обнаружены в нейронах, мы сопоставили поведенческие результаты каждого животного с плотностью дендритных шипиков у него в мозге. Мы получили подтверждение тому, что по мере снижения плотности шипиков

ухудшаются и когнитивные способности. Животные, хуже всего выполнявшие тесты (то есть терявшие интерес или желание исследовать новое), также имели более низкую плотность шипиков, а значит, нарушение когнитивных способностей было, хотя бы отчасти, связано со снижением их числа. Это было первое доказательство связи между структурными и поведенческими нарушениями у животных, подвергшихся космическому облучению.

Результаты экспериментов подтверждают то, о чем в NASA подозревали уже много лет: излучение может нарушать когнитивные способности космонавтов. До сих пор такие опасения в значительной степени были основаны на описании клинических случаев нарушений у пациентов с раком мозга, переживших лучевую терапию. Но раньше ученые не могли уверенно переносить эти результаты на космонавтов, поскольку различались и люди, и типы излучения, и его дозы. При лечении обычная суточная доза составляет 2 Гр, что превышает дозу, которую можно было бы получить, слетав на Марс и побыв там длительное время. При межпланетном перелете космонавт получит дозу примерно в 0,48 мГр (миллигрей) в день в течение примерно 360 дней полета туда и обратно и половину этой дозы во время пребывания на Марсе в течение года или более (благодаря большой массе планета частично блокирует излучение). Хотя суммарные дозы излучения в клинике значительно выше тех, что в космосе, рентгеновское и гамма-излучение, обычно используемое для борьбы с опухолями, слабоионизирующие (с низкой ЛПЭ), а заряженные частицы, которых мы опасаемся в космосе, сильноионизирующие (с высокой ЛПЭ). Поэтому было бы неправильно на основе результатов облучения раковых больных делать вывод о последствиях для космонавтов.

Наше исследование подтверждает предположения об опасности космического излучения для мозга космонавтов, но тут необходимо сделать важное замечание. Хотя мы использовали дозы излучения, сопоставимые с теми, которые наблюдаются в космосе, мы не могли облучать мышей с той же скоростью, с которой будут облучаться космонавты. Во время полета люди будут подвергаться облучению непрерывно в течение многих месяцев или даже лет. Но поскольку мы могли работать с ускорителем лишь ограниченное время, мыши получали ту же дозу за несколько минут. Такая большая разница в скорости может поставить наши выводы под сомнение, поскольку можно предположить, что если облучение производить медленно, то клетки успеют восстановиться. Однако на самом деле не похоже, чтобы такое различие имело большое значение, поскольку общая доза невелика (другими словами, частицы пролетают не часто) и наибольшую озабоченность

вызывают космические частицы с высокой ЛПЭ, вызывающей сильные повреждения клеток, которые сложно исправить независимо от того, с какой скоростью происходит облучение. Наконец, в большей части мозга не происходит образования новых нейронов, что сильно затрудняет восстановление. И хотя наши результаты получены при облучении грызунов, а не людей, нет оснований полагать, что человеческие нейроны будут реагировать на космическое излучение иначе, чем мышинные в нашем эксперименте.

Есть ли будущее у дальних космических полетов?

Чтобы отправить людей в полет по Солнечной системе, надо преодолеть большие трудности. Для отправки на Марс и в другие части Солнечной системы космонавтам понадобятся более мощные ракеты, чем те, которые используют сейчас. Прибыв на место, им надо будет где-то жить, добывать воду и топливо из местных источников. Теперь к списку проблем прибавилась необходимость защитить людей от излучения, которое может проходить сквозь самые прочные преграды.

Первый способ преодоления этой проблемы — использовать защитные материалы, которые останавливают радиацию, прежде чем она сможет нанести вред. Ими должны быть покрыты космические корабли и дома или скафандры и одежда. На сегодня единственный известный ученым способ защиты от излучения — применение плотных и тяжелых материалов, таких как свинец. Это эффективно, но крайне непрактично, поскольку материалы слишком тяжелые и потребуются использовать много ракетного топлива для перемещения подобного веса. Сейчас пытаются создать улучшенные защитные материалы и технические системы контроля, чтобы усилить защиту отдельных отсеков космического корабля. Космонавты смогут находиться в этих более защищенных отсеках в периоды повышенной солнечной активности, а на время сна или выхода в открытый космос будут надевать шлемы и скафандры, обеспечивающие максимальную защиту от излучения. Для этого понадобятся новые материалы, обеспечивающие защиту принципиально лучше современных.

Ученые также разрабатывают пищевые и лекарственные добавки. Космонавты должны будут принимать их регулярно или после острого облучения (например, после сильной солнечной бури), чтобы смягчить последствия от воздействия радиации на мозг. Например, при тестировании на мышах антиоксиданты зарекомендовали себя как перспективное средство для частичного предотвращения повреждений при облучении. Кроме того, ученые продвинулись на пути создания препаратов, укрепляющих нервную систему и помогающих мозгу сохранить работоспособность

после получения повреждения. Однако все эти исследования находятся сейчас на ранних стадиях и ни один из препаратов не сможет стать панацеей. Мы не можем избежать повреждений, в лучшем случае можно надеяться на то, чтобы их уменьшить. Кроме того, необходимо продолжить изучать влияние космических лучей и на мозг, и на весь организм в целом, чтобы детальнее выяснить, какой риск для здоровья в краткосрочной и долгосрочной перспективе может нести продолжительное облучение. Наши исследования показали тот аспект опасности дальних космических полетов, который, вероятно, был сильно недооценен. Например, об опасности раковых заболеваний из-за облучения известно гораздо лучше, но это может быть не так важно, поскольку большинство радиогенных форм рака развиваются довольно долго. А мы показали, что даже слабое воздействие космическим излучением вызывает повреждения нейронов и когнитивные нарушения у мышей — и весьма вероятно, что и у людей.

Еще одна причина для беспокойства заключается в том, что вызванные облучением изменения сохраняются. Пока рано утверждать, что облучение приводит к необратимым последствиям, но на данный момент ученые не обнаружили никаких признаков того, что поврежденные дендриты и исчезнувшие после облучения шипики могут сами по себе восстанавливаться. Поэтому, пока исследователи не найдут способов обеспечить заживление тканей мозга, поврежденных облучением, лучшее, что мы можем сделать, — это защитить еще не поврежденные структуры.

Космическое излучение может оказаться одним из самых серьезных препятствий при полетах на Марс и в более удаленные области. И хотя наши выводы не бесспорны, будет трудно игнорировать имеющиеся сведения и их возможное значение для будущего освоения космоса. Означает ли это, что мы навсегда привязаны к Земле? Наверное, нет. Это просто еще одно препятствие, которое надо преодолеть человечеству прежде, чем мы сможем встретиться с нашей главной проблемой или, возможно, нашим величайшим успехом. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Space Radiation Risks to the Central Nervous System. Francis A. Cucinotta et al. in *Life Sciences in Space Research*, Vol. 2, pages 54–69; July 2014.
- What Happens to Your Brain on the Way to Mars. Vipani K. Parihar et al. in *Science Advances*, Vol. 1, No. 4, Article No. e1400256; May 2015.
- The Biological Effects of Low-Level Ionizing Radiation. Arthur C. Upton; SA, February 1982.

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



Беспроводная коммуникация:
жительница греческой деревушки
Антии Кириакула Яннакари пере-
свистывается с соседями

ЛИНГВИСТИКА

Свистящие ЯЗЫКИ

Задолго до изобретения смартфонов и даже азбуки Морзе люди научились общаться на больших расстояниях при помощи свиста. Эта удивительная форма коммуникации до сих пор завораживает лингвистов во всем мире

Жюльен Мейер

ОБ АВТОРЕ

Жюльен Мейер (Julien Meyer) — лингвист и исследователь в области биоакустики Французского национального центра научных исследований, сотрудник научной лаборатории GIPSA-lab в Гренобле (Франция). Занимается проблемами фонетики, исследует когнитивные механизмы, лежащие в основе языковой деятельности человека, изучает специфику языков в отдаленных регионах мира. Возглавляет проект изучения альтернативных форм языкового общения *Icon-Eco-Speech Project*, один из основателей Ассоциации научных исследований свистящих языков мира, которая занимается описанием и охраной свистящих языков.



Одним весенним утром в крошечной греческой деревушке Антии хозяйка небольшой таверны Панайотиса Кефаласа вызывает на связь его подруга Кириакула, которая живет на расстоянии 200 м от его заведения. Панайотис как раз собирается пойти к ней в гости на завтрак. Вызов поступает не по телефону, а свободно летит по воздуху от уст Кириакулы в уши Панайотиса. Весь диалог укладывается в несколько пронзительных трелей:

— Добро пожаловать! Как дела? — свистит Кириакула.

Панайотис поджимает губы и отвечает:

— Хочу есть!

— Хорошо!

— Мне оmlет, пожалуйста!



Любой человек, никогда не бывавший в этих краях, был бы сильно озадачен. Начало приветствия Кириакулы, фраза «Добро пожаловать!» (*kalós írthate* на латинице), звучит как лихой присвист вслед проходящей мимо красоте: «Фьюить, фью-у-у!», только на последнем долгом слогe интонация резко идет вверх.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Задолго до повсеместного распространения средств электронной коммуникации жители маленьких деревень, укромно расположенных в горах и лесах, переложили родной язык на свист, чтобы пересвистываться от холма к холму и даже от дома к дому.
- Еще Геродот писал о свистящих языках в четвертой книге своей «Истории», однако лингвисты только сейчас начали проявлять интерес к звучанию и смысловому наполнению этого уникального и уже находящегося на грани исчезновения вида коммуникации.
- Ряд недавно проведенных исследований показал, что свистящие языки распространены по всему миру. Сегодня в мире насчитывается около 70 поселений, где люди пользуются свистящей речью в повседневном общении. Ранее считали, что таких общин не более дюжины.
- В настоящее время реализуются попытки возродить интерес к свистящим языкам. Например, на одном из Канарских островов местный свистящий язык включен в обязательную школьную программу. Свистящие языки — это не только часть культурного наследия человечества, но еще и ключ к более глубокому пониманию механизмов обработки информации человеческим мозгом.



1

Виртуозные трели жительницы Антии Георгии Янна-кари вызывают восхищение у Марии Кефалы, эксперта в области перевода со свистящего греческого языка (1, в розовом). Яннис Ципас (2, посередине) обучает своего сына Вассилиса свистящему языку, которому он сам научился у своей матери Аристи (слева).



2

Свистящим языком в Антии владеют всего несколько десятков человек. Эта постепенно вымирающая традиция — разговаривать при помощи свиста — на протяжении многих веков служила надежным средством общения пастухам, гонящим коз и овец по соседним холмам, ведь свист разносится намного дальше, чем крик, и не перетруждает голосовые связки. И даже сегодня старожилы этой крошечной деревеньки на юге острова Эвбея, второго по величине в Греции, иногда прибегают к этому допотопному беспроводному способу передачи информации на дальние расстояния, когда хотя бы обменяться последними новостями и слухами не отходя от дома или пригласить соседа на завтрак.

Я записал диалог между Панайотисом и Кириакулой в мае 2004 г. Свистящие языки я изучаю с начала 2000-х гг., и искать их зачастую приходится в самых укромных уголках планеты: на островах, в горах, в джунглях. С тех пор нам с коллегами, представителями самых разных организаций, удалось обнаружить много ранее не изученных свистящих языков. В ходе наших

исследований мы измеряли невероятные расстояния, которые может покрывать свист, изучали способы передачи целых предложений с плотной струей воздуха, выходящей через полусомкнутые губы, а также пытались понять, каким образом мозг получателя свистового сообщения обрабатывает полученную информацию.

