

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci.ru.org

7 2021

12+

НОВАЯ КАРТА ВСЕЛЕННОЙ // ПРОЕКТ «СПЕКТР-РГ»: ДВА ГОДА В КОСМОСЕ

ПУТЕШЕСТВИЕ К БЕРЕГАМ АМЕРИКИ

Генетические и археологические
открытия проливают новый свет
на историю заселения континентов





4



90

Темы номера

АНТРОПОЛОГИЯ

Странствие к берегам Америки

Дженнифер Рафф

Заселение Америки оказалось более сложным процессом, чем полагали ранее, включающим изоляцию и слияние множества популяций на протяжении десятков тысяч лет

4

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Коктейли для кораллов

Элизабет Свобода

Могут ли пробиотики спасти коралловые рифы от исчезновения?

14

ЮБИЛЕЙ

Привычка быть лидером

Елена Ефстифеева

В год науки и технологий свой 125-летний юбилей отмечает Томский политехнический университет

24



СОДЕРЖАНИЕ

Июль 2021

МЕДИЦИНА

Три кита: вакцинация, гигиена, научные исследования

32

Наталья Лескова

Университетскую клинику МГУ называют клиникой будущего за применяемые там инновационные методики. В чем секрет этих чудес, объясняет ее директор академик **Армаис Камалов**



БИОЛОГИЯ

Культура — движущая сила эволюции?

38

Анастасия Пензина

О проблемных точках теории эволюции сегодня — наша беседа с профессором РАН **Александром Марковым**



ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Вывести страну на чистую воду

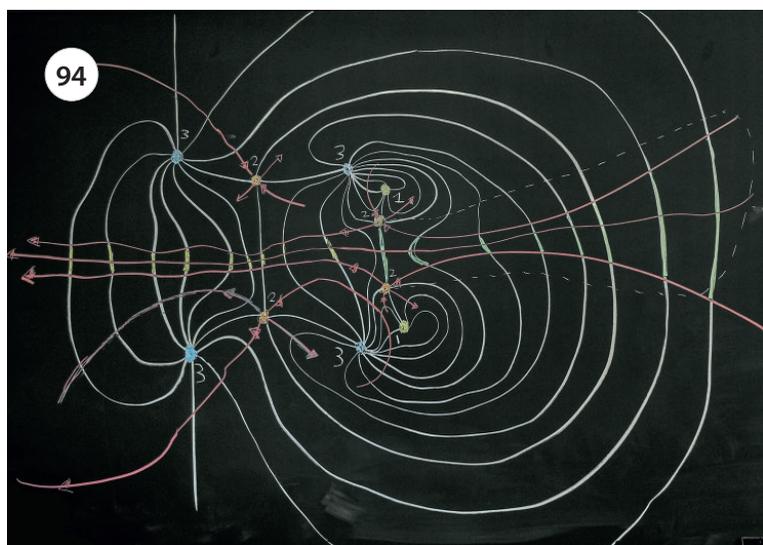
48

Наталья Лескова

Член-корреспондент РАН **Виктор Данилов-Данильян** — о том, как важно беречь, охранять и эффективно использовать воду и другие природные ресурсы Земли



64



94



38



14

КОСМОС

Все цвета «Спектра»

Анастасия Пензина

Два года назад состоялся запуск уникальной обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма». О том, чего удалось достичь коллегам из России и Германии, рассказывает профессор РАН **Александр Лутовинов**

АСТРОФИЗИКА

Новая карта Вселенной

Кайл Доусон и Уилл Персивал

Трёхмерная карта, отображающая миллионы галактик на протяжении 11 млрд лет космической истории, помогает ответить на некоторые из важнейших вопросов космологии

НЕЙРОНАУКИ

Прорехи в щите

Даниэла Кауффер и Алон Фридман

Повреждения гематоэнцефалического барьера могут привести к болезни Альцгеймера и другим формам деменции. Если его восстановить, восстанавливается и мозг

МОЗГ И СОЗНАНИЕ

56 Возраст возможностей

Лидия Дэнуорт

Глубже поняв особенности мозга подростков, можно улучшить образование и психическое здоровье



ИНТЕЛЛЕКТ ЖИВОТНЫХ

Загадка «праворукости» дельфинов

Келли Яаккола

Изучение двигательных предпочтений дельфинов указало на странность человеческого восприятия

МАТЕМАТИКА

Искусство на меловой доске

Клара Москович

Очарование топологии, геометрии и математических теорий глазами фотографа

64

74

82

90

94

Разделы

От редакции

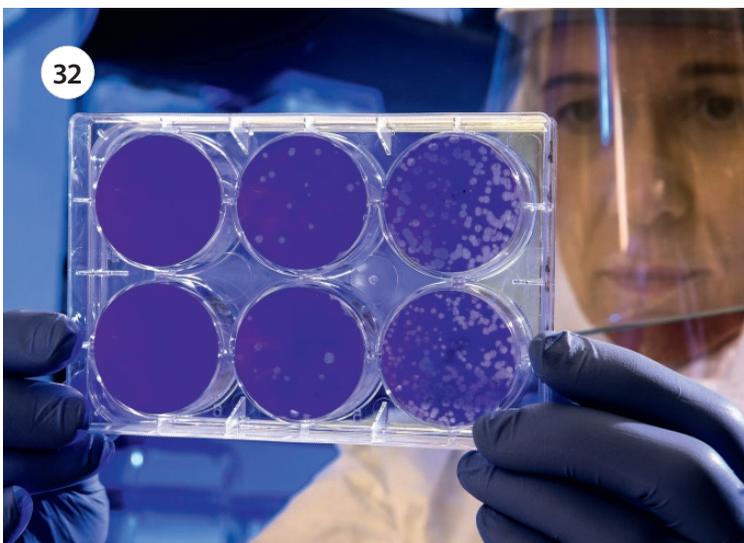
50, 100, 150 лет тому назад

3

104



82



32

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



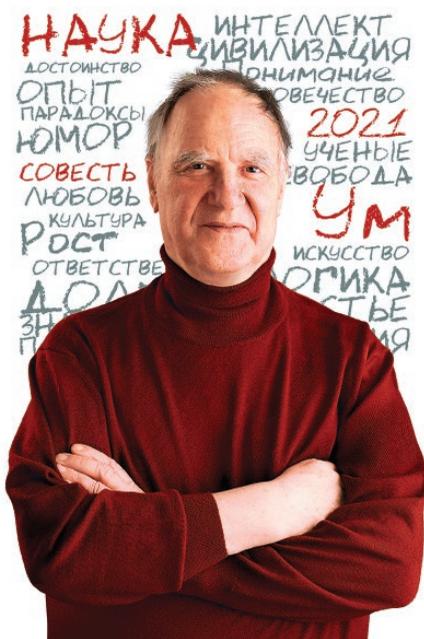
РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



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.А. Садовничий

Главный научный консультант:

президент РАН академик А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Шеф-редактор иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Выпускающий редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

З.Х. Мусина

Научные консультанты:

член-корр. РАН В.И. Данилов-Данильян; академик А.А. Камалов; проф. РАН А.А. Лутовинов;
проф. РАН А.В. Марков

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, Е.Ю. Ефстифеева, А.П. Кузнецов, Г.Ф. Куракин, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова,
А.И. Пензина, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина, Д.С. Хованский, А.В. Щеглов

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректора:

М.А. Янушкевич

Фотографы:

Н.Н. Малахин, Н.А. Мохначев

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

А.Ш. Геворгян

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Малахина

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

Адрес редакции:

Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;
тел./факс: 8 (495) 939-42-66; e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru
Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:

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

Заказ № 0657

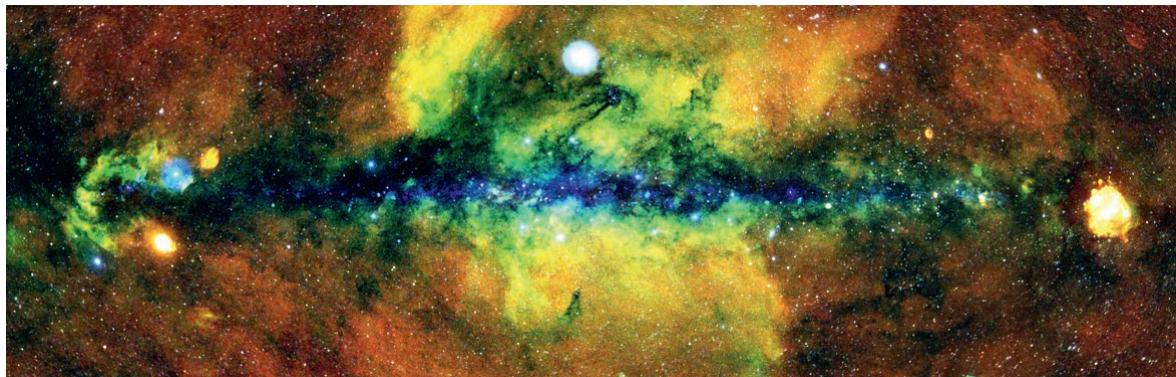
© В МИРЕ НАУКИ. Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати. Свидетельство ПИ
№ ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

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.



Черные дыры и белые пятна

Великий итальянский астроном Галилео Галилей, живший на стыке XVI и XVII вв., писал, что «наука никогда не решит, конечна ли Вселенная или бесконечна». Ответа на этот вопрос до сих пор нет, и неизвестно, когда он будет. Но уже сегодня мы стали свидетелями новой эпохи в визуализации устройства Вселенной: астрофизики создают карты Вселенной максимально возможных масштабов. Создание трехмерной карты, на которой 4 млн галактик распростерлись на расстоянии в миллиарды световых лет и которая, возможно, поможет разгадать загадки темной энергии и формы Вселенной, стало результатом международного проекта «Цифровой каталог звездного неба Слоуна». Читайте об этом в статье «Новая карта Вселенной».

Летом 2019 г. с космодрома Байконур стартовал космический аппарат «Спектр-РГ» с двумя телескопами на борту — российским и немецким. Оба телескопа сканируют рентгеновское излучение, исходящее от источников в недрах Вселенной, далеко за пределами нашей Галактики. Через несколько лет российские ученые создадут самую точную трехмерную карту Вселенной. Ожидается, что будет получен ответ на главный вопрос современной науки: каковы распределение темной материи и действие темной энергии? Об этом рассказывает профессор РАН А.А. Лутовинов в интервью «Все цвета "Спектра"».

Однако, как писал американский писатель-фантаст Клиффорд Саймак, прежде чем заниматься звездами, «человеку надо научиться жить на Земле». Эколог и гидролог член-корреспондент РАН В.И. Данилов-Данильян в своем интервью «Вывести страну на чистую воду» говорит о том, что нас ждет неминуемый кризис, если мы не начнем по настоящему заботиться о водных и других природных ресурсах Земли уже сегодня.

Этой же проблеме посвящен материал «Коктейли для кораллов». Сегодня коралловые рифы планеты, похоже, находятся на краю гибели. Ученые связывают этот феномен с изменением температуры моря. Без человеческого вмешательства все рифовые экосистемы полностью исчезнут с лица земли к 2100 г. Ученые считают, что для их спасения у нас осталось максимум десятилетие.

«Природа всегда права; ошибки же и заблуждения исходят от людей», — писал И.В. Гете. Человечеству пора прийти к соглашению с природой, а наука должна найти пути к этому соглашению. И тогда ученые смогут отдать все силы не борьбе с черными нефтяными пятнами в морях и океанах и подобным проблемам, а изучению черных дыр в космосе и белых пятен в наших земных делах. ■

Редакция журнала «В мире науки / Scientific American»



СТРАНСТВО

— *К БЕРЕГАМ* —

АМЕРИКИ

АНТРОПОЛОГИЯ

Заселение Америки оказалось более сложным процессом, чем полагали ранее, включающим изоляцию и слияние множества популяций на протяжении десятков тысяч лет

Дженнифер Рафф



ОБ АВТОРЕ

Дженнифер Рафф (Jennifer Raff) — генетик-антрополог из Канзасского университета, изучает геномы современных людей и их предков для получения информации о доисторических временах, в частности о первоначальном заселении Северной Америки.



Н

аш вид, *Homo sapiens*, появился в Африке сотни тысяч лет назад. Отсюда человек современного типа отправился по стопам других видов людей — *Homo erectus*, неандертальцев, денисовцев и других, медленно расселявшихся по планете. Однако первые *H. sapiens*, ступившие на землю Америки, добрались туда, где еще никогда прежде не бывали другие представители рода человеческого. Процесс исследования и заселения людьми обеих Америк, а также адаптации к столь разнообразным условиям среды был важным предприятием, с которого началась богатая и сложная история тысяч разных народов и сообществ.

В ходе своего путешествия в Америку предки ныне живущих коренных народов преодолели невероятные препятствия. Они пережили жуткий холод и засуху в период между 26 тыс. и 20 тыс. лет назад, известный как последний ледниковый максимум (*Last Glacial Maximum, LGM*), и установили взаимоотношения с незнакомой землей и ее флорой и фауной.

Эти события объясняют с разных точек зрения. У коренных народов есть множество устных историй об их происхождении. Передающиеся из поколения в поколения, такие традиционные знания содержат важные поучения о появлении отличительных черт каждой группы как народа и ее взаимоотношениях с землей и не принадлежащими к человеческому роду ее обитателями. В некоторых рассказах упоминается переселение из другого места как часть истории происхождения народа, в некоторых — нет. Западные ученые используют другую основу при изучении истории передвижений населения. В этой статье мы сосредоточимся на предложенных ими моделях заселения Америки, признавая, что эти модели существуют наряду с разнообразными древними устными историями, с которыми они могут совпадать или не совпадать.

Археологи, биологи, антропологи, лингвисты и палеоклиматологи давно стремятся понять, как происходило расселение людей на американских континентах. Усилия ученых привели к появлению

различных гипотез о происхождении коренных народов. Такие гипотезы объясняют не только кем были предки коренных народов, но и как и когда эти народы поселились на этих землях. Согласно одной из гипотез, господствовавшей несколько десятилетий, отдельная группа охотников из Восточной Азии, следуя за крупной дичью, пришла в Америку после *LGM* и дала начало всем коренным народам в этой части современного мира.

Но в последние несколько десятилетий к работе над этой главой человеческой истории привлекли генетиков, и не будет преувеличением сказать, что результаты исследований генома произвели революцию в нашем понимании вопроса. Хотя в наших знаниях еще остается множество пробелов, эти данные генетики наряду с недавними открытиями археологов показали, что процесс заселения Америки был несравнимо более сложным, чем полагали раньше. Что особенно важно, теперь мы знаем, что вклад в родословную коренных народов внесли не одна, а множество древних популяций.

До Кловис

В археологии на протяжении большей части XX в. доминирующей гипотезой происхождения коренных народов Америки выступала модель «В начале были Кловис» (*Clovis First*). Гипотеза основывалась на предположении, что каменные орудия определенного типа, называемые наконечниками типа Кловис, найденные в археологических

Предковые ветви

Древние и современные геномы раскрывают гораздо более детализированную картину происхождения коренных народов Америки по сравнению с той, что существовала прежде. Долгое время исследователи полагали, что единственная популяция из Восточной Азии дала начало первым народам, но данные генетики свидетельствуют о том, что в их родословную внесли вклад множество групп. Вместе с останками, найденными археологами на стоянках по всей Берингии, эти находки позволяют ученым начать наносить на карту маршруты передвижений таких предковых популяций на их пути в Америку.



памятниках Северной Америки, знаменуют первое появление людей на американских континентах. Эти покрытые желобками наконечники копий внезапно появились к югу от места, где проходила граница ледникового щита, в эпоху позднего плейстоцена 13 тыс. лет назад, иногда вместе с останками представителей мегафауны, таких как мастодонты, мамонты и бизоны. Исходя из датировки и географического распространения стоянок Кловис, археологи предположили, что по окончании LGM люди мигрировали из Сибири в Северную Америку через ныне покрытый водой Берингийский сухопутный мост и по мере таяния ледника стремительно перемещались по коридору, который образован восточной частью Скалистых гор на территории Канады и ведет во внутренние

регионы Северной Америки. Эти охотники-собиратели, жившие малыми группами и перемещавшиеся на большие расстояния в погоне за крупной дичью, затем быстро расселялись, продвигаясь на юг, и приблизительно за 1 тыс. лет заселили Южную Америку.

Со временем обнаружили археологические памятники, предшествующие первому появлению орудий Кловис. Одна из таких стоянок — Монте-Верде на юге Чили возрастом 14,2 тыс. лет. Найденные там артефакты — орудия из камня, дерева и кости — нисколько не напоминают орудия культуры Кловис. Эти находки свидетельствуют о том, что более чем за тысячу лет до появления технологии Кловис в Северной Америке другие люди уже добрались до южной части континента Южная Америка.

Революция в молекулярной биологии в конце XX в. позволила ученым применять новые подходы, включая извлечение ДНК из древних останков, и задаться вопросом о том, когда люди впервые заселили оба американских континента. Ученые смогли секвенировать и проанализировать митохондриальную ДНК (мтДНК), наследуемую по материнской линии, и наследуемую по отцовской линии Y-хромосому современных и древних представителей популяций коренного населения. Используя данные генетики, исследователи установили сроки наступления важных демографических событий. В общих чертах стала проявляться история заселения: прародители из Азии, потом период изоляции предков коренных народов во время пика LGM, а затем быстрый рост численности населения за несколько тысяч лет до появления культуры Кловис и стоянки в Монте-Вер-

современных и древних людей вместе позволяют нарисовать гораздо более детализированную картину происхождения первых народов Америки по сравнению с наброском, полученным с помощью данных о мтДНК и Y-хромосоме, и показать, откуда происходят различные ветви предков первых народов и когда они встретились.

Встреча в древности

Выделить какой-то специфический момент в качестве даты «происхождения народа» невозможно, поскольку это весьма спорное и упрощенное до абсурда представление. На протяжении всего времени человеческие популяции состояли из людей со сложной и смешанной родословной, каждая со своей историей. Но эту генетическую историю необходимо откуда-то начать, поэтому мы начнем с верхнего палеолита. Приблизительно 36 тыс. лет

назад группа людей, живших на территории современной Восточной Азии, постепенно все более изолировалась от более крупной популяции, населявшей тот регион. Это был очень медленный процесс: обмен брачными партнерами с родительской популяцией продолжался на протяжении более 11 тыс.

Все результаты исследований геномов исключают возможность смешения первых народов Америк с европейцами, африканцами или какими-то иными популяциями до 1492 г.

де. Но это был только грубый набросок, основанный всего лишь на нескольких фрагментах генома. Полный геном предоставляет на много порядков больше информации о родословной человека по сравнению с мтДНК и Y-хромосомой.

В настоящее время сравнительно просто секвенировать целые геномы ныне живущих людей. Геномы некоторых современных коренных народов свидетельствуют о генетической изменчивости, связанной с контактами с европейцами, начавшимися после их прибытия в Америку в 1492 г. Участки геномов, унаследованные от первых народов Америки — предшественников коренных народов до контакта с европейцами, — раскрывают историю, уходящую в прошлое на десятки тысяч лет.

Восстановление геномов из древних останков может быть невероятно трудным. Большая часть ДНК, выделенной из древних костей или зубов, скорее всего, будет принадлежать почвенным микроорганизмам, растениям, животным и современным людям; сами фрагменты древней ДНК встречаются редко и повреждены. Тем не менее недавние достижения дали ученым возможность извлекать и анализировать ДНК даже из очень плохо сохранившихся источников. Такие разработки значительно увеличили число проанализированных геномов древних людей, а новые методы исследования древних геномов помогли нам лучше понять рассказываемые ими истории. Геномы

лет. Тем не менее примерно 25 тыс. лет назад эти люди уже генетически отличались от предков современных жителей Восточной Азии. Эта изолированная группа древних восточных азиатов внесла наибольший вклад в родословную первых народов Америки.