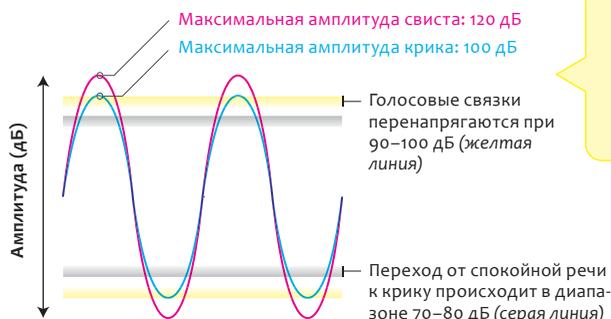
Как все начиналось

Я заинтересовался свистящими языками почти 20 лет назад, когда наткнулся на статью в журнале *Scientific American* 1957 г., в которой говорилось о необычном языке сильбо гомеро, которым до сих пор пользуются жители одного из Канарских островов — острова Гомера. Мне захотелось узнать об этом языке больше, и в 2003 г. я начал писать о свистящих языках докторскую диссертацию.

В 1957 г., когда эта статья вышла в свет, очень немногие ученые занимались проблемой свистящих языков, несмотря на то что это очень древний способ общения: еще Геродот в «Мельпомене», четвертой книге «Истории», описывал пещерных эфиопов, которые «шипят, как летучие мыши». К 2003 г.

Физика поджатых губ и воздушной струи

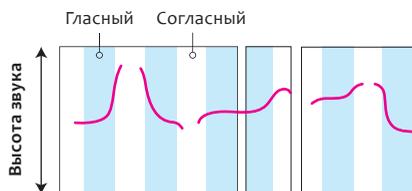
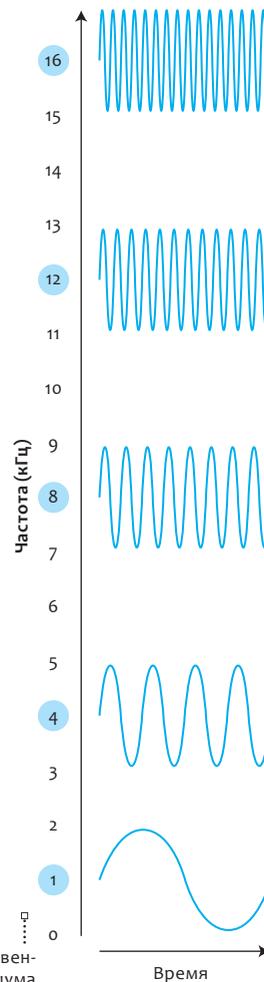
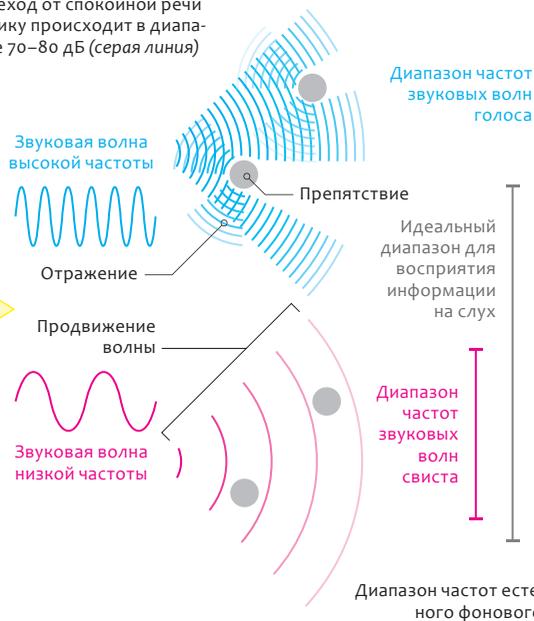
Свистящий язык — это альтернативный обычному языку способ передачи информации с помощью плотного потока воздуха, закручивающегося турбулентными вихрями у краев губ. В свистящей речи звуковой сигнал имеет всего одну частоту, в нем отсутствуют свойственные голосу гармонические колебания, однако этой одной частоты в разных модуляциях для передачи гласных и согласных звуков в нетональном языке (например, в греческом, турецком или испанском) оказывается вполне достаточно для того, чтобы коммуникация состоялась, что позволяет исследовать когнитивные способности человеческого мозга с необычных позиций.



Максимальная амплитуда (громкость) свиста достигает 120 дБ, крика — 100 дБ. При громкости крика 100 дБ у кричащего человека быстро устают голосовые связки.

Порождаемые свистом звуковые волны имеют всего одну частоту, которая изменяется в пределах оптимального для слухового восприятия диапазона частот, в отличие от голосовых звуковых волн, которые распространяются одновременно на нескольких частотах и охватывают гораздо более широкий частотный диапазон.

Когда звук распространяется в идеальных условиях, он теряет примерно 6 дБ громкости каждый раз, когда расстояние до источника звука удваивается. Он может также наткнуться на препятствия — поверхность земли, стволы деревьев — и отражаться от них. Голосовые волны распространяются на разных частотах одновременно, волны разных частот отражаются от препятствий по-разному. В отличие от голоса свист представляет собой несколько волн всего одной низкой частоты, которые, тем не менее, способны переносить большие объемы лингвистической информации. Благодаря низкой частоте звуковой волны свист может беспрепятственно проходить сквозь такие препятствия, как, например, густые заросли, и преодолевать значительные расстояния.



Акустические характеристики свиста позволяют передавать свистовые сообщения на расстояния, в десять раз превышающие те, которые способен пройти крик. В горных долинах, где условия для распространения звука самые благоприятные, свист слышен на расстоянии нескольких километров.

Во всех свистящих языках, например в испанском *силльо гомеро* на Канарских островах, гласные и согласные звуки производятся примерно так же, как в обычной речи: за счет изменения высоты звука и создания преграды для потока воздуха. Таким образом, большая часть информации, заложенной в гласных и согласных звуках, передается через изменение частоты и громкости звука. В обычной речи принципиальную роль в различении гласных и согласных играет также тембр, но на больших расстояниях тембровые различия теряются, а свистящий язык позволяет весьма четко просвистывать практически любые сообщения и передавать их на дальние расстояния.



интерес к свистящим языкам усилился, однако исследований, посвященных изучению звуков и смыслов свистящей речи, по-прежнему было мало и исследователи по большей части писали только об одном таком языке — силбо гомеро.

Строго говоря, термин «свистящий язык» неправильный. В данном случае свист — это не отдельный язык и даже не диалект, это скорее надстройка к вербальному языку. Слова фразы на греческом языке *Voró na ého omeléta?* («Мне оmlет, пожалуйста») озвучиваются не голосом, а свистом. Звуки, которые могли бы быть произнесены как слова, претерпевают кардинальную трансформацию: в их создании участвуют не голосовые связки, а плотный поток воздуха, закручивающийся турбулентными вихрями у краев губ. При этом язык и челюсть издающего свист человека двигаются так же, как если бы он говорил, однако амплитуда движений более ограниченная. В свистящей речи меняется только высота свиста, а в разговорной речи может меняться еще и тембр (наряду с высотой и громкостью звука).

Слова, которые жители Антии перекладывают на свист, — это слова обычного греческого языка. Некоторые лингвисты даже приравнивают свистящий язык к шепоту в том смысле, что один и тот же язык можно оформить в звук и тем и другим способом, не тревожа при этом голосовые связки. Автор той самой статьи в *Scientific American* лингвист Андре Класе (André Classe) назвал свист «информационным остовом» речи, имея в виду максимальную акустическую упрощенность звукового сигнала. Он также обратил внимание на то, что слова, оформленные в свист, несколько сложнее разобрать, чем те же слова, переданные с помощью голоса, однако пониманию смысла высказывания это не мешает.

В самом начале моей исследовательской работы мне попалось несколько любопытных документов, составленных путешественниками, колонизаторами, чиновниками, миссионерами и антропологами, в которых было описано приблизительно 10–12 разных свистящих языков. Благодаря этим находкам я сделал вывод, что в мире должно существовать немало языков, обладающих свистящими аналогами.

Так в начале 2000-х гг. я отправился в 14-месячное путешествие по миру вместе с моей коллегой Лаурой Дентел (Laure Dentel). Мы искали места на планете, где, по нашим предположениям, могли использоваться свистящие языки. Вернувшись из этого путешествия, я объединил усилия с другими исследователями, и мы возобновили полевую работу. Вместе с лингвистом Элиссандрой Баррос да Сильва (Elissandra Barros da Silva) из Бразилии и антропологом Дамьеном Дэви (Damien Davy) из Французской Гвианы мы записали в джунглях Амазонки свистящий язык племени

уаямпи, вместе с Лаурой Дентел мы исследовали языки племен акха и хмонг в Юго-Восточной Азии, а с лингвистом Рашидом Ридуаном (Rachid Ridouane) мы описали свистящую разновидность языка тамазигхт, которой пользуются берберы, живущие в Атласских горах Марокко. В 2009 г. к нам с Лаурой Дентел присоединился лингвист Денни Мур (Denny Moor) и мы втроем приступили к работе над проектом, курируемым лингвистическим отделением Музея Эмилио Гоэлди в городе Белене (Бразилия, штат Пара): нам поручили описать и записать свистящий язык гавиану в штате Рондония в Амазонии. Этим проектом мы занимались пять лет.

В своих исследованиях мы применяли самые последние достижения акустики и лингвистики и использовали методы из самых разных областей научного знания: фонетики, психолингвистики, биоакустики, социолингвистики. Так, для записи

Недавние исследования доказывают, что свистящие языки могут послужить ключом к еще более глубокому пониманию механизмов обработки информации в человеческом мозге

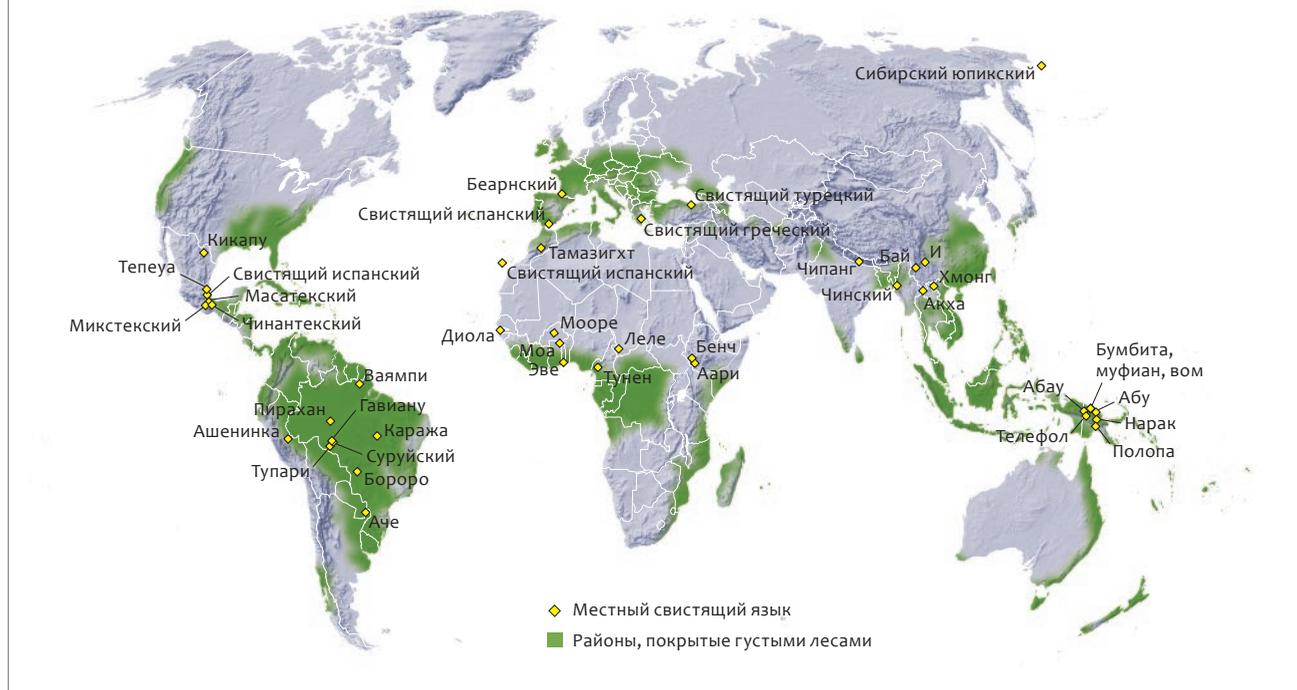
свистящей речи мы использовали методы, которые применяются в биоакустике для записи коммуникации животных в дикой природе, потому что они как нельзя лучше подходят для изучения передачи информации на дальние расстояния с помощью свиста.

В ходе исследований мы обнаружили, что в свистящей речи существуют разные способы извлечения звука: кто-то поджимает губы, кто-то засовывает в рот пальцы, а кто-то дует в древесный лист или незатейливую деревянную флейту. Разные способы могут комбинироваться в зависимости от расстояния, на которое полетит свистовое сообщение. Процесс распознавания слов в потоке свиста зависит от роли тона в вербальном языке: например, в мандаринском или кантонском диалектах китайского языка тон выполняет смысло-различительную функцию, а в греческом и испанском языках он лишь помогает подчеркивать определенные слоги в словах. В тональных языках восходящий тон в свисте — это повышение тона в обычной речи, а в нетональных языках ровный тон свиста обозначает гласную, а высота тона — конкретный гласный звук: звук *i* может

Карта свистящих языков мира

За последние 15 лет благодаря антропологам, миссионерам, путешественникам и др. география известных ученым свистящих языков существенно расширилась, а их количество выросло с 10–12 до 70. На эту карту нанесены все известные и описанные на сегодня свистящие языки, некоторые записаны в аудиоформате. Исследовательская работа продолжается,

и можно ждать дальнейших открытий при условии, что традиционный уклад жизни людей, которые говорят на еще не изученных свистящих языках, не подвергнется разрушительному влиянию современных технологий. Свистящие языки чаще всего используются для передачи сообщений на дальние расстояния в горных или сильно заросших лесами районах.



быть передан более высоким тоном, а звук *e* — более низким. Согласные звуки как в тональных, так и в нетональных языках в свистящей речи представляют собой скачкообразные переходы разной степени отрывистости от одной высоты тона к другой.

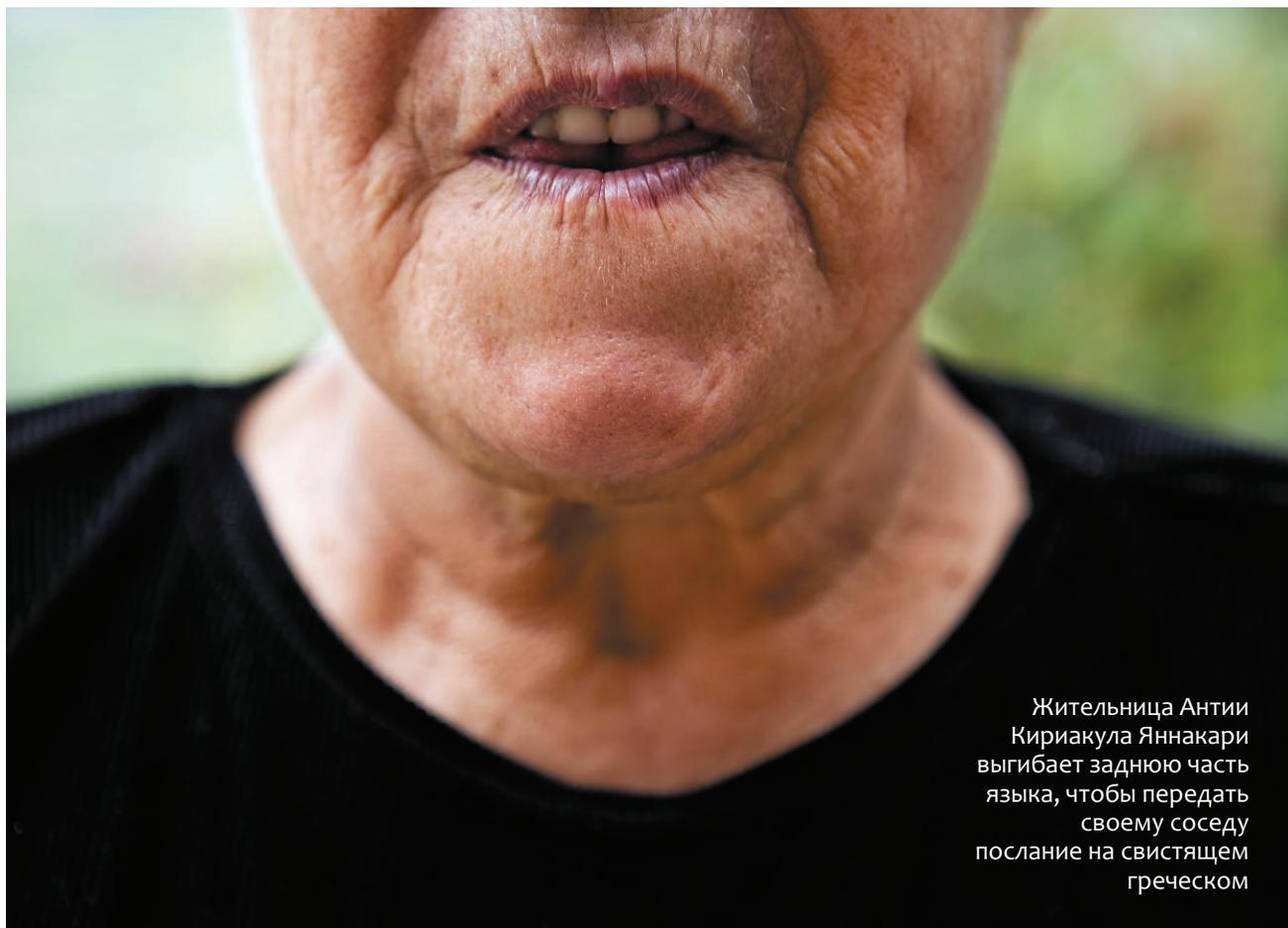
На что способен свист

На сегодня нашими совместными усилиями зафиксировано около 70 поселений, жители которых пользуются свистящей речью в повседневном общении. По большей части все они находятся в изолированных от большого мира горных регионах и районах, покрытых густыми лесами. Всего 70 — это капля в море 7 тыс. языков мира, однако это намного больше, чем считали вначале. Как предполагалось и ранее, везде свистящий язык используется главным образом для передачи сообщений на большие расстояния, чем способен преодолеть крик, однако у такого свиста есть и другие функции: свистящая речь широко используется в ритуалах ухаживания, а также тогда, когда вокруг слишком шумно или когда нужно передать тайное сообщение в присутствии не владеющих свистящим языком людей («Прячься! Полиция!»). Общение свистом помогает охотникам в амазонских

джунглях выслеживать добычу, потому что животные не воспринимают свист как признак присутствия человека.

Акустический анализ свистовых сообщений, передаваемых на большие расстояния, показывает, что при благоприятных погодных и топографических условиях свист внятно слышен на расстоянии в несколько километров. Частота свиста лежит в диапазоне от 0,9 до 4 кГц — как утверждают связисты, именно в таком диапазоне лучше всего распознаются компоненты звуков, из которых состоят слова. Мы провели эксперимент во Французских Альпах: спокойную речь можно было понять на расстоянии не более 40 м, крик можно было разобрать на расстоянии не более 200 м, а свист был хорошо различим даже на расстоянии в 700 м. Конечно, это не рекорд дальности передачи свистового сообщения, однако это важный показатель того, что свист имеет явное преимущество перед криком в обычных условиях с фоновым шумом и легким ветром.

Опыт изучения свистящих языков помог лингвистам доказать способность человеческого мозга распознавать слова и предложения в акустическом сигнале, который несет намного меньше информации, чем человеческий голос. Свист имеет всего



Жительница Антии Кириакула Яннакари выгибает заднюю часть языка, чтобы передать своему соседу послание на свистящем греческом

одну частоту и сильно уступает голосу по количеству обертонов. Однако оказывается, что даже эта одна частота в разных модуляциях способна передать тот минимум речевой информации, который необходим для того, чтобы коммуникация состоялась. Таким образом, свистящая речь становится важным инструментом исследования когнитивных способностей человеческого мозга в дополнение к традиционным способам.

Несколько десятилетий назад ученый-биоакустик Рене-Ги Бюснель (René-Guy Busnel), с которым я сотрудничаю с самого начала работы над докторской диссертацией, опубликовал результаты исследования, посвященного особенностям распознавания свистящей речи, которое он провел в горной деревне Кускей на северо-востоке Турции. Местные жители общаются на свистящем языке, который они называют «язык птиц». Исследование показало, что на небольших расстояниях участники свистовой коммуникации распознают отдельные слова в потоке свиста в 70% случаев по сравнению с 95% в обычном разговоре и способны восстановить всю услышанную фразу целиком в восьми случаях из десяти на таких расстояниях, где лицо собеседника практически неразличимо. Выводы Бюснеля побудили меня

провести аналогичное исследование, результаты которого были опубликованы в 2013 г.: постепенно увеличивая расстояние между говорящим и слушающим, мы с коллегами наблюдали, как это влияет на разборчивость сообщения. Мы выяснили, что в обычном разговоре уже на расстоянии 17 м адресат послания способен разобрать не более 70% слов. Мы также обнаружили, что свистящие и звонкие шипящие согласные (родственные свисту сибиланты) сохраняют разборчивость свыше 90% на расстояниях до 33 м. С учетом выводов Бюснеля можно утверждать, что в ситуациях, когда необходимо передать сообщение на расстоянии в 20–30 м и более, свистящая речь оказывается намного эффективнее обычной.

Мне также было интересно как лингвисту, насколько легко человек может освоить хотя бы основы свистящего языка. По традиции ребенка начинают обучать этому навыку сразу, как только он начинает говорить, однако мы решили выяснить, как освоение свистящего языка будет происходить у взрослых. Я дал 40 испано- и франкоговорящим студентам послушать свистящий язык сильбо гомеро. Все испытуемые без труда опознали в потоке свиста гласный звук: *a*, *e*, *i* или *o* (*u* в сильбо гомеро звучит так же, как *o*), при этом испаноговорящие

студенты были несколько точнее своих франкоговорящих товарищей. Тем не менее ни та ни другая группа не смогли бы тягаться с человеком, который в совершенстве владеет этим языком.

Левое и правое полушария

Нейробиологические аспекты свиста до сих пор изучены очень мало. Исследователи только начали обращать внимание на процессы, происходящие в речевых центрах человеческого мозга при общении свистом. Однако кое-какие подвижки все же есть. В статье, опубликованной в 2005 г. в журнале *Nature*, Мануэль Каррейрас (Manuel Carreiras), который тогда работал в Университете Ла-Лагуна на Тенерифе, и соавторы сообщили, что у людей, владеющих языком *силбо гомеро*, при прослушивании свистового сообщения активируется височная доля левого полушария головного мозга — именно тот участок мозга, что отвечает за восприятие языка. Это наблюдение говорит о том, что хорошо известные нам языковые центры мозга способны распознавать слова в потоке слуховой информации даже тогда, когда единственная характеристика поступающего сигнала — изменение высоты звука (как в музыкальной мелодии). Однако это не свойственно людям, незнакомым со свистящим языком.