Другая предковая ветвь появилась примерно 39 тыс. лет назад, а 31,6 тыс. лет назад ее представители обитали на Янской стоянке на территории современной Северо-Восточной Сибири. Эта область находится в западной части Берингии — так назвали регион, включающий восточную часть Сибири, западную часть Аляски и сухопутный перешийек, когда-то соединявший их и ныне покрытый Беринговым проливом. Два молочных зуба, найденных на Янской стоянке, дали нам невероятную информацию об этой популяции, которую генетики называют «древними северными сибиряками». «Древние северные сибиряки» с Янской стоянки были охотниками-собирающими, которые круглый год жили в этой области в высоких широтах. Молочные зубы принадлежали двум мальчикам и были утрачены ими в возрасте от 10 до 12 лет при замене молочных зубов на коренные моляры и клыки. Сами зубы свидетельствуют о том, что мальчики пережили опасности младенчества. Геномы, восстановленные из зубов и описанные в 2019 г. Мартином Сикорой (Martin Sikora) из Копенгагенского университета и его коллегами, показали,

что мальчики не были близкими родственниками и принадлежали к большой популяции, включающей примерно 500 человек, способных к размножению. В отличие от неандертальцев, чьи геномы свидетельствуют о малом размере их популяций и периодическом локальном вымирании, «древние северные сибиряки», по-видимому, преуспевали в очень сложных условиях среды.

«Древние северные сибиряки» расселились в северных и центральных областях Сибири. Останки ребенка, найденные на стоянке Мальта, свидетельствуют об их присутствии на юге центральной Сибири 24 тыс. лет назад, в верхнем палеолите. ДНК, извлеченная из этих останков, показывает, что «древние северные сибиряки» внесли вклад в родословную многих географически рассеянных популяций, включая современных западных евразийцев (группа, включающая европейцев) и первые народы Америки.

Две основные ветви родословной первых народов — древние жители Восточной Азии и «древние северные сибиряки» — встретились приблизительно 25–20 тыс. лет назад, и между их представителями происходили скрещивания. В результате такого смешения сформировалась предковая популяция вскоре после начала *LGM*, во время которого в Сибири воцарился исключительно холодный климат и осталось мало растений и животных. Людям, вероятно, было очень тяжело, если не невозможно, жить в таких условиях. И действительно, в Северо-Восточной Сибири, по сути, нет археологических свидетельств присутствия человека, датироваемых периодом 29–15 тыс. лет назад. Многие археологи, исходя из отсутствия таких свидетельств, делают вывод, что люди искали убежища в других регионах с более обильными ресурсами и лучшим климатом. Мы не знаем точно, что происходило, но, по-видимому, встреча людей, принадлежавших к группам древних восточных азиатов и «древних северных сибиряков», стала частью процесса миграции из Сибири из-за изменений климата. Вопрос в следующем: где они встретились?

Вероятно, их пути не пересекались в Западной Берингии: этот регион, по-видимому, стал безлюдным примерно 29 тыс. лет назад. В качестве места встречи остаются восток Евразии, Центральная или Восточная Берингия и север Берингии. Генетики неспособны быстро дать ответ на этот вопрос из области географии. Геномы коренных народов свидетельствуют о том, что их предки были изолированы несколько тысяч лет во время последнего ледникового максимума, начавшегося вскоре после того, как представители древних жителей Восточной Азии и «древних северных сибиряков» стали заключать смешанные брачные союзы. Такая изоляция явно указывает на то, что встреча произошла не на востоке Евразии, где близость других

групп почти наверняка привела бы к дополнительному смешению, поскольку именно это характерно для людей. Тем не менее некоторые археологи утверждают, что восток Евразии — единственный регион, в котором существуют многочисленные и неоспоримые археологические свидетельства присутствия людей во время этого холодного периода.

Возможно, предки коренных народов благополучно пережили *LGM* на «южных берегах» — в Центральной Берингии. Палеоэкологические реконструкции показывают, что из-за близости океанских течений в этой области должен был быть мягкий климат, возможно, похожий на климат влажных районов. Это было бы относительно комфортное место для обитания людей и животных, когда площадь ледяных покровов достигла максимума. Но Центральная Берингия в настоящее время находится под водой и недоступна, поэтому археологи не могут найти прямые доказательства присутствия людей в этом регионе. Однако существуют некоторые интересные свидетельства обитания людей в Восточной Берингии. На стоянках на Юконе и в Норт-Слоуп на Аляске нашли предполагаемые следы присутствия человека во время *LGM*. Упомянутых доказательств недостаточно, чтобы убедить большинство археологов, но все же следует обратить более пристальное внимание на эту локацию.

Сибирская Арктика (расположенный к северу и западу от Западной Берингии регион, нижняя граница которого находится на 66° с.ш.) лишь недавно стала рассматриваться как еще один возможный кандидат на роль рефугиума во время *LGM* и, следовательно, как место, где могли встретиться представители древних восточных азиатов и «древних северных сибиряков». В наши дни большие участки этой области находятся под водой, но в период *LGM* это, по-видимому, была огромная равнина, на территории которой раскинулись степи и тундра, обеспечивавшие кормом крупные популяции мамонтов, шерстистых носорогов, бизонов и лошадей. Вероятно, для людей это была неблагоприятная среда. И все же благодаря археологическим находкам и генетическому анализу материала с Янской стоянки нам известно, что люди были хорошо адаптированы к таким арктическим условиям задолго до наступления последнего ледникового максимума. Однако (как и в случае с остальными потенциальными рефугиумами за исключением востока Евразии) существует очень мало прямых археологических доказательств присутствия людей в этой части света.

Несмотря на то что нам неизвестно точно, где случилось объединение древних восточных азиатов и «древних северных сибиряков», по данным генетики мы можем сделать вывод о том, что происходило дальше. Сразу после обмена генами между

Сценарии расселения

Специалисты расходятся во мнениях о том, когда, куда и каким образом предки коренных народов расселились на территории Северной и Южной Америк. В настоящее время споры ведутся вокруг трех основных альтернативных моделей этого процесса.

Сценарий 1: позднее заселение

Некоторые археологи утверждают, что люди, изготавливавшие наконечники копий определенного типа, найденные в Кловисе, штат Нью-Мексико, и позднее обнаруженные на таких стоянках, как Анзик в Монтане, были первыми людьми, успешно поселившимися на территории Америки. Стоянка Суон-Пойнт на Аляске используется как важное доказательство, поскольку там найдены каменные орудия, которые, как полагают, служат связующим звеном между более древней Дюктайской культурой Сибири и культурой Кловис Северной Америки. Сторонники модели «В начале были Кловис» считают, что люди пришли в Америку значительно позже последнего ледникового максимума и перемещались по свободному ото льда коридору, сформировавшемуся после отступления ледников. Эти исследователи отвергают докловисские археологические памятники как несостоятельные или не связанные с современниками первых поселенцев.



Сценарий 2: раннее заселение по побережью

Другие археологи считают особенно важными докловисские археологические памятники, утверждая, что они свидетельствуют о присутствии людей на территории обеих Америк задолго до появления технологии Кловис и до открытия свободного ото льда коридора. Эти ученые полагают, что люди, вероятно, перемещались на лодках вдоль западного побережья примерно 17 тыс. лет назад или, возможно, даже 20–30 тыс. лет назад, если принимать в качестве доказательства спорные свидетельства такой древней деятельности человека со стоянок Педра-Фурада и Пещера Чикиuite.



Сценарий 3: невероятно раннее заселение

Небольшое число исследователей полагают, что люди достигли Америки намного раньше. Они указывают на археологический памятник «Мастодонт Черутти», в котором, как утверждают, сохранились кости разделанного мастодонта и каменные орудия возрастом 130 тыс. лет. Если бы эти останки действительно были результатом такой древней деятельности человека, они бы свидетельствовали о том, что первыми людьми, появившимися в этой части света, вероятно, были *Homo erectus*, а не *Homo sapiens*. Большинство ученых отвергают это утверждение.



двумя группами и в период их изоляции от других групп людей имели место ряд очень близких по времени сложных демографических событий, в конечном итоге приведших к появлению народов Америк и Сибири. Предковая популяция разделилась по меньшей мере на две ветви примерно 22–18 тыс. лет назад. Одна ветвь, названная «древними берингийцами», не имеет известных ныне живущих потомков. Другая ветвь, известная как предки коренных американцев, дала начало первым народам обеих Америк к югу от Кордильерского и Лаврентийского ледниковых щитов.

Эта ветвь предков коренных американцев, вероятно, разделилась на множество отдельных групп во время LGM. Для одной из таких групп, которую называют «не имеющая образцов популяция А», нет известных археологических свидетельств, позволяющих ее охарактеризовать, но современный народ михе, живущий в мексиканском штате Оахака, по-видимому, частично унаследовал ДНК от этой группы.

В родословную нескольких современных популяций Амазонии, по-видимому, внесла дополнительный вклад группа, относящаяся к жителям Австралии и называемая «популяцией Y». Это звено в родословной — одна из наиболее загадочных находок последних лет. Следы такого генетического сигнала также обнаружили у древнего человека (возраст костных фрагментов — 40 тыс. лет) из пещеры Тяньюань в Китае. На настоящий момент свидетельства указывают, что когда-то существовала древняя группа, распространенная на территории всей Азии, которая в конце концов внесла вклад в родословную современных народов Океании и некоторых популяций Амазонии. Исследователи по-прежнему стараются определить, у скольких древних и современных народов в родословной встречаются такие следы и где обитала популяция-источник.

Что более важно, все результаты исследований геномов исключают возможность смешения первых народов Америк с европейцами, африканцами или какими-то иными популяциями до 1492 г. Этот вывод противоречит историям о трансатлантической миграции, продвигаемым в популярных телесериалах, но множество данных генетики и археологии решительно опровергают подобные представления.