Один исследователь заинтересовался вопросом, а только ли левое полушарие участвует в речевой деятельности. Сотрудник Рурского университета в Бохуме Онур Гюнтюркюн (Onur Güntürkün) провел эксперимент при участии носителей свистящего турецкого языка с целью проверить справедливость наших представлений о том, что большая часть речевых процессов сосредоточена в левом полушарии. Это действительно не раз уже было доказано на примерах самых разных языков: вокализованных (тональных и нетональных) и невокализованных (языке жестов и щелкающих языках). Гюнтюркюн взялся выяснить, принимает ли правое полушарие, которое отвечает за нашу способность воспринимать музыку и улавливать изменения высоты звуков, какое-либо участие в восприятии свистящей речи. В 2015 г. он опубликовал в журнале *Current Biology* написанную совместно с коллегами статью, которая описывала эксперимент, проведенный все в той же деревне Кускей. Жителям деревни давали послушать небольшие отрывки свистящей речи и следили за активностью их мозга. Опыт показал, что в обработке свистящих слогов заняты оба полушария, а при поступлении сигналов обычной речи почти всю нагрузку берет на себя левое полушарие. Эти результаты требуют проверки на примерах других свистящих языков, однако уже сейчас дают повод пересмотреть устоявшиеся мнения по поводу доминирующей роли левого полушария в восприятии языка.

Подобные исследования доказывают, что свистящие языки могут послужить ключом к еще более глубокому пониманию механизмов обработки информации в человеческом мозге. В настоящее время содействие таким исследованиям оказывают две организации, с которыми я активно сотрудничаю: Ассоциация научных исследований свистящих языков мира (основана в 2002 г.) и специально созданная мной в 2015 г. для изучения свистящих языков лаборатория *GIPSA-lab* при Французском национальном центре научных исследований.

В помощь ученым, изучающим свистящие языки, реализуются программы, направленные на сохранение таких языков как уникального вида коммуникации, представляющего собой часть культурного наследия разных стран. Дальше всех в этом направлении продвинулись Канарские острова. Еще в 1999 г. свистящий язык *силбо гомеро* стал обязательным предметом в начальных школах на острове Гомера; на острове реализуется государственная программа по подготовке преподавателей свистящего языка. Усилия по возрождению *силбо гомеро* подхватили и другие организации. Так, *Silbo Canario Hautaperche*, которая обучает взрослых и детей свистящему языку, запустила приложение для смартфонов *Yo Silbo*, с помощью которого можно отточить произношение свистовых фраз.

Если работа по сохранению свистящих языков будет продолжаться, тогда выражение «насвистеть себе на ужин» (*идиома английского языка, буквально означающая «делать что-либо, чтобы заслужить или заработать себе на еду».* — Примеч. пер.) приобретет совершенно иное звучание. Оно будет напоминать об удивительном способе коммуникации, который с помощью несложных комбинаций высоких свистящих звуков позволяет передать самую сложную мысль. ■

Перевод: А.С. Григорьева

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Typology and Acoustic Strategies of Whistled Languages: Phonetic Comparison and Perceptual Cues of Whistled Vowels. Julien Meyer in Journal of the International Phonetic Association, Vol. 38, No. 1, pages 69–94; April 2008.
- The Study of Tone and Related Phenomena in an Amazonian Tone Language: Gavião of Rondônia. Denny Moore and Julien Meyer in Language Documentation & Conservation, Vol. 8, pages 613–636; 2014.
- Whistled Languages: A Worldwide Inquiry on Human Whistled Speech. Julien Meyer. Springer-Verlag, 2015.
- Whistled Turkish Alters Language Asymmetries. Onur Güntürkün et al. in Current Biology, Vol. 25, No. 16, pages R706–R708; August 17, 2015.
- Ассоциация научных исследований свистящих языков мира: www.theworldwhistles.org



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ

СМОТРИТЕ НА NAUKATV.RU

Я ВНЕСОВЕЩА СРЕДА

С АЛЕКСАНДРОЙ ГОВОРЧЕНКО

 vk.com/tv_nauka

 facebook.com/nauka20

 youtube.com/c/naukatv

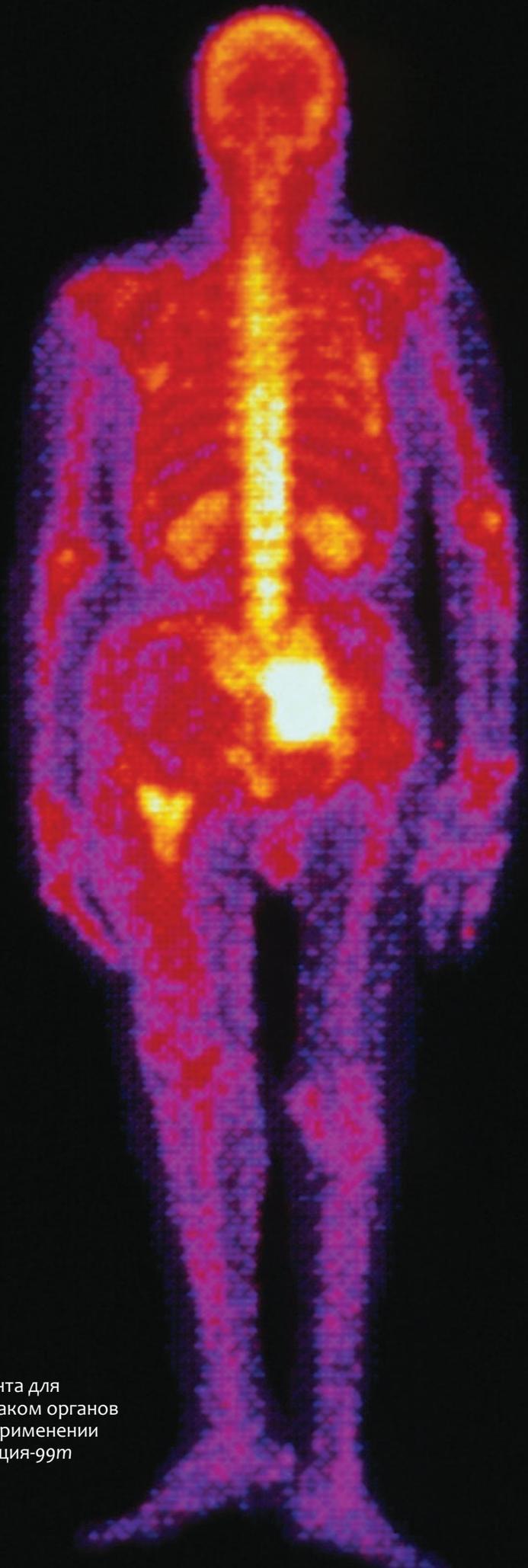
 naukatv.ru

СПРАШИВАЙТЕ У ОПЕРАТОРОВ ПЛАТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

ЦТ

ПОЗНАНИЕ

12+



Скрытое, ставшее явным:
сканирование тела пациента для
выявления пораженных раком органов
и тканей, основанное на применении
редкого изотопа — технеция-99m

СЛЕПАЯ МЕДИЦИНА

Обследование миллионов пациентов основано на применении редкого радиоактивного изотопа. Но старые атомные реакторы, в которых он вырабатывался, выходят из эксплуатации

Марк Пеплоу

Пациент Ванкуверской больницы, по венам которого течет кровь, содержащая атомы радиоактивного элемента, совершенно спокоен. Он неподвижно лежит на каталке особой конструкции, которая плавно въезжает в полость тороидального сканера. Одна из его ног повреждена, и сканер делает 3D-снимки костей и окружающих их мягких тканей, визуализируя место повреждения по скоплению атомов радиоактивного изотопа.

Подобную процедуру ежегодно проходят более 30 млн больных. Одним она нужна для диагностирования сердечной аритмии, другим — для обнаружения опухолей и метастазов, третьим — для

обследования головного мозга после инсульта. В основе визуализации лежит процесс испускания фотонов радионуклидом технецием-99m, а сам метод называется однофотонной эмиссионной компьютерной томографией. Введение этого изотопа пациенту открывает «окно» к его внутренним органам и тканям, позволяя увидеть повреждения в них в деталях, недоступных ни одному другому методу. Доза, получаемая пациентом, настолько мала, что его организму ничего не грозит.

К сожалению, скоро этой идиллии может прийти конец. Радиоактивные изотопы, циркулирующие в крови нашего пациента, рождаются в атомном реакторе, почти отслужившем свое и расположенном

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Редкий изотоп технеций-99m, применяемый при сканировании тела пациентов, спасает жизнь многим из них.
- До недавнего времени этот изотоп добывали из отработанного топлива атомных реакторов, в большинстве своем построенных очень давно и подлежащих закрытию.
- Во избежание дефицита технеция-99m разрабатываются новые методы его получения. Один из них основан на применении ускорителей элементарных частиц.

ОБ АВТОРЕ

Марк Пеплоу (Mark Peplow) занимается научной журналистикой. Перевод его статьи о будущем наномедицины можно прочитать в № 5–6 нашего журнала за 2015 г.



за тысячи километров от Ванкувера в Чок-Ривер, провинция Онтарио. 31 октября 2016 г. этот реактор прекратил выработку материала — источника технеция-99m, и сегодня Северная Америка осталась без собственного столь необходимого ей изотопа. Реактор в Чок-Ривер окончательно закрывается в течение ближайших нескольких лет — и тогда ситуация еще более усугубится.

Почти весь технеций медицины получают всего из шести реакторов, предназначенных для исследовательских целей. Четырем из них более 50 лет, и с ними все время что-то случается. Два других, в Бельгии и Голландии, сегодня удовлетворяют потребности в технеции-99m лишь на 50% и прекратят существование в ближайшее десятилетие. На строительство новых атомных электростанций уйдет более декады. В сентябре прошлого года Национальная академия наук и входящие в ее состав Национальная инженерная академия и Институт медицины выступили с тревожным заявлением, в котором говорится о реальной угрозе глобально-го дефицита технеция-99m.

Врачи-радиологи крайне обеспокоены. «Этот изотоп нужен нам ежедневно», — говорит Эрик Теркотт (Eric Turcotte), специалист по медицинской радиологии из Шербрукского университета в провинции Квебек. Обследования с его использованием особенно ценны при диагностировании рака или перелома костей (когда нужно обнаружить мельчайшие повреждения), а также для выявления мест закупорки сердечных артерий. Метод часто применяют при обследовании больных с болями в позвоночнике. Другие методы менее прецизионны и требуют более высоких доз облучения. Бенджамин Чоу (Benjamin Chow), кардиолог из Кардиологического института при Оттавском университете, говорит, что теперь врачам придется вернуться к менее точным методам диагностики, сопряженным с большим риском для пациентов.

Другая серьезная проблема заключается в том, что при наличии всего нескольких источников изотопа высок риск прерывания его поставок. Почти все используемые в радиологии изотопы распадаются в течение суток, поэтому их нельзя запасать впрок. Каждый короткоживущий изотоп, предназначенный для обследования пациента, должен использоваться сразу же после изъятия из контейнера его источника — какого-нибудь долгоживущего изотопа, в данном случае — молибдена-99. Его нужно доставлять к месту назначения

раз в несколько дней из места расположения реактора, где он вырабатывается. Нелетная погода, перенос рейса могут означать отмену очередного сканирования.

Регулярные перевозки контейнеров с радиоактивными изотопами облегчают доступ к ним терриористов. Для получения молибдена-99 в большинстве реакторов используется высокообогащенный уран. Поэтому мировое сообщество решительно настроено на прекращение его использования к 2020 г. Но чтобы перевести реактор в режим работы на уран низкообогащенный, опять-таки нужно время, кроме того, на таком топливе вырабатывается меньше молибдена-99.

Чтобы выйти из этого тупика, американские и канадские исследователи разрабатывают совершенно новые технологии получения молибдена-99 и технеция-99m, в которых вместо реакторов используются ускорители элементарных частиц и другие устройства. Такие установки гораздо дешевле и дают меньше радиоактивных отходов.

Удачный выход

Инциденты с дефицитом молибдена-99 в медицинской практике уже случались. В 2009 и 2010 гг. были остановлены на длительный период реакторы в Дании и Канаде, что заставило клиницистов прибегнуть к альтернативным диагностическим тестам. «Кризис 2009 г. стал тревожным сигналом для всех нас, — вспоминает Салли Шварц (Sally Schwarz), президент Общества медицинской радиологии и молекулярной визуализации. — Диагностическое тестирование пришлось приостановить, что не пошло на пользу пациентам. Нам не хотелось бы снова оказаться в подобной ситуации».

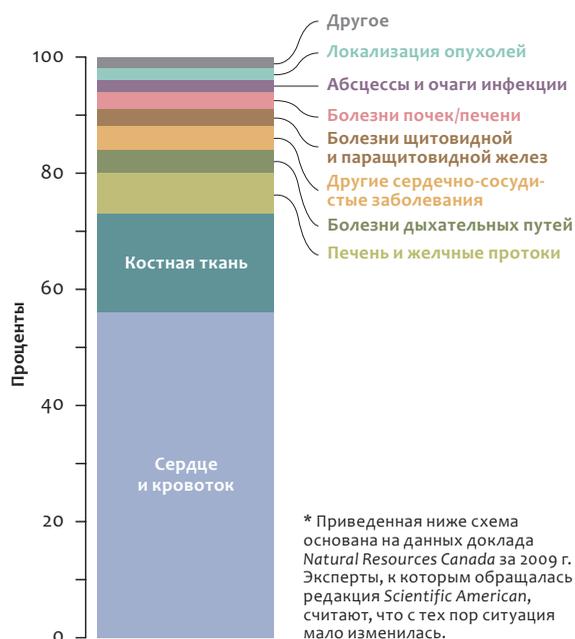
При тестировании, например, сердечно-сосудистой системы в таких случаях применяют другой изотоп, таллий-201. «Но получаемое при этом изображение менее четкое, а доза облучения увеличивается вдвое, — говорит Венкатеш Мерти (Venkatesh L. Murthy) из Мичиганского университета. — Не лучше и другие методы, например эхокардиография. Технеций-99m — оптимальный вариант в смысле разрешения, безопасности и цены».

Оценив все риски, правительство Канады приступило к реализации \$45-миллионной программы *Isotope Technology Acceleration Program (ITAP)* по получению технеция-99m альтернативными способами. Первая ее часть будет завершена к концу этого года.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ТЕСТЫ

Области применения жизненно важного изотопа

Изотоп технеций-99m используется ежегодно примерно в 30 млн сканирований в медицинских целях. Более половины из них — это тесты на наличие потенциально опасных для жизни сердечно-сосудистых заболеваний, вторая половина — тесты на выявление рака костных тканей, заболеваний почек и других патологий*.



Вместо огромного атомного реактора новая технология предполагает использовать небольшой ускоритель элементарных частиц циклотрон, который может быть размещен на территории клиники. Протоны, разогнанные в циклотроне до высоких скоростей, ударяют в мишень из молибдена-100, в результате чего образуется технеций-99m. Поскольку время его жизни мало, циклотрон может обслуживать только ближайшие медицинские учреждения. «Большинство крупных городов Канады готовы разместить такие устройства хоть сейчас, так что проблему удастся решить для всей страны», — говорит Пол Шаффер (Paul Schaffer), заместитель заведующего лабораторией и бывший руководитель отдела медицинского радиологии главного канадского циклотронного центра *TRIUMF* в Ванкувере. Уже проведены первые эксперименты, чтобы показать, что за шесть часов работы циклотрон вырабатывает технеций-99m в количестве, достаточном для удовлетворения потребности провинции Британская Колумбия с населением примерно 5 млн человек в расчете на 500 сканирований в день.

Сейчас этот двухметровый циклотрон находится в специальной постройке с толстой стальной

дверью в Ванкуверском подразделении Агентства по раку Британской Колумбии. По двум его тонким металлическим трубкам несутся протоны, разогнанные до скорости примерно в пять раз меньше скорости света. Они бомбардируют мишень — тонкую пластину длиной 10 см, покрытую слоем молибдена-100. Образующейся в результате шестичасовой бомбардировки технеций-99m выдавливают по трубке в высланную свинцом камеру, находящуюся в соседней комнате, где операторы очищают его от примесей. Полученного высокоочищенного технеция достаточно для проведения сотен тестов.

Ванкуверская клиническая больница совместно с Агентством по раку Британской Колумбии проводят клинические испытания с применением полученного таким способом технеция. Процесс его наработки начинается рано утром, а пациентов готовят к инъекции к 12 часам дня. По оценкам, технеций, полученный на циклотроне, столь же эффективен и безопасен, как и тот, что образуется в реакторе.

В прошлом году *TRIUMF* и другие партнеры *ITAP* основали компанию, цель которой — адаптация к новой технологии других циклотронов. Уже примерно 500 медицинских циклотронов по всему миру обладают мощностью, достаточной для получения технеция-99m, а кроме того снабжают изотопами позитронно-эмиссионные томографы. Какой-нибудь новый медицинский циклотрон может стоить \$5 млн, но эта цифра уменьшается раз в десять, если модифицировать соответствующим образом уже имеющиеся приборы. В 2014 г. Британское радиологическое медицинское общество рекомендовало идти именно этим путем для получения технеция-99m как наиболее коротким и экономичным. По мнению Шаффера, потребности Канады в этом изотопе могут полностью удовлетворить от 12 до 24 циклотронов.

Другие решения

К югу от канадской границы, в США, циклотроны, предназначенные для использования в медицине, не вызывают такого энтузиазма. Дело в том, что их уже давно изготавливают в этой стране, и эти старые модификации недостаточно мощны, чтобы генерировать высокоэнергетические пучки протонов.

В США сделали ставку на другие технологии. Одна из фирм, *NorthStar Medical Radioisotopes* в Мадисоне, штат Висконсин, намеревается использовать для получения технеция-99m линейный ускоритель электронов (*LINAC*). Генерируемое в нем высокоэнергетическое рентгеновское излучение выбивает нейтроны из молибдена-100, и он превращается в молибден-99, который распадается с образованием технеция. «На *LINAC* проще получить лицензию, чем на атомный реактор, стоит он меньше, чем циклотрон, это уже по сути массовое

изделие», — говорит Карл Росс (Carl Ross), ученый-физик, который работает на линейных ускорителях в Канадском национальном исследовательском центре.

К сожалению, обычные линейные ускорители вырабатывают молибден-99 в меньших концентрациях, чем реакторы. Поэтому компания *NorthStar* создала совершенно новую систему отделения технеция-99m от смеси изотопов молибдена, которые образуются в их линейных ускорителях. Для этого смесь пропускают через колонку с наполнителем, который связывает только технеций. Последний вымывают соевым раствором, а свободно прошедшие через колонку изотопы молибдена используют в других целях. Компания надеется, что клинические испытания ее продукта начнутся в этом году.

Увеличение продолжительности жизни населения в развитых странах приводит к тому, что все больше людей нуждается в обследовании сердечно-сосудистой системы и, следовательно, растет потребность в технеции-99m

Другой, вероятно, самый радикальный подход предлагает компания *SHINE Medical Technologies* из Мононы, штат Висконсин. Планируется получать молибден-99 бомбардировкой низкоэнергетического урана нейтронами, получаемыми в линейном ускорителе в результате соударения дейтерия и трития с образованием другого элемента, гелия, и нейтрона. Соударение нейтрона с атомом низкообогащенного урана приводит к распаду последнего, продукт которого — молибден-99. По утверждению компании, его концентрация сравнима с таковой для «контейнерного» метода. В феврале 2016 г. *SHINE* получила разрешение от Комиссии по регулированию использования атомной энергии США на строительство предприятия по производству своей продукции и полагает, что к 2020 г. оно вступит в строй.

Финансовый вопрос

Применение передовой технологии — еще не гарантия успеха: очень большую роль в ее продвижении играют деньги. «Ваш продукт должен быть конкурентоспособным в смысле стоимости, только

в этом случае его будут приобретать клиники», — говорит Франсуа Бенар (François Bénard), клиницист из Агентства по раку Британской Колумбии.

С использованием имеющихся на сегодня методов технеций в странах Северной Америки обходится клиникам в \$20–25 на одну дозу. Это гораздо ниже его реальной стоимости, поскольку федеральное правительство берет на себя значительную часть расходов по получению топлива для ядерных реакторов, переработке и хранению отходов и строительству самих реакторов. «Мы уже привыкли к тому, что фактически находимся на содержании у правительства, — говорит Шаффер. — Такая ситуация не может длиться бесконечно».

С развитием новых технологий и приватизацией системы управления всей производственной цепочкой процесс получения технеция-99m должен стать самокупаемым. По мнению Шаффера, в ближайшие несколько лет больницы Британской Колумбии будут покрывать до 40% расходов на получение нужного им изотопа.

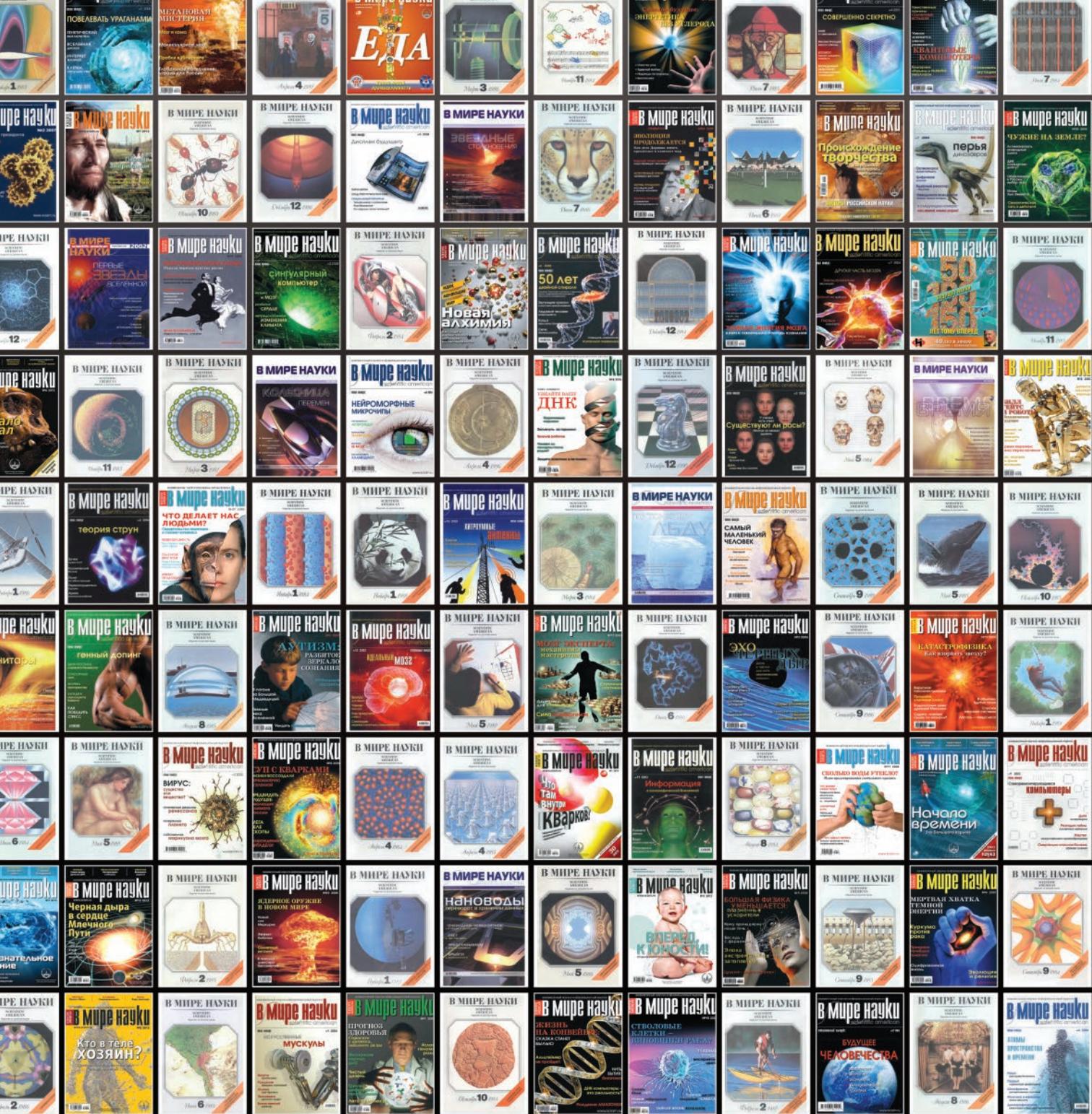
Стопроцентное покрытие поможет опереться стартапам. Но здесь вступают в свои права законы рынка. С одной стороны, увеличение продолжительности жизни населения в развитых странах приводит к тому, что все больше людей нуждается в обследовании сердечно-сосудистой системы и, следовательно, растет потребность в технеции-99m; к тому же быстро расширяется рынок в такой многонаселенной стране, как Китай.