К югу от границы

После LGM предки коренных американцев переместились на юг и разделились по меньшей мере на три ветви. Первая ветвь представлена единственным геномом женщины, жившей на плато Фрейзер в Британской Колумбии 5,6 тыс. лет назад. Больше об этой популяции почти ничего не известно. Две другие ветви вмещали все известное до настоящего времени генетическое разнообразие

популяций к югу от ледниковых покровов. К ветви северных коренных американцев относятся предки таких народов, как алгонкины, на-дене, салиши и цимшианы. Ветвь южных коренных американцев включает предков коренных народов, населяющих территорию Центральной и Южной Америки и большую часть Северной Америки. (В родословной коренных народов Арктики присутствуют и другие звенья, связанные с последующими миграциями.) Специалисты расходятся во мнениях о том, когда, куда и как эти популяции расселились по континентам. На настоящий момент существуют три альтернативных сценария этого процесса.

Наиболее консервативно настроенные археологи придерживаются модели, которая представляет собой модифицированный вариант гипотезы «В начале были Кловис». По мнению этих ученых, стоянка Суон-Пойнт в Центральной Аляске — ключ к пониманию процесса заселения обеих Америк. Стоянка возрастом примерно 14,1 тыс. лет — это самый древний не вызывающий сомнений археологический памятник в Восточной Берингии, а технология изготовления найденных там каменных орудий, как считается, демонстрирует явную связь как с Дюктайской культурой в Сибири, так и с орудиями Кловис. Археологи-консерваторы утверждают, что во время LGM предки первых народов Америк находились в Северо-Восточной Азии или Сибири и начали мигрировать через Берингийский перешеек не раньше, чем 16–14 тыс. лет назад. Согласно мнению этих ученых, культура Кловис представляет собой результат первого увенчавшегося успехом переселения людей в Америку: люди перемещались вниз по так называемому коридору, свободному ото льда, формировавшемуся по мере отступления ледников, и, возможно, затем последовали другие волны миграции из Сибири. В рамках этой модели более ранние археологические памятники (до Кловис) либо отвергают как несостоятельные, либо относят к народу, который не внес никакого культурного или биологического вклада в последующие популяции коренных жителей.

Другие антропологи подчеркивают важность археологических находок, датированных докловисским периодом, включая останки, найденные за много километров от Центральной Аляски в Пейдж-Ладсон на севере Флориды. Археологический памятник, в 2016 г. описанный Джесси Халлиган (Jessi Halligan) из Университета штата Флорида, Майклом Уотерсом (Michael Waters) из Техасского аграрно-технического университета и их коллегами, содержит каменные артефакты, в том числе сломанный нож, который нашли вместе с костями мастодонта возрастом 14,45 тыс. лет. Стоянка Пейдж-Ладсон особенно важна для исследователей именно из-за того, насколько она была незначительной в свое время: маленький водопой,

расположенный гораздо дальше от береговой линии, чем в наши дни, без каких-либо отличительных признаков, выделяющих его на фоне ландшафта. Люди разделали здесь мастодонта и унесли с собой мясо и один бивень, оставив несколько костей, второй бивень и сломанный нож. Их посещение этого места явно было кратким и в то же время целенаправленным; здесь нет следов жилища, изготовления орудий или другой деятельности. Эта быстрая намеренная остановка свидетельствует о том, что люди адаптировались к местности достаточно хорошо, чтобы знать о существовании этого скрытого места и о возможности найти здесь пищу и бивни мастодонта для изготовления орудий.

Изучение географии места, такого как водопой, привлекающий добычу, где точно можно найти ресурсы, — процесс, который археологи называют освоением территории, — требует времени.

В настоящее время большинство археологов и генетиков согласны в том, что Америка уже была заселена по меньшей мере 14–15 тыс. лет назад. Однако ученые расходятся в оценке того, насколько рано древние люди могли прибыть на эти континенты

Для некоторых экспертов Пейдж-Ладсон служит очевидным свидетельством того, что люди освоились на этом месте по меньшей мере 14,45 тыс. лет назад, и это означает, что они должны были появиться в Америке намного раньше. Но насколько раньше?

На территории обеих Америк есть ряд археологических памятников, которые находятся гораздо ниже южного края континентальных ледниковых щитов и возраст которых составляет примерно 14–16 тыс. лет. Для объяснения существования таких памятников требуется совершенно иная парадигма, в корне отличающаяся от вышеприведенного сценария позднего заселения. С одной стороны, древний возраст стоянок ограничивает варианты маршрутов, по которым люди могли попасть в Америку. Свободный ото льда коридор между Лаврентийским и Кордильерским ледниками открылся чуть менее 14 тыс. лет назад. Если люди уже заселяли территорию 14,45 тыс. лет назад и даже раньше, кажется маловероятным, что они пришли этим путем. Более того, ДНК, выделенная из колонок донных отложений озера посреди свободного ото льда коридора, показывает, что он был заселен растениями или животными не ранее чем 12,6 тыс. лет назад, то есть прошло

уже много времени после появления людей на территории обеих Америк. А возраст самых древних прямых археологических свидетельств пребывания людей в этом коридоре составляет 12,4 тыс. лет. С учетом всего вышесказанного данные свидетельствуют о том, что первые люди пришли в Америку не по свободному ото льда коридору.

Наиболее вероятный альтернативный путь, который стал доступен примерно 17–16 тыс. лет назад, — на лодках вдоль западного побережья. Этот вариант также больше соответствует данным генетики о расселении южных коренных американцев. Модели истории заселения, подтверждаемые эмпирическими данными, в настоящее время показывают, что группа южных коренных американцев быстро изменилась и разделилась на разные региональные популяции Северной, Южной и Центральной Америки примерно между 17 и 13 тыс. лет назад. Путешествие по воде вдоль

берега лучше объяснило бы скорость и периодичность такого разделения популяции, чем более медленный путь по суше.

Один из вариантов подобного сценария раннего заселения вдоль побережья допускает, что люди могли присутствовать в обеих Америках во время или даже незадолго до последнего ледникового максимума, возможно,

уже 20–30 тыс. лет назад. Предполагаемые свидетельства заселения до LGM обнаружены на нескольких стоянках в Мексике и Южной Америке, включая Педра-Фурада на северо-востоке Бразилии. Однако большинство археологов по-прежнему скептически настроены в отношении этих археологических памятников: они задаются вопросом о том, насколько точна датировка и не стала ли форма предполагаемых артефактов результатом действия естественных процессов, а не деятельности человека.

Подобный скептицизм не исключает возможности присутствия человека в обеих Америках до последнего ледникового максимума; он просто означает, что для подтверждения требуется больше доказательств. Если люди жили в Америке во время или незадолго до начала LGM, их численность, вероятно, была очень мала, поэтому, скорее всего, они оставили лишь очень незначительный археологический «отпечаток» на местности. Что интересно, раннее присутствие способен объяснить загадочный генетический след «популяции Y» в родословной некоторых групп Амазонии: он может быть результатом смешения народов, расселявшихся в Америке после отступления ледников, с теми, кто уже жил в Южной Америке.

Третий основной сценарий заселения Америки совершенно отличается от остальных. Небольшая группа ученых считает, что люди достигли этой части света очень рано. Это утверждение основано по большей части на исследовании останков мастодонта возрастом 130 тыс. лет, извлеченных на археологическом памятнике «Мастодонт Черутти» в Калифорнии. В опубликованном в 2017 г. анализе Стивен Холен (Steven Holen) из Музея естественной истории Сан-Диего с коллегами сделали вывод, что узор повреждений на костях был результатом разделывания туши. Камни, найденные на месте, посчитали орудиями, изготовленными человеком. Считается, что массовое расселение *H. sapiens* из Африки началось не раньше, чем 70–80 тыс. лет назад. Если останки мастодонта Черутти — действительно результат деятельности древнего человека, то они стали бы не только свидетельством того, что люди добрались до Америки гораздо раньше, чем считалось прежде, но и того, что первые прибывшие на эти континенты люди, вероятно, принадлежали к виду *H. erectus*, а не *H. sapiens*.

Большинство археологов отвергают это доказательство по многим причинам, включая возможность того, что современная строительная техника, а не древние люди, разделавшие тушу, размала останки мастодонта, обнаруженные во время строительства дороги. Более того, характер изменчивости геномов современных коренных народов не указывает ни на существование отдельной ветви родословной первых народов, берущей начало от других видов людей, ни на смешение между анатомически современными представителями *H. sapiens* и другими видами людей в обеих Америках. Если *H. erectus* добрался до этого уголка планеты, то он не оставил после себя ни ископаемых останков, ни вклада в родословную первых народов.

В настоящее время (по состоянию на 2021 г.) большинство археологов и генетиков согласны в том, что Америка уже была заселена по меньшей мере 14–15 тыс. лет назад. Однако ученые расходятся в оценке того, какие доколумбовские археологические памятники истинны, следовательно, в том, насколько рано древние люди могли прибыть на эти континенты. Подобное разнообразие мнений отражает трудности работы с археологической и генетической летописями, содержащими большие пробелы. Из трех описанных в настоящей статье сценариев второй наиболее близок к тому, чтобы примирить факты из области археологии и генетики. Но даже эта модель неспособна полностью объяснить все имеющиеся данные.

Принять неопределенность

Следует ожидать, что по мере продвижения в изучении заселения обеих Америк история станет еще более сложной. На момент написания этой статьи

в открытом доступе находится информация о нескольких десятках полных геномов современных и древних коренных народов. Эти геномы представлены неравномерно: большая часть — из Центральной и Южной Америки и с севера Северной Америки. Существует всего несколько полных геномов с территории современных Соединенных Штатов — результат оправданного недоверия коренных народов к исследователям. Причина такого недоверия кроется в эксплуатации коренных народов врачами и антропологами, которые с самых первых дней антропологии грабительно извлекали останки предков коренного населения из их мест упокоения. Многие использовали такие останки для создания классификаций по расовому признаку, с тех пор развенчанных. Генетикам необходимо работать с общинами коренного населения, чтобы гарантировать, что поиск знаний не принесет еще большего вреда.

Наличие подобного (связанного с географией) пробела в наших знаниях о генетической изменчивости означает, что сейчас в этой области ведутся активные исследования. Каждый новый секвенированный геном добавляет огромное количество информации. Ученые в своих поисках не ограничиваются лишь геномом человека и применяют в качестве подсказок ДНК из альтернативных источников, таких как связанные с человеком бактерии и вирусы, виды, служившие для человека добычей, и виды-компаньоны. Использование нечеловеческой ДНК дает возможность пролить свет на передвижения человеческих популяций, не нарушая неприкосновенности останков представителей коренных народов.

Высока вероятность того, что появятся новые детали, которые изменят обсуждавшиеся нами модели. В этой статье представлена основа для понимания важности будущих открытий. Ученые, работающие в этой области, научились спокойно относиться к неопределенности и признают, что существующие модели условны и подлежат пересмотру в свете меняющихся данных. Благодаря новым методам анализа ДНК и новым вопросам к полученным данным нас ждет удивительное будущее в области исследований первых народов и их путей достижения успеха на последнем непросто этапе многотысячелетнего путешествия нашего вида по планете. ■

Перевод: С.М. Левензон

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Прингл Х. Первые американцы // ВМН, № 1, 2012.

Коктейли для

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Могут ли пробиотики спасти
коралловые рифы от исчезновения?

Элизабет Свобода



кораллов

Кораллы Красного моря выживают в очень теплой воде, но сегодня даже они начинают проявлять признаки теплового стресса, вызванного изменением климата



ОБ АВТОРЕ

Элизабет Свобода (Elizabeth Svoboda) — научная журналистка и писательница из Сан-Хосе, штат Калифорния. Автор книги «Что делает человека героем? Удивительная наука о самоотверженности» (*What Makes a Hero?: The Surprising Science of Selflessness*, 2013).



Гигантские скаты манты и рифовые акулы неспешно проплывают мимо посетителей

громадного, размером с ангар, городского океанариума Рио-де-Жанейро (Бразилия). А в лаборатории, расположенной на верхнем этаже здания над главной галереей, морские биологи проводят новый эксперимент, который, по их мнению, поможет им спасти от исчезновения с лица земли коралловые рифы.

На четвертом этаже здания находятся 20 прямоугольных аквариумов шириной около 20 см. В каждом — небольшие разноцветные колонии морских кораллов. В некоторые из этих аквариумов ученые будут добавлять «коктейли» из пробиотиков — смеси различных бактерий, предназначенные для повышения устойчивости кораллов к суровым условиям существования.

Биолог Жуан Розаду (João Rosado) набирает мутную жидкость в пипетку, наклоняется над первым аквариумом и, осторожно надавливая на поршень, добавляет смесь в морскую воду. «Напоминает облачко дыма, — говорит через защитную маску стоящий рядом Педру Кардозу (Pedro Cardoso), коллега Розаду по Федеральному университету Рио-де-Жанейро. — Это и есть бактерии». Кардозу разговаривает со мной по линии прямой видеосвязи, специально установленной учеными, чтобы дать мне возможность воочию наблюдать за происходящими событиями. Сероватое облачко бактерий обволакивает коралл и медленно оседает на его веточках. Через некоторое время Розаду начнет добавлять в другие аквариумы раствор, содержащий насыщенных пробиотиками колловраток — микроскопических морских существ, которыми питаются кораллы. И, наконец, кораллы в третьей группе аквариумов получат добавки обоих типов, а обитатели четвертой не получат ничего. На протяжении последующих нескольких недель биологи будут внимательно следить за кораллами во всех аквариумах, чтобы выяснить, пошло ли им на пользу какое-либо из этих воздействий.

Использование колловраток — новый подход к доставке полезных бактерий попавшим в беду кораллам. Результаты эксперимента, проведенного

в декабре 2020 г., помогут биологам решить, стоит ли использовать пробиотики в естественной среде, чтобы повысить шансы кораллов на выживание в условиях потепления морской воды и частых вспышек опасных заболеваний. Исследование, проводимое Розаду и Кардозу под руководством морского биолога Густаву Дуарте (Gustavo Duarte), основано на результатах работ с пробиотиками их наставницы Ракель Пейшоту (Raquel Peixoto), впервые опубликованных в 2015 г. Пейшоту — лидер смелого, но противоречивого проекта по спасению кораллов с помощью добавленных в океан пробиотиков, которые могут вызвать изменения этой экосистемы. В текущем году Пейшоту собирается применить пробиотики в Красном море, а потому несколько природоохранных групп тщательно изучают возможные последствия этого вмешательства. Хотя исследовательница и ее сотрудники уже провели множество лабораторных экспериментов и намерены строго ограничить масштабы первых испытаний пробиотиков в открытом море, кораллы, по словам исследовательницы, находятся сегодня в такой опасности, что «настало время рисковать».

Коралловые рифы занимают почти 285 тыс. км² дна Мирового океана. Они сосредоточены главным образом в 10–12 регионах планеты, но оказывают глобальное влияние на жизнь всего Мирового океана и человечества. На коралловых рифах проводят хотя бы часть жизни почти четверть всех видов морских животных. Рифы гасят огромные штормовые волны, разрушающие береговую линию. Кроме того, они кормят миллионы людей и ежегодно приносят мировой туристической индустрии около \$20 млрд.



Но сегодня коралловые рифы планеты, похоже, находятся на краю гибели. Массовое обесцвечивание кораллов (признак голодания этих существ) ученые впервые отметили в 1983 г., а в начале 1990-х гг. они начали связывать этот феномен с изменением температуры моря. За период с 1987 по 2019 г. вода в Мировом океане прогрелась на 450% сильнее, чем за предшествующий промежуток времени с 1955 по 1986 г. Начиная с 1980 г. 94% всех коралловых рифов планеты испытали по меньшей мере один эпизод сильного обесцвечивания. А Большой Барьерный риф только за последние пять лет пережил три таких эпизода. Как отмечается в недавнем отчете ООН о состоянии окружающей среды, к 2034 г. большинство коралловых рифов планеты подвергнутся сильному обесцвечиванию, а без человеческого вмешательства все рифовые экосистемы полностью исчезнут с лица земли к 2100 г. Скорее всего, глобальная гибель коралловых рифов продолжится даже в том случае, если страны возьмут под контроль углеродные выбросы в атмосферу. На то, чтобы переломить эту тенденцию, «у нас почти не остается времени — максимум десятилетие, — говорит Карлос Дуарте (Carlos M. Duarte), морской биолог из Научно-технологического университета имени короля Абдаллы (KAUST) в Саудовской Аравии. — И время это быстро уходит».

По мнению биологов, изучающих пробиотики, эти препараты способны не только отсрочивать гибель кораллов, но и восстанавливать некоторые

Обесцвеченные кораллы, растущие на Большом Барьерном рифе неподалеку от города Кэрнса (Австралия), страдают от голода и уязвимы к болезням, которые могут привести к их гибели

повреждения, полученные этими организмами, и тем самым возвращать к полноценной жизни исчезающие виды. «Звучит довольно претенциозно, — говорит Ребекка Тербер (Rebecca Vega Thurber), морской микробиолог и эколог из Орегонского университета. — Но если хорошо спланировать эксперимент и правильно его провести, эта цель вполне достижима».

Многие важные вопросы, однако, остаются пока без ответа. Не унесут ли морские течения пробиотики в открытый океан? Не слишком ли больших денег потребует пробиотическая обработка рифов, простирающихся вдоль побережий на сотни километров? И даже самые ярые сторонники этого подхода признают сопряженный с ним огромный риск: «опыление» рифов бактериями способно вызвать фундаментальные изменения в экосистеме океана.

Существуют опасения, что некоторые бактерии могут случайно спровоцировать вспышки новых болезней кораллов: возможность такого сценария показали недавние лабораторные тесты. И никто в точности не знает, как добавление пробиотиков в морскую воду может отразиться на рыбах и крабах, то есть животных, питающихся коралловыми полипами.



Но, как и в случае с глобальным изменением климата, будущее коралловых рифов представляется настолько зловещим, что даже многие защитники природы все чаще говорят о необходимости срочного и кардинального вмешательства в ситуацию. «Решение напрашивается само собой, — подытоживает Пейшоту, которая в настоящее время работает морским микробиологом в KAUST. — Нужно что-то делать. Иначе будет слишком поздно!»

Ремонт рифов

Ученые пытаются восстанавливать поврежденные коралловые рифы с 1970-х гг. В 2000 г. Барух Ринкевич (Baruch Rinkevich) из израильского Национального института океанографии основал один из первых в мире питомников для разведения кораллов с целью их последующей высадки на рифах, пострадавших от рыболовства, дайвинга или штормов.

Ученые начали исследовать возможные способы спасения кораллов в начале текущего столетия. В 2010 г. биологи из флоридской Морской лаборатории Моута показали, что фрагменты кораллов, отделенные от здоровых колоний этих существ и помещенные в лабораторные резервуары, быстро пускаются в рост и вскоре превращаются в полноценные миниатюрные дочерние колонии. (Кораллы могут размножаться как половым путем,

Морской биолог Келли Питтс наносит пасту, содержащую один пробиотик, на кораллы у побережья Флориды, чтобы помочь этим организмам бороться с дегенеративной болезнью (1). Во время следующего погружения она будет обрабатывать растущие по соседству кораллы жидкой формой препарата (2).

высвобождая в морскую воду яйцеклетки и сперматозоиды, так и бесполом способом — почкованием, то есть, по сути дела, с помощью клонирования.) В 2018 и 2019 гг. ученые из Мексики и Израиля, воспользовавшись методом фрагментирования кораллов, начали высаживать полученные дочерние колонии на рифах близ тихоокеанского побережья Мексики. Выживаемость молодых кораллов, в которые превращались эти детки, составила примерно 60%, даже несмотря на разрушительные последствия урагана «Уилла». А кораллы, полученные сотрудниками Морской лаборатории Моута из кусочков колоний и высаженные на флоридских рифах, за истекшее время превратились в крупные колонии и в 2020 г. успешно приступили к половому размножению.

Существует и иная стратегия разведения кораллов. В 2015 г. ученые из Австралийского института океанологии (AIMS) предприняли первые попытки по разведению в лабораторных условиях так называемых суперкораллов, то есть кораллов, обладающих генами, которые помогают этим животным



противостоять стрессу. Ученые из AIMS и Гавайского университета работают над созданием таких сверхстойких кораллов, используя так называемую вспомогательную эволюцию: они отбирают дикие кораллы с желательными генетическими признаками (например, устойчивостью к значительному повышению температуры океана), а затем скрещивают их друг с другом с целью усилить эти признаки у потомства. Лабораторное исследование, проведенное в 2020 г. в AIMS, показало, что шансы на выживание в сильно нагретой воде у созданных таким образом терmostойких кораллов были в 26 раз выше, чем у обычных.

Еще один способ помочь кораллам — повысить эффективность их размножения. В 2017 г. ученые из Калифорнийской академии наук, экологической организации *Nature Conservancy* и природоохранной организации *SCORE International* начали отфильтровывать из морской воды яйца и сперматозоиды, высвобождаемые в море здоровыми кораллами во время нереста. Оплодотворение яиц ученые осуществляли уже в лаборатории, а вылупившихся из оплодотворенных яиц личинок они помещали на поврежденные коралловые рифы.

Но все описанные выше методы грешат одним серьезным недостатком: ученым приходится заниматься кораллами в лабораториях и после этого

высаживать их на разрушающиеся рифы, а это процесс медленный и дорогостоящий. Лечение больных рифов пошло бы гораздо быстрее и обошлось бы намного дешевле, если бы его можно было проводить прямо в море. Такая возможность и заставила Ракель Пейшоту и других исследователей задуматься о пробиотиках. Пробиотиками можно было бы обрабатывать также фрагментированные кораллы и кораллы, созданные и выращенные в лабораториях, чтобы повысить их устойчивость к высоким температурам и болезням перед высадкой в море.

Коралловые рифы — это массивные образования, состоящие из многих тысяч коралловых полипов — крошечных животных, каждое величиной с кончик мизинца. В тельце каждого полипа живут разнообразные бактерии, водоросли, грибы и другие микроорганизмы (их совокупность называется микробиомом). Как и микробы в человеческом кишечнике, эти крохотные обитатели полипов выполняют различные функции, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность всей миниатюрной биосистемы в целом. Проведенный недавно метагеномный анализ (изучение генетического материала микробов, живущих в коралловых полипах) позволил ученым составить более четкое представление о том, какие задачи выполняют эти микроорганизмы. Биологи из Массачусетского технологического института, Океанографического института в Вудс-Холе и других учреждений выделили бактерии, потребляющие избыточный азот и тем самым предотвращающие рост находящихся поблизости водорослей, которые иначе лишали бы кораллы питательных веществ. Другие микроорганизмы обезвреживают свободные радикалы — частицы, повреждающие клетки кораллов, а третьи фиксируют углекислоту для запасания энергии. По мнению ученых, полезные коралловые микробы повышают устойчивость своих хозяев к стрессовым факторам окружающей среды, поддерживая их нормальную жизнедеятельность и защищая от болезней, точно так же как микробы человеческого кишечника, помогая ему расщеплять и усваивать пищу, способствуют поддержанию нашего здоровья.

Но по мере повышения температуры воды в океане взаимоотношения между живущими в кораллах микробами постепенно нарушаются. Биологи из Орегонского университета обнаружили, что сообщества бактерий в кораллах, подвергающихся стрессу, часто становятся нестабильными, что способствует распространению болезнетворных микробов. Кроме того, потепление океанов вместе с их закислением, вызванным повышением уровня углекислоты в воде, нарушают опосредованные микробами процессы кальцификации, с помощью которых кораллы формируют свой скелет и восстанавливают повреждения. Вдобавок

испытывающие стресс полипы изгоняют из своих телец симбиодии (одноклеточные зеленые водоросли, улавливающие солнечный свет и вырабатывающие с его помощью питательные вещества) и тем самым лишают себя источника пищи. Без этих водорослей кораллы обесцвечиваются — приобретают характерную блеклую окраску, которая, по мнению биологов, указывает на отмирание полипов, потому что обесцвеченные кораллы, помимо прочего, становятся более уязвимыми к болезням. Пейшоту наблюдала это тревожное преобразование кораллов воочию.

Распад вселенной

В детстве, во время школьных каникул, Пейшоту любила плавать с маской и трубкой над бразильскими коралловыми рифами у побережья штата Баия, любясь простиравшейся внизу яркой волшебной вселенной. Повзрослев, она стала погружаться в море с аквалангом и наблюдала, как эта вселенная начинает распадаться. Кораллы мало-помалу превращались в безжизненные скелеты, а те, в которых еще теплилась жизнь, выглядели блеклыми и чахлыми. «С каждым годом ситуация становится все хуже, — говорит Ракель. — Вы погружаетесь в море и видите, что 90% видов кораллов уже мертвы». После одного из таких погружений исследовательница твердо решила сделать все возможное, чтобы вернуть дикие кораллы к жизни. «Мне захотелось спасти хотя бы уцелевшее разнообразие кораллов на рифах и сделать так, чтобы их судьба больше не вызывала опасений», — говорит Пейшоту.

Для этого Пейшоту решила использовать новый подход. В ходе исследования, проведенного в 2010 г. и направленного на разработку безопасных методов очистки бразильских мангровых болот от нефтеразливов, группа ученых под руководством Пейшоту показала, что некоторые бактерии способны расщеплять нефтепродукты и улучшают рост и развитие растений. А что если использовать концентрированные «добавки» подобных бактерий для защиты коралловых рифов? До тех пор никто не пробовал лечить кораллы пробиотиками, но у Пейшоту было предчувствие, что этот метод сработает.

Первым делом исследовательница собрала морскую воду и биопродукты с поверхности местных кораллов. Затем она секвенировала в этой смеси бактериальные геномы для выявления микробов, которые могли бы способствовать выживанию полипов. Она выращивала культуры местных микроорганизмов и для каждого рифа подбирала особую смесь бактерий. Время ликования для команды биологов под руководством Пейшоту наступило в конце 2018 г., когда были опубликованы результаты их исследования, свидетельствующие о том, что особым образом приготовленные смеси

пробиотиков помогли кораллам пережить сильное повышение температуры воды в аквариумах и успешно противостоять ряду болезней.

Одно из последних исследований Пейшоту, широко обсуждаемое в научной прессе, направлено на изучение конкретных механизмов, позволяющих пробиотикам укреплять здоровье кораллов. Ее бразильские сотрудники помещали по четыре коралловых фрагмента длиной с палец в 20 небольших аквариумов и составляли смесь из шести видов бактерий, выделенных из здоровых экземпляров *Mussismilia hispida* — одного из самых широко распространенных кораллов южной части Атлантики. Раз в несколько дней ученые вынимали из сосудов несколько коралловых фрагментов, обильно орошали их поверхность пробиотиками, а затем возвращали их в аквариумы. После этого в половине аквариумов они повышали температуру воды.

Результаты, полученные биологами через несколько недель, произвели ошеломляющее впечатление: в группе контрольных кораллов погибло более трети экземпляров, зато почти все кораллы, обработанные пробиотиками, остались целыми и невредимыми. Детальный анализ результатов позволил ученым понять механизмы, позволяющие пробиотикам повышать жизнеспособность кораллов. У обработанных кораллов была слабее выражена экспрессия генов, связанных с воспалением. Кроме того, эти кораллы обнаруживали меньшую активность генов, ответственных за клеточную гибель. А это означает, что «даже если такие кораллы подвергаются обесцвечиванию, оно не сопровождается полной утратой тканей», — говорит Пейшоту. — От этого их защищают пробиотики». Такая защита может сработать и при разведении «суперкораллов» или выращивании кораллов из фрагментов колоний. Лабораторная обработка кораллов правильно составленной смесью пробиотиков перед их высадкой на риф вполне способна повысить их шансы на выживание.

Первое полевое испытание

В один из ясных январских дней 2020 г. сотрудники Смитсоновской морской станции во Флориде впервые осуществили обработку кораллов пробиотиками непосредственно в море. Использованными ими пробиотик, который они разрабатывали в течение трех лет, представлял собой не смесь бактерий широкого спектра действия, как у Пейшоту. Это был препарат, созданный для борьбы с вполне конкретной угрозой: одной из самых тяжелых болезней, поражающей флоридские рифы, — дегенерацией тканей мадрепоровых (каменистых) кораллов. Биолог Келли Питтс (Kelly Pitts), присоединившаяся к группе смитсоновцев в 2019 г. после работы во флоридском Юго-Восточном университете Нова, решила испытать пробиотики в качестве «натурального» средства защиты



Морской биолог Раquel Пейшоту тестирует пробиотики в лаборатории. В этом году она планирует использовать в Красном море коктейль, содержащий несколько штаммов бактерий, для защиты местных кораллов от обесцвечивания.

кораллов от различных болезней. Надев акваланг и ласты, Питтс погрузилась в море над одним из коралловых рифов у восточного побережья Флориды неподалеку от курортного города Форт-Лодердейл. На глубине примерно 9 м в поле она заметила прозрачный пластиковый пакет около полуметра в диаметре, пришпиленный к морскому дну и окружавший похожую на купол колонию кораллов.

Внутри пакета находилась колония каменистого коралла монтастреи возрастом более десяти лет (колонии кораллов могут жить десятилетиями и даже столетиями). Некоторые полипы этой колонии все еще сохраняли ярко-оранжевую окраску, но большинство полипов поблекли до цвета хаки — признак поражения дегенеративной болезнью. Питтс подсунула гибкую трубку под край купола, а другой ее конец насадила на кончик шприца, наполненного пробиотическими бактериями. Потом она стала медленно надавливать на поршень шприца, и внутри пакета начало расти густое беловатое облачко жидкости, которое вскоре обволокло всю колонию.

Во время этой работы Питтс испытывала и волнение, и тревогу. Ее коллеги месяцами тестировали пробиотики в аквариумах, но совсем иное — испытывать препараты непосредственно на рифе. А если целебная смесь просочится из пакета? Точно такие же опасения исследовательница испытывала и несколько месяцев спустя, когда выдавливала из шприца густой пробиотический гель на растущий на морском дне коралл, который даже не был защищен пакетом и со всех сторон омывался водой. Когда гель в конце концов прочно

пристал к кораллу, тревога Питтс сменилась ликованием, и, засмеявшись от радости, она принялась хлопать под водой в ладоши.

Дегенеративная болезнь каменистых кораллов, которая разъедает полипы, словно кислота, за семь последних лет опустошила почти 400 км² коралловых рифов в водах Флориды и Карибского моря. Эта болезнь предположительно бактериальной природы безудержно распространялась по региону, за считанные месяцы или даже недели убивая крупные сообщества кораллов. К 2017 г. борьба с этой напастью возглавила список приоритетов флоридских защитников природы. Используя быстрое секвенирование геномов, сотрудники Смитсоновской морской станции идентифицировали один из видов морских бактерий, которые в небольших количествах присутствовали на местных кораллах и вырабатывали натуральный антибиотик корормицин. Как показали аквариумные испытания, достаточно высокие концентрации этих пробиотических бактерий в воде эффективно защищали кораллы от болезни.

В лабораторных тестах ученые обрабатывали этими бактериями самые разные виды кораллов, растущие на крупных рифах, — они хотели удостовериться, что эти микробы не навредят ни одному из их здоровых обитателей. Пытаясь хоть как-то обуздать болезнь, флоридские исследователи начиная с 2018 г. обрабатывали кораллы амоксицилином и другими антибиотиками, но в результате такого радикального «лечения» гибло множество полезных бактерий. Питтс надеялась, что пробиотики помогут решить эту проблему.

В конце 2019 г. группа ученых-смитсоновцев получила официальное разрешение штата на проведение исследований в открытом море. Биологи соблюдали все меры предосторожности и постоянно помнили о необходимости начинать испытания с самых малых доз препаратов, но недуг распространялся так быстро, что местные защитники природы настаивали на самых энергичных действиях.

В январе и сентябре 2020 г. Питтс и ее коллеги обработали 14 колоний кораллов с помощью жидкого пробиотика и семь других колоний с помощью пробиотической пасты. Когда через две недели после январского испытания ученые вновь обследовали риф, они обнаружили, что примерно у 80% обработанных пробиотиком кораллов болезнь больше не прогрессировала. Кроме того, на рифе начали заживать и некоторые «проплешины», образовавшиеся в результате болезни. К сожалению, пандемия COVID-19 заставила ученых на некоторое время приостановить исследования.

Нежелательные последствия

Сообщества микробов — невероятно сложные системы. Изменение концентрации какого-нибудь «полезного» типа бактерий может непредсказуемым образом отразиться на присутствии других важных бактерий в микробиоме. Для людей, скептически относящихся к использованию коралловых пробиотиков, эти сложность и непредсказуемость — источник непреходящего беспокойства. «Возможно, какое-то время они и впрямь приносят пользу, — говорит Ребекка Тербер, — а потом происходит нечто непонятное и начинаются проблемы».

Тай Роуч (Ty Roach), молекулярный эколог из Гавайского института морской биологии, проведший собственные лабораторные испытания пробиотиков, беспокоится о возможных необратимых изменениях микробиома кораллов или даже всей морской экосистемы. «Чем больше я возился с этими препаратами, тем сильнее тревожился», — признается ученый. В одном из неопубликованных исследований он изучал состояние примерно 130 кораллов из рода *Porites* длиной с палец руки, которые находились в 12 аквариумах объемом около 15 л. После того как сотрудники Роуча обработали их концентрированной смесью местных бактерий (а не одним из специально приготовленных бактериальных коктейлей, используемых Пейшоту), некоторые колонии погибли от какой-то болезни. Вначале Роуч заметил, как на поверхности нескольких кораллов, словно в результате раздражения, сформировался толстый слой слизи. Затем начали отмирать небольшие участки тканей полипов. В состав естественной бактериальной смеси, характерной для изученных кораллов, входят стафилококки, которые вызывают болезни и у людей.

Роуч отмечает, что исследований, посвященных изучению биологических механизмов, с помощью которых пробиотики защищают своих хозяев-кораллов от болезней, до сих пор проведено очень мало. «Нам удалось заставить некоторые кораллы выдерживать небольшое повышение температуры воды, — говорит ученый. — Но до сих пор неизвестно, чем обусловлен этот эффект». И он понятия не имеет, окажет ли влияние пробиотическая терапия кораллов на других обитателей моря. «На рифе с кораллами непосредственно взаимодействуют множество других организмов, включая рыб, водоросли и ракообразных», — отмечает ученый. Давний коллега и друг Пейшоту, морской биолог из английского Университета Дерби Майкл Свит (Michael Sweet) одобряет пробиотическую обработку только в том случае, если доказана ее безопасность. Но и этот ученый разделяет опасения Роуча: «Как-то не хочется нести ответственность за заражение океана супербактерией, которая может превратиться в нового смертельного врага кораллов».

Открытым остается вопрос и о том, как часто следует проводить пробиотическую терапию. Люди с расстройствами пищеварения нередко принимают пробиотики каждый день или даже два раза в день. Биологи могут лишь предполагать, что для создания устойчивого микробного равновесия достаточно пробиотическая обработка кораллов с частотой, скажем, раз в неделю или раз в месяц.

Учитывать следует и финансовую сторону вопроса. На данном этапе исследований стоимость обработки крупного рифа пробиотическим коктейлем оценить очень трудно. Пейшоту убеждена, что некоторые из созданных ею смесей эффективно работают даже в малых дозах, но лечение 1 км² рифа может стоить около \$600–700 (если допустить, что работы будут проводить опытные дайверы, пользующиеся собственными лодками или катерами). Обработка рифа пробиотиками может защитить кораллы от теплового поражения на срок до месяца. Если же пробиотическими обработку рифов в широком масштабе будут проводить специально созданные роботы, лечение кораллов, по словам Пейшоту, обойдется дешевле.

Как недавно сообщил Свит, лабораторное разведение кораллов с помощью «вспомогательной эволюции», их высадка на риф и последующее наблюдение за их развитием обойдутся в сумму от \$49 до \$227 для каждой колонии полипов. А на каждом квадратном километре рифа иногда растут десятки тысяч колоний кораллов. Если выращенные в лаборатории кораллы обрабатывать пробиотическими бактериями до пересадки на риф, «затраты будут низкими», утверждает Свит. Но «если пробиотическую обработку нужно будет проводить регулярно, то работы влетят в копеечку».

Однако Роуч и Свит отлично знают, в какой опасности сегодня находятся рифы, а потому не сомневаются, что спонсоры из числа защитников природы будут охотно жертвовать средства на использование пробиотиков в морях. «Если мы начнем терять рифы, — говорит гавайский коллега Роуча морской биолог Кроуфорд Друри (Crawford Drury), — желание хоть как-нибудь помочь им взлетит до небес».

Допускают возможность использования пробиотиков и крупные организации. Бразильский фонд дикой природы, финансирующий некоторые исследования Пейшоту, смотрит на перспективы этого метода с огромным оптимизмом. Массовое обесцвечивание кораллов в Бразилии в 2019 г. дало мощный толчок к разработке новых методов спасения рифов, отмечает бразильский аналитик Всемирного фонда дикой природы Винисиус Нора (Vinicius Nora). Австралийский Фонд Большого Барьерного рифа, который уже выделил сотни тысяч долларов на изучение эффектов пробиотиков, также расценивает работу Пейшоту как перспективный способ повышения жизнеспособности

кораллов, выращенных в лаборатории и предназначенных для высадки на рифы. Сотрудники этого фонда принимают участие в исследованиях Пейшоту и австралийских ученых, направленных на включение пробиотиков в будущие проекты по восстановлению рифов. «Мы должны наверстать упущенное, — говорит биолог фонда Уве Хег-Гулдберг (Ove Hoegh-Guldberg). — Нужно двигаться вперед семимильными шагами и проверять все возможности».

Отчаянная решимость

Пейшоту отлично понимает беспокойство своих критиков. Чтобы внести ясность в ситуацию, в этом году она планирует провести эксперименты в «искусственном море» площадью 700 м² в замкнутой экосистеме «Биосфера-2» Аризонского университета. Эти тесты должны дать ученым более четкое представление о возможном влиянии пробиотиков на другие формы жизни в океане. Тем не менее обычно Пейшоту не тратит много времени на обдумывание своих действий. Она признает, что часто теряет терпение, имея дело со слишком осторожными людьми. Исследовательница чувствует, что ее долг — испробовать все средства для спасения рифов. А это значит, что в самом скором времени Пейшоту собирается начать лечение кораллов непосредственно в океане. «Если сидеть сложа руки, — говорит она, — они погибнут».

А потом она полетит в Саудовскую Аравию, в стоящий на побережье Красного моря университет KAUST. В местном порту Пейшоту сядет в маленькое водолазное судно и отправится на мелководный риф в десяти минутах плавания от берега, где над раскинувшимся на морском дне коралловым монолитом порхают стайки разноцветных рыб-бабочек.