С другой стороны, по данным Организации по экономическому развитию (*OECD*), во многих странах в последние годы потребность в технеции-99m неуклонно снижается. Экономический кризис 2009–2010 гг. заставил больницы уменьшить дозу изотопа при обследованиях, при этом качество изображения не ухудшается благодаря применению более совершенных компьютерных программ обработки данных. Как следствие, ожидается, что, если к 2021 г. новые реакторы и новые технологии встанут на ноги, возникнет переизбыток технеция-99m и цены на него упадут. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Lessons from the Tc-99m Shortage: Implications of Substituting Tl-201 for Tc-99m Single-Photon Emission Computed Tomography. Gary R. Small et al. in *Circulation: Cardiovascular Imaging*, Vol. 6, No. 5, pages 683–691; September 2013.
- Cardiac Stress Testing and the Radiotracer Supply Chain: Nuclear Freeze. Venkatesh L. Murthy et al. in *JAMA Cardiology*, Vol. 1, No. 5, pages 616–617; August 1, 2016.
- Molybdenum-99 for Medical Imaging. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. National Academies Press, 2016.



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







**ПИЛЮЛЯ
ЛИЧНО
ДЛЯ ВАС**

Персонафицированная медицина предлагает проводить генетическое тестирование пациентов, чтобы избежать назначения опасных для их здоровья лекарственных средств, но лечащие врачи неохотно идут на это

Дина Файн Марон

ОБ АВТОРЕ

Дина Файн Марон (Dina Fine Maron) — заместитель редактора журнала *Scientific American*.



К

ори Паркер — общительная семилетняя девочка с заразительной улыбкой; она на ходу сочиняет песенки и громко их распевает. В один из апрельских дней два года назад Кори вернулась домой из школы в Мемфисе, штат Теннесси, где живет вместе с родителями, с какими-то странными кровоподтеками на теле. Может быть, она и ударилась обо что-то несколько раз, но не так сильно, чтобы появились синяки. Ее мать Ронда позвонила врачу, и та велела прийти на прием в конце недели. Но утром Кори, проснувшись, увидела несколько новых пятен на руке и лбу. А когда она чистила зубы, десны стали кровоточить.

Мать с дочкой бросились в находящуюся поблизости от их дома Детскую исследовательскую больницу Св. Иуды. Обследование показало, что организм Кори вырабатывает слишком мало форменных элементов крови, что вызывает неостановимое кровотечение, появление синяков от малейших ударов и склонность к инфекционным заболеваниям. Болезнь, обнаруженная у Кори, называется тяжелой приобретенной апластической анемией.

Девочке немедленно ввели несколько препаратов, чтобы активировать кроветворную систему и повысить устойчивость к инфекции, а кроме того протестировали 230 генов, от продуктов которых зависит, какие препараты и в каких дозах оптимальны для данной больной. Известно, что некоторые генные варианты опосредуют быстрое

разрушение лекарственных веществ, и в таких случаях бесполезны даже большие их дозы.

Тестирование показало, что организм Кори слишком быстро разрушает вориконазол — препарат, назначенный ей для сдерживания грибковой инфекции. «Дочери ввели взрослую дозу, и не было похоже, что это помогло», — говорит Ронда. Пока никакого серьезного заболевания, вызванного грибами, у пациентки не было, но это могло случиться ввиду ее восприимчивости к инфекциям. Было решено прибегнуть к другому препарату: он разлагался в организме Кори с обычной скоростью и тем самым выполнял свою функцию.

Генетическое тестирование, предваряющее терапию, — важнейшая составляющая персонализированной медицины, при которой весь ход лечения соотносится с генетическим статусом

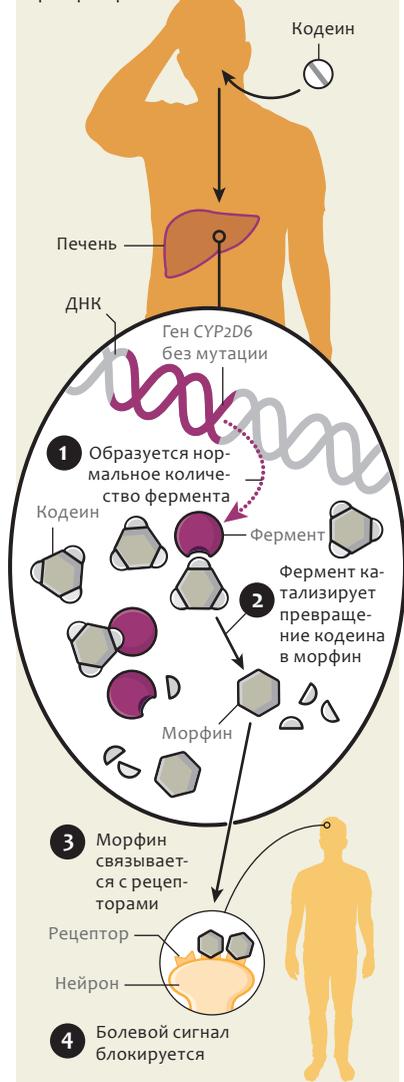
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Примерно половина пациентов медицинских учреждений хотя бы раз в год принимают лекарственные препараты, которые при взаимодействии с продуктами определенных генов дают опасные побочные эффекты.
- Недорогие генетические тесты, которые сегодня проводятся лишь в небольшом числе клиник, позволяют решить эту проблему.
- Нежелание страховых компаний включить такие инциденты в перечень оплачиваемых, а также неосведомленность лечащих врачей в вопросах генетического тестирования препятствуют широкому распространению нового метода тестирования.

Предупреждая боль

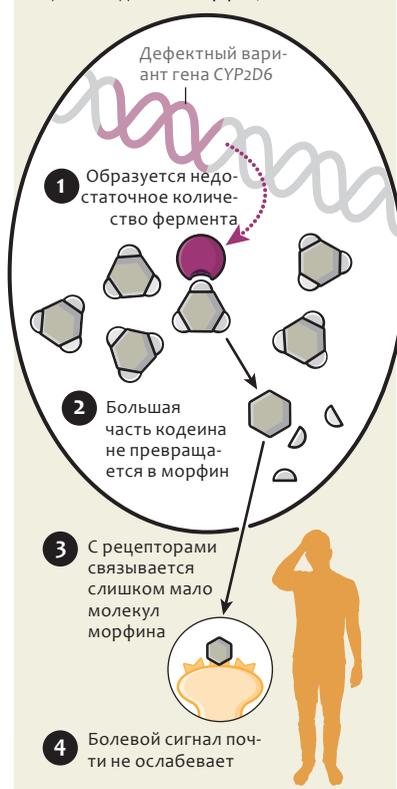
А Норма

Ген *CYP2D6* кодирует фермент, который участвует в расщеплении кодеина с образованием морфина. Когда у пациента обе аллели этого гена нормальные, в его организме образуется столько морфина, сколько необходимо для устранения боли. Последний связывается с соответствующими рецепторами в клетках головного и спинного мозга и блокирует распространение болевого сигнала.



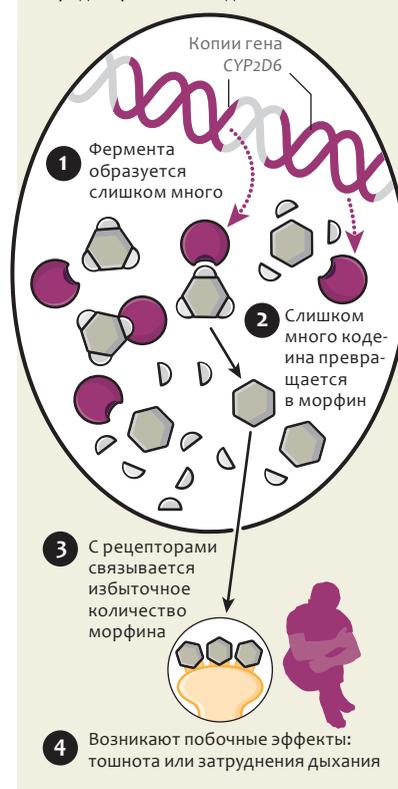
В Слишком мало

У 10% населения Земли в геноме содержится вариант гена *CYP2D6* с пониженной активностью или же этот ген вообще отсутствует. Уровень фермента, катализирующего превращение кодеина в морфин, снижен.



С Слишком много

Примерно у 2% населения Земли в геноме присутствует избыточное число копий гена *CYP2D6*. Фермент, катализирующий превращение кодеина в морфин, находится в избытке, и возникает передозировка последнего.



больного. Примечательно, что один из ее аспектов — генетически опосредуемый подбор лекарств, так называемая фармакогеномика, — уже взят на вооружение, и случай с Кори Паркер тому пример. Секвенирование всего генома человека обходится в сумму \$1 тыс., но для подбора лекарственного средства, как это было с Кори, достаточно секвенировать две-три сотни генов, соответственно уменьшилась и стоимость процедуры. «Наступает эра прецизионной

медицины, — говорит Дан Роуден (Dan Roden), заместитель директора Центра персонализированной медицины при Университете Вандербилта. — Ее заветный плод — фармакогеномика — уже созрел и готов упасть».

К сожалению, этот плод «по зубам» только горстке клиник. Во-первых, тестирование не покрывается страховкой, во-вторых, большинство врачей просто не знают, что делать с генетическими данными.

И вот печальный итог: люди продолжают болеть, хотя могли бы выздороветь. По оценкам, от 5 до 30% жителей земного шара несут такой же вариант гена, какой есть у Кори, и это влияет на результативность их лечения не только вориконазолом. Примерно 50% пациентов, прошедших через стационары, принимали тот или иной препарат, дающий серьезные побочные эффекты, связанные с их генетическими особенностями. Одно из исследований, проведенных в Центре Вандербилта, в ходе которого было проверено только шесть лекарственных препаратов, показало, что генное тестирование позволило бы избавить 52 942 пациента клиники примерно от 400 побочных эффектов данных препаратов. Если бы тестирование охватило более широкий круг лекарств и все население США, то счет пошел бы на сотни тысяч.

Стрельба в темноте

Практикующие врачи не привыкли иметь дело с фармакогеномикой. Десятилетиями они ориентировались на такие показатели, как возраст пациента, его вес, работа почек и печени. Их интересовало также, какие препараты принимает больной и каковы его личные предпочтения.

Если бы они вникли в генетику пациента, то вот что узнали бы, например, о таком известном обезболивающем, как кодеин. Обычно в нашем организме вырабатывается фермент *CYP2D6*, расщепляющий молекулы этого вещества с образованием активного ингредиента, морфина, который и устраняет боль. Но у 10% людей в геноме присутствует генный вариант, при котором фермента образуется слишком мало, так что кодеин почти не превращается в морфин. Примерно у 2% проблема противоположного характера: в их геноме содержится избыточное число копий гена, кодирующего данный фермент, что приводит к образованию слишком большого количества морфина. В таких случаях даже при малых дозах кодеина образуется так много морфина, что возникает передозировка.

Наличие такого рода связи объясняет некоторые давние медицинские курьезы. Еще в 510 г. до н.э. греческий математик Пифагор обнаружил, что у некоторых людей, употребляющих в пищу

большое количество фасоли определенного сорта, развивается болезнь, называемая сегодня гемолитической анемией; ее характерная черта — катастрофически быстрое разрушение эритроцитов. Спустя 2,5 тыс. лет ученые выяснили природу этого заболевания: у некоторых людей гены, отвечающие за образование фермента глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (*G6PD*), который предотвращает разрушение эритроцитов, содержат мутации. Те же самые мутации лежат в основе развития гемофилии у некоторых людей, принимающих определенные лекарственные препараты, например расбуриказу, часто назначаемую больным лейкозом.

Многие патологии такого рода можно устранить, уменьшив дозу препарата или заменив его. В статье, опубликованной в *Nature* в октябре 2015 г., сообщается об альтернативе 80 лекарственным средствам, влияющим нежелательным образом на работу примерно двух дюжин генов.

Целый ряд открытий в области взаимодействий между медицинскими препаратами и генами сделаны в стенах больницы Св. Иуды ее сотрудницей Мэри Реллинг (Mary Relling), возглавляющей отделение фармакологических исследований. Через эту клинику проходит множество детей, больных раком, и поскольку всем им так или иначе назначают химиотерапию, работников клиники беспокоит, не возникнет ли у вновь поступающих пациентов дополнительных побочных эффектов в связи с указанными взаимодействиями. Реллинг с коллегами уже много лет проводит тестирование на наличие таких взаимодействий — правда, в ограниченных масштабах. Но в мае 2011 г. она предприняла попытку тестирования всех поступающих в клинику больных.

У Реллинг и ее коллег есть одно важное преимущество: их не заботит наличие или отсутствие страховки у пациентов, средства на лечение клиника получает из фондов или грантов на научные исследования. Благодаря этому каждый новый пациент до начала какого-либо лечения проходит тест, охватывающий более 200 генов.

К марту 2016 г. в клинике накопились данные почти по 3 тыс. пациентам, представленные в электронном виде; они охватывают семь генов



Генетическое тестирование помогло лечащим врачам Кори Паркер (1) подобрать оптимальное лекарство. Другая пациентка той же больницы, Иден Брюэр, и ее лечащий врач Рауль Рибейро довольны — тестирование позволило обезопасить терапию (2).

и 23 лекарственных препарата. Одна из таких пациенток — Иден Брюэр, пятилетняя девочка с диагнозом «острый лимфобластный лейкоз». К счастью, генетическое тестирование не выявило у нее никаких мутаций, которые заставили бы лечащих врачей изменить намеченную схему лечения. Но при этом обнаружилось, что у пациентки могут возникнуть проблемы с другими лекарствами. Одно из них, симвастатин, назначают людям с повышенным содержанием холестерина в крови. Как оказалось, в геноме Иден содержится один из вариантов гена *SLCO1B1*, отчего ее организм не сможет метаболизировать симвастатин надлежащим образом. По невыясненным пока причинам такая патология иногда приводит к опасным для жизни повреждениям мышц. Симвастатин относится к числу часто назначаемых статинов, но Иден он противопоказан.

«Это здорово, что мы теперь обладаем такого рода знанием, — говорит Николь, мать Иден. — Оно пригодится нам не только здесь, в клинике, но и в дальнейшем». Если кто-то из врачей пропишет Иден этот препарат, в ее электронной истории болезни тут же появится запрещающая запись.

Прогресс налицо

Медицинский центр при Университете Вандербилта — одно из немногих учреждений в стране, где при выборе схемы терапии применяется фармакогеномика. Роуден, заместитель директора центра, часто вспоминает историю первой своей пациентки, 68-летней женщины, обратившейся за помощью в 2010 г. после перенесенной операции на сердце. Для расширения сосудов пациентке поставили стент и назначили клопидогрел, чтобы предотвратить образование тромбов. Когда в ее электронную медицинскую карту внесли название препарата, на экране компьютера появилась запись, что, согласно результатам генетического тестирования, организм пациентки недостаточно хорошо метаболизирует данный препарат. «Сигнал тревоги» был составной частью первых попыток применения фармакогеномики в центре. Большой назначили другой препарат, празургрел, метаболизм которого не зависел от продуктов генов с «черной меткой».

Сегодня центр по-прежнему специализируется на лечении больных с сердечно-сосудистыми патологиями, поскольку ему удалось с несомненностью доказать влияние различных генов на метаболизм применяемых при этих заболеваниях препаратов. Обследовав 9,5 тыс. своих пациентов, медицинские генетики центра обнаружили, что 91% из них

несут по крайней мере один ген, который мог бы заставить изменить дозу принимаемых препаратов или заменить их. Примерно 5% из числа обследованных несли по две копии генов, существенно повышающих риск инсульта или инфаркта по причине образования тромбов в случае приема назначенных лекарств в прежних дозах.

Медицинский центр Университета Вандербилта, как и клиника Св. Иуды, взял основную часть расходов, связанных с тестированием, на себя. Страховые компании оплачивают лишь некоторые тесты, утверждая, что большая их часть оказываются клинически незначимыми.

Впрочем, появляются признаки смягчения такой политики. По данным Медицинского центра Университета Вандербилта, в последние пять лет некоторые страховые компании начали оплачи-

Для предотвращения образования тромбов лечащий врач назначил больной, перенесшей операцию на сердце, клопидогрел. Когда в ее медицинскую карту внесли название препарата, на экране компьютера появилась запись, что, согласно результатам генетического тестирования, организм пациентки недостаточно хорошо его метаболизирует

вать небольшую часть расходов по тестированию. Через несколько лет после того, как центр начал этим заниматься, его примеру последовал Медицинский центр Мэрилендского университета, тоже сосредоточившийся на лечении больных с сердечно-сосудистыми патологиями. Расходы по тестированию более 600 пациентов взяло на себя федеральное правительство, но руководство университета надеется привлечь к финансированию и страховые компании.

Пока фармакогеномику в медицинской практике применяют менее десяти больниц по всей стране. Помимо уже названных выше факторов, сдерживающих ее более широкое распространение, сказывается отсутствие четко прописанной дорожной карты. Многие врачи получили образование еще до того, как появилось генетическое тестирование, так что они и не думают о его применении. А многие из тех, кто хотел бы взять его на вооружение, понятия не имеют, как интерпретировать результаты. «Мало получить информацию, необходимо

создать на ее основе соответствующие инструменты», — говорит Роуден. И без того по уши загруженному доктору нужно разъяснить, что данный пациент прошел тестирование на наличие определенного варианта гена, он должен знать, что из этого следует, и получить четкое руководство к действию — уменьшению дозы назначенного препарата или замене его другим.

Фармакологи Детской исследовательской больницы Св. Иуды постоянно информируют врачей о появлении альтернативных препаратов. В клинике составлен список наиболее значимых генных вариантов с указанием их особенностей. Каждый пациент получает список вместе с результатами тестирования.

Чем больше врачи будут узнавать о влиянии генетических факторов на эффективность терапии, тем чаще они будут прописывать лекарства только после тестирования

Еще один важный момент — безошибочность тестов. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (*FDA*) сделало первые шаги на пути контроля тестирования в тех случаях, когда его результаты направляются напрямую к заказчику. Так, в 2013 г. *FDA* распорядилось прекратить распространение компанией *23andMe* ее «флагмана» — набора *Personal Genome Service*, поскольку не было уверенности в достоверности получаемых с его помощью результатов. Освободившуюся нишу на рынке тут же заняли другие компании — и в основном с прицелом на фармакогеномику. Так, генетическая компания *DNA4Life* предлагает за \$249 проведение тестирования ДНК, предназначенного для оценки действенности лекарственных препаратов. Но в ноябре 2015 г. *FDA* направило компании письмо со строгим предписанием либо получить разрешение на продажу своего продукта напрямую заказчикам, либо представить управлению доказательств своих прав на привилегии. *FDA* заявило, что не намерено сейчас обсуждать эту проблему с компанией, однако не отказалось от детального анализа тестов, поскольку есть опасность, что люди получат недостоверную информацию, которая может им навредить, или станут жертвой мошенничества.

Однако *FDA* не сможет контролировать тестирование в частных клиниках. В 1970-х гг., когда

впервые ввели контроль тестов, разработанных в клиниках, диагностические процедуры были относительно простыми и не вызывали вопросов, поскольку создавались в лабораториях, имеющих федеральный сертификат. Сегодня тестирование включает сложные генетические манипуляции и применяется гораздо чаще, так что *FDA* приходится иметь дело с огромным массивом данных. Пока, однако, управление не обозначило срок, в течение которого предполагается внести изменения в работу.

По-видимому, ситуация будет изменяться медленно. Пока Реллинг занимается тем, что переориентирует деятельность одной из исследовательских групп на упорядочение документации по всем недавно установленным фактам взаимодействия «лекарственное вещество — ген». На основании этих данных будут выработаны стандарты относительно того, какие гены нужно в первую очередь тестировать и какие изменения вносить в схемы лечения. Эти разработки предполагается разослать по другим лабораториям и медицинским учреждениям.

По мере увеличения масштабов тестирования и выявления случаев, когда оно оказало неоценимую пользу пациентам, сомнения относительно целесообразности его применения рассеются. Чем больше врачи будут узнавать о влиянии генетических факторов на эффективность терапии, тем чаще они будут прописывать лекарства только после тестирования. «Если вы знаете о проблеме взаимосвязи "лекарство — ген" и ничего не предпринимаете в связи с этим, — говорит Реллинг, — вы не можете считаться хорошим врачом». ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Optimizing Drug Outcomes through Pharmacogenetics: A Case for Preemptive Genotyping. J. S. Schilderout et al. in *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, Vol. 92, No. 2, pages 235–242; August 2012.
- Preemptive Clinical Pharmacogenetics Implementation: Current Programs in Five US Medical Centers. Henry M. Dunnenberger et al. in *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, Vol. 55, pages 89–106; January 2015.
- Pharmacogenomics in the Clinic. Mary V. Relling and William E. Evans in *Nature*, Vol. 526, pages 343–350; October 15, 2015.
- Как генетическое тестирование помогает найти эффективное обезболивающее, см. по адресу: ScientificAmerican.com/oct2016/drug-gene

Круг жизни

Наконец-то ученые свели воедино родословные всех известных видов живых существ

Марк Фишетти

Со времен Чарльза Дарвина биологи изображали эволюционное развитие живых существ от простых форм к более сложным в виде ветвистых деревьев, соответствующих основным царствам организмов (животных, растений, грибов и др.) и их более мелким группам. Недавно ученые из десятков институтов разных стран мира завершили трехлетний проект по объединению десятков тысяч таких эволюционных деревьев в единую диаграмму в виде круга. Линии внутри круга соответствуют всем 2,3 млн обитающим на планете видам существ, которым были присвоены научные названия. На сегодня, однако, биологи расшифровали генетический код лишь 5% организмов; по мере продолжения этой работы взаимосвязи внутри и между различными группами видов могут сильно измениться. По оценкам ученых, на Земле обитает