Поскольку в Красном море рифы формировались при сравнительно высоких температурах воды, изучение бактерий, которые защищают здесь кораллы от теплового повреждения, возможно, прольет свет на механизмы их термоустойчивости и поможет использовать полученные знания для лечения этих организмов в других частях света. «Для меня этот риф, — говорит Пейшоту, — словно сокровищница. Я плыву туда и добываю золото». Но признаки стресса в последнее время начинают проявлять даже сверхстойкие кораллы Красного моря. В 2020 г. обесцвечивание опустошило обширные участки местных рифов, и специалисты опасаются, что в дальнейшем ситуация только ухудшится. А Пейшоту тем временем совершенствует бактериальную смесь, которую она и ее сотрудники надеются использовать в этом году на рифе. Эти испытания станут первым опытом применения пробиотиков в океане.

В Красном море некоторые рифовые массивы разделены обширными участками голого морского

дна. Это обстоятельство облегчит работу Пейшоту: можно будет обрабатывать пробиотиками отдельные массивы кораллов, не затрагивая при этом соседние. «А потому вначале наши эксперименты будут локальными и хорошо контролируемыми», — говорит исследовательница.

Тем не менее эти испытания будут существенно отличаться от тестов, проводившихся группой ученых Смитсоновской морской станции во Флориде. Смитсоновцы применяли лишь один вид микробов, предназначенный для лечения специфической болезни кораллов, а Пейшоту будет обрабатывать их многокомпонентным коктейлем гораздо более широкого предназначения: он должен повысить устойчивость кораллов к обесцвечиванию и укрепить их жизнеспособность в дальнейшем. Как и прежде, Пейшоту собирается выделять полезные микробы из местных кораллов и готовить из их смесей целебные суспензии. Она полностью исключит из своих тестов группы бактерий, которые могут вызвать какие-либо заболевания полипов, и вначале проведет детальную оценку рисков в университетских аквариумах, чтобы убедиться, что пробиотический коктейль не вызывает каких-либо нежелательных последствий для здоровья кораллов в небольших резервуарах.

Если эти тесты пройдут успешно, Пейшоту испытает свою смесь на нескольких небольших рифовых структурах площадью примерно по 2 м² каждая. Микробы будут высвобождаться в воду из клейких лент, прикрепленных к кораллам или находящимся рядом осадочным породам. Спустя несколько недель Пейшоту оценит здоровье обработанных кораллов и сравнит его с состоянием контрольных колоний. Периодические проверки будут продолжаться в течение года, и все это время исследовательница будет следить за живущими по соседству губками, рыбами и прочими крупными организмами на предмет возможного развития у них нежелательных эффектов.

Ракель Пейшоту прекрасно осознает всю масштабность и все риски предстоящей работы, но быстрый рост коралловых городов-призраков, который она отмечает во время своих погружений в море, укрепил ее готовность к радикальному вмешательству в жизнь океана. Пейшоту — оптимистка, непоколебимо верящая в силу биоремедиации. Она знает, что некоторые обвиняют ее в опрометчивости. Но и Пейшоту, и многие другие морские биологи полностью уверены в необходимости смелых и решительных действий. «Если сейчас прийти коралловым рифам на помощь, — говорит исследовательница, — мы сможем любоваться ими и впредь». В противном случае морское дно, по ее мнению, на долгие века превратится в мрачную подводную пустыню. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ПРИВЫЧКА БЫТЬ ЛИДЕРОМ

Елена Ефстифеева

Томскъ. — Tomsk. № 30.
Университетъ.



ЮБИЛЕЙ

В год науки и технологий свой 125-летний юбилей отмечает Томский политехнический университет — вуз, привыкший быть лидером. В 1896 г. он был учрежден императором Николаем II как Томский технологический институт (ТТИ) и стал первой в России альма-матер инженерных кадров за Уралом.



«...Сибирь действительно имеет право называться золотым дном. Пройдет десяток, может два десятка лет, и Томский технологический институт послужит для Сибири могучим рассадником и образцом промышленной техники. Он даст сибирским капиталистам ученых руководителей, пример и инициативу в заведении местных заводов и фабрик, укажет те естественные богатства, которые должны подлежать умелой и выгодной разработке. Эта чудотворная метаморфоза Сибири пусть будет завесом истекающего столетия будущему XX веку», — сказал попечитель Западно-Сибирского учебного округа В.М. Флоринский в своем выступлении 6 июля 1896 г. на закладке первого здания ТТИ.

Это программное выступление стало пророческим, за исключением того, что Томский политех стал «могучим рассадником и образцом» не только для Сибири. Его ученые и разработанные ими технологии востребованы во всем мире, студенты съезжаются в вуз со всего света, а выпускники трудятся во всех уголках земного шара.

Отцы вуза

Место первого директора института предложили занять Д.И. Менделееву. Он по состоянию здоровья вынужден был отказаться, однако принимал активное участие в становлении института — входил в состав комитетов, занимавшихся строительством корпусов, помогал оснащать лаборатории и кабинеты института новейшим оборудованием, подбирал профессиональные

научные кадры. В благодарность в 1904 г. Д.И. Менделеева избрали первым почетным членом института.

А первым директором вуза стал его ученик — профессор Е.Л. Зубашев, русский химик-технолог. Кстати, родоначальники Томского политеха немало поспособствовали тому, что химическая наука в вузе всегда была на высоте.

Принципы через годы

В 1900 г. на двух отделениях первого курса — механическом и химико-техническом — начинают учиться первые 203 студента. Вскоре открывают еще два отделения для подготовки востребованных в Сибири кадров — горное и инженерно-строительное. Томский технологический институт в виде исключения для того времени получает статус политехнического, что значительно расширяет его возможности.

Представим промышленность Сибири начала XX в. Это преимущественно малые и средние предприятия, где необходимы были универсалы-инженеры, организаторы-управленцы. Принципы, которые положили в основу инженерного образования отцы вуза, позволяли это делать.

Главными были следующие:

- сочетание теории с практикой;
- большой объем естественно-научных дисциплин, математики и спекурсов;
- разносторонность образования: для всех специальностей, например, были обязательны основы строительного дела, экономические дисциплины, основы юридических и медицинских знаний, владение несколькими иностранными языками, огромное количество творческих кружков при вузе;
- и основной принцип — интеграция образования и науки в вузе.

За это активно ратует Е.Л. Зубашев, и образовательный процесс тесно переплетается в Томском политехе с исследовательской повесткой, научная деятельность в институте начинается с момента его открытия.

Эти принципы вуз пронесит через все годы своего существования. Время показало их актуальность.



Открытие Императорского Томского технологического института

Первые учителя, первые ученики, первая техническая интеллигенция Сибири

Среди первых профессоров института были такие ученые, как профессор Н.М. Кижнер, открывший известную всем химикам мира реакцию Кижнера — Вольфа, профессор Ф.Э. Молин, положивший начало высшему математическому образованию и математическим исследованиям в Сибири, профессор Е.В. Бирон, открывший явление вторичной периодичности закона Д.И. Менделеева, академик Н.П. Чижевский, выдающийся ученый в области металлургии и коксохимии, профессор Б.П. Вейнберг, крупнейший физик и гляциолог, профессор В.А. Обручев, организатор горного отделения и родоначальник горно-геологической школы Сибири, а также писатель-фантаст, перу которого принадлежат «Земля Санникова», «Плутония» и другие романы.

Из первого набора, выпуск которого случился в 1906 г., до диплома дошли всего 16 человек, но каких! Среди них гордость Томского политеха — заслуженные деятели науки и техники, профессора И.Н. Бутаков, известный ученый-теплотехник, и В.А. Ванюков, выдающийся ученый-металлург.

Первый выпуск геологов, а он состоялся в 1908 г., подарил науке М.А. Усова, в дальнейшем крупного ученого-геолога, профессора ТТИ, первого сибирского академика.

Одновременно с вузом была основана и первая Научно-техническая библиотека в Сибири. Начало ей положили 3 тыс. томов из библиотеки инженера С.Н. Кулибина. В 1900 г. фонд насчитывал 6 тыс. томов по математике, теоретической механике, физике, химии. Было выписано 17 названий отечественных и 85 зарубежных периодических изданий. Штат состоял из двух человек — библиотекаря и его помощника. Сегодня НТБ ТПУ — это 2,4 млн изданий технического, естественно-научного, гуманитарного, социально-экономического профиля. Библиотека предоставляет доступ к 84 электронным базам данных и 78 млн электронных документов.

Томский технологический институт стал кузницей инженерных кадров, именно он положил начало формированию нового класса сибирского общества — технической интеллигенции. Если до открытия ТТИ в Сибири насчитывалось не более 30 специалистов с высшим образованием, которые долго не задерживались



Директор ТТИ Е.Л. Зубашев в своем рабочем кабинете, располагавшемся в главном корпусе

в провинции, то с 1900 по 1917 г. Томский политех подготовил 882 инженера, из них 211 горняков и геологов, 380 механиков, 114 химиков и 168 строителей. К 1925 г., несмотря на революции и кризис в стране, ТТИ окончило более 1,5 тыс. специалистов.

Именно томские политехники стояли у истоков создания угольных и металлургических предприятий Кузбасса, открыли полиметаллы Норильска, заложили фундамент и обеспечили развитие нефтегазодобывающей, атомной, химической, энергетической отраслей в Сибири, на Дальнем Востоке и в Средней Азии.

Братство политехников

За 125 лет с момента основания дипломы Томского политеха получили свыше 170 тыс. человек. Среди выпускников и сотрудников ТПУ — нобелевский лауреат академик Н.Н. Семенов, ученые с мировыми именами академики К.И. Сатпаев, Д.А. Франк-Каменецкий, Г.А. Месяц, авиаконструктор Н.И. Камов (создатель вертолетов «Ка»), конструктор Останкинской телебашни Н.В. Никитин, создатель бурового агрегата для забора лунного грунта (автоматическая космическая станция «Луна-24») О.Д. Алимов, полярный исследователь Н.Н. Урванцев, писатель-фантаст А.П. Казанцев и др.

Среди томских политехников — шесть Героев Советского Союза, более 50 Героев Социалистического Труда, 30 лауреатов Ленинской премии и свыше 300 лауреатов Государственных премий