до 8,7 млн видов живых существ (ежегодно биологи открывают около 15 тыс. новых видов). «Мы думаем, что со временем круг жизни значительно расширится», — говорит Карен Крэнстон (Karen Cranston), специалист по вычислительной эволюционной биологии из Университета Дьюка. Обновления к базе данных проекта (*OpenTreeOfLife.org*) может предложить любой желающий. Детализация круга жизни поможет ученым лучше понять эволюционные процессы, эффективнее разрабатывать новые лекарства, создавать более продуктивные культуры растений и действеннее бороться с инфекционными болезнями. ■

Перевод: В.В. Свечников

Как читать круг жизни

Первые формы жизни, размещенные в центре круга, дают во всех направлениях ветви, которые ведут к ныне существующим группам видов (цветные кольца)

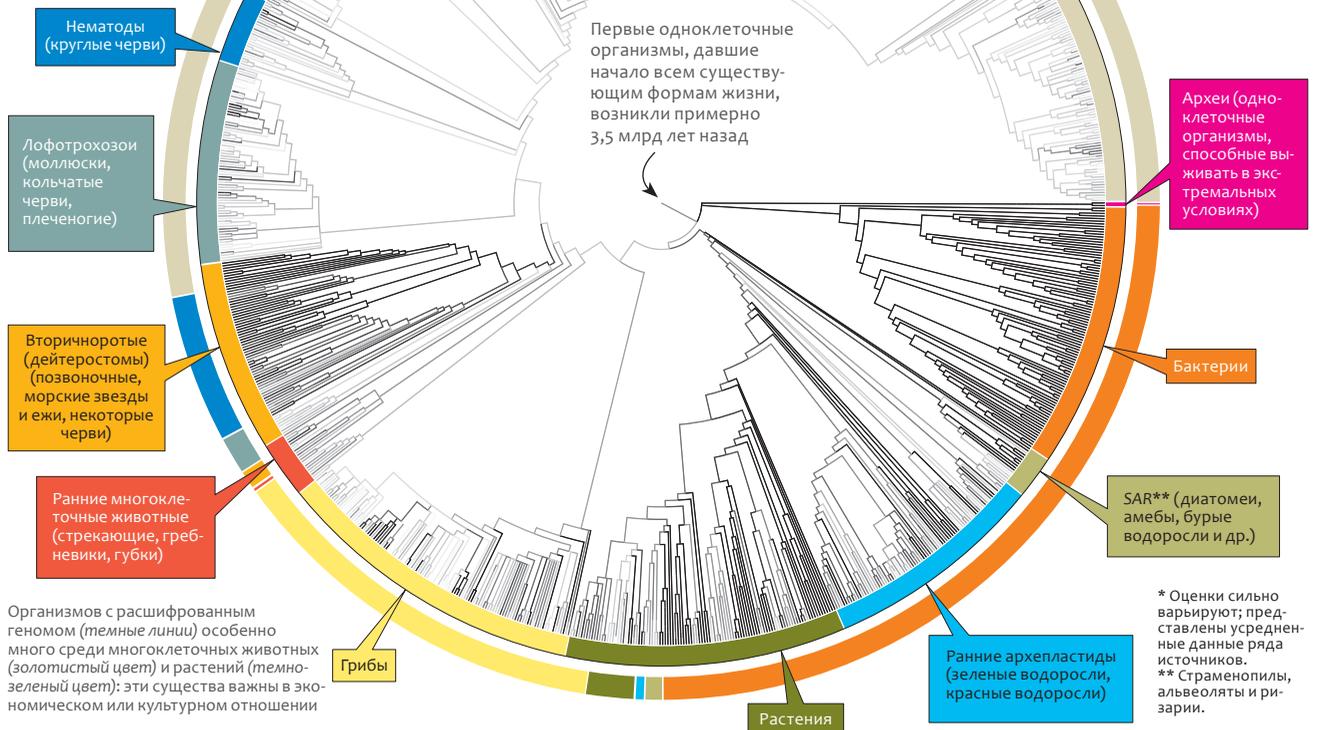
Внешнее кольцо: примерное соотношение всех видов*

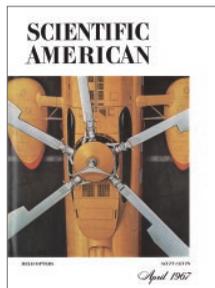
Внутреннее кольцо: соотношение групп, имеющих научные названия

Каждая черная линия соответствует минимум 500 потомковым видам

Темные линии: генетический код расшифрован у многих видов

Светлые линии: генетический код расшифрован у небольшого числа видов

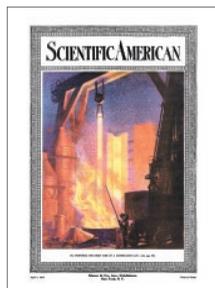




АПРЕЛЬ 1967

Расовые отношения. «Концепция "власти черных" провокационна. Она была провозглашена в атмосфере воинственности во время марша Джеймса Мередита (James Meredith) как в штате Миссисипи, так и в других местах, и ассоциируется с беспорядками. Но некая форма власти черных может быть необходимой. Опыт американских негров, подтвержденный множеством исторических и психологических исследований, дает основания полагать, что глубочайшие потребности беднейших и наиболее отвергаемых негров не могут быть удовлетворены (и поэтому расовым волнениям не может быть конца) иначе, чем через влияние единого организованного негритянского сообщества, обладающего реальной политической и экономической властью. Психологические травмы, вызванные вывозом негров из Африки, рабство, лишение политических и экономических возможностей после отмены рабства породили в негритянском сообществе психологические и социальные расколывающие силы». — Джеймс Камер (James P. Comer).

сти черных может быть необходимой. Опыт американских негров, подтвержденный множеством исторических и психологических исследований, дает основания полагать, что глубочайшие потребности беднейших и наиболее отвергаемых негров не могут быть удовлетворены (и поэтому расовым волнениям не может быть конца) иначе, чем через влияние единого организованного негритянского сообщества, обладающего реальной политической и экономической властью. Психологические травмы, вызванные вывозом негров из Африки, рабство, лишение политических и экономических возможностей после отмены рабства породили в негритянском сообществе психологические и социальные расколывающие силы». — Джеймс Камер (James P. Comer).



АПРЕЛЬ 1917

Война. Во времена крупнейших кризисов в истории человечества случалось, что весь мир, независимо от расы, вероисповедания и языка, прислушивался к голосу одного человека. Таким заметным событием навсегда останется совместное заседание обеих палат конгресса

США в ночь на 2 апреля. Они собрались, чтобы услышать из уст президента Вудро Вильсона, почему великая республика, главой исполнительной власти которой он был, оказалась в состоянии войны с величайшей военной автократией всех времен. Американский народ больше всего порадовала та часть обращения президента, в которой он дал ясно понять, что мы вступили в войну ради борьбы не с немецким народом, а с военной кликой, которая втянула его, доверчивый и оболваненный, в завоевательную войну.

Недовольство читателя. «Я читаю ваши статьи уже больше десяти лет. Особенно радовала меня ваша беспристрастность во всех вопросах, как научных, так и политических, до начала войны в Европе. К сожалению, вы, похоже, считаете, что ваши статьи должны быть окрашены симпатией к союзникам, поскольку большую часть ваших читателей предположительно составляют люди, родившиеся в этих странах. Или следует думать,

Усовершенствованные тракторные гусеницы облегчают подъем по крутым склонам и преодоление канав, 1917 г.

что на тон ваших статей влияют (через патентное бюро) Уоллстрит и владельцы оружейных заводов?»

Ответ редакции:

«Это письмо пришло из Мексики и написано на безупречном немецком языке. Как образец мышления и аргументации в тевтонском духе оно достойно занять почетное место».



Гусеницы для тракторов. Первая попытка применить принцип шариковых подшипников к тракторным гусеницам была предпринята больше четырех лет назад. Уже около трех лет трактор с гусеницами на шариковых подшипниках выпускается серийно, и это убедительное свидетельство практичности конструкции. Преимущество такого типа гусениц — меньшее трение. Эксперименты проводил Сельскохозяйственный колледж Калифорнийского университета (на илл.).



АПРЕЛЬ 1867

Причина молочной болезни.

Эта болезнь домашних животных настолько таинственна и опасна, что законодательные власти штата Иллинойс еще несколько лет назад обещали крупное вознаграждение тому, кто обнаружит ее причины. Журнал *Medical and Surgical*

Reporter представил информацию от трех разных обозревателей (один из них сослался на газету *Missouri Republican*), дающую основание возлагать вину на распространенное растение *Eupatorium ageratoides* (белый змеиный корень), на которое до сих пор не обращали внимания. В июне 1860 г. мистер Уильям Джерри из Эдвардсвилля, штат Иллинойс, собрал это растение, приняв его по ошибке за крапиву, и отведал (в одиночку) его вареных листьев. На следующий день у него проявились все симптомы молочной болезни: сильная дрожь, слабость, головокружение и воспаление в желудке. Говорят, что в период цветения этого растения скот любит его.

Примечание: токсин треметол из белого змеиного корня (носящего сегодня название *Ageratina altissima*) был официально идентифицирован только в 1928 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

Design Director:

Michael Mraz

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

Managing Editor:

Ricki L. Rusting

Art director:

Jason Mischka

Digital Content Manager:

Curtis Brainard

Senior Graphics Editor:

Jen Christiansen

News Editor:

Dean Visser

President:

Dean Sanderson

Opinion Editor:

Michael D. Lemonick

Executive Vice President:

Michael Florek

Senior Editors:

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

Executive Vice President,

Global Advertising and Sponsorship:

Jack Laschever

Associate Editors:

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

Publisher and Vice President:

Jeremy A. Abbate

© 2017 by Scientific American, Inc.

В мире науки

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

в почтовых отделениях по каталогам:

«Роспечать», подписной индекс:

81736 — для физических лиц;

19559 — для юридических лиц;

«Почта России», подписной индекс:

16575 — для физических лиц;

11406 — для юридических лиц;

«Пресса России», подписной индекс: 45724,

www.akc.ru

по РФ и странам СНГ:

ООО «Урал-Пресс»,

www.ural-press.ru

СНГ, страны Балтии и далее зарубежье:

ЗАО «МК-Периодика»,

www.periodicals.ru

РФ, СНГ, Латвия:

ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,

www.akc.ru

Читайте в следующем номере

К Альфе Центавра почти со скоростью света

Проект, спонсируемый миллиардером, имеет цель послать космический зонд к одной из соседних звезд. Возможно ли это?

Успехи в борьбе с болезнью Альцгеймера

Клинические исследования сделали очевидным тот факт, что правильное питание, упражнения и активная социализация в комплексе способны помочь предотвратить когнитивные расстройства.

Настоящие цвета динозавров

Долгое время считалось невозможным определить, какова была окраска древних животных. Но современные методы уже позволяют с поразительной точностью восстановить их облик.

Не пейте воду!

Загрязнение воды перфторатами обнаруживается во все большем числе населенных пунктов, но ученые и регламентирующие органы пока не могут определить безопасный предел их концентрации.



Битва с вредителем

Специалисты опасаются, что генная модификация растений как технология борьбы с западным кукурузным жуком окажется малоэффективной.

Финансирование мозга

Бедность плохо влияет на форму, размер и особенности работы мозга детей. Удастся ли предотвратить это



вредное влияние с помощью денежных пособий для родителей?

У пределов эволюции

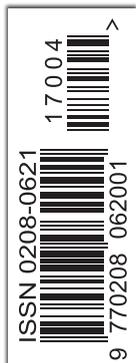
Некоторые виды рыб приспособились к существованию в реках с токсичными уровнями концентрации сероводорода. Их изучение проливает свет на механизмы естественного отбора.



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>



ISSN 0208-0621

17004

9 770208 062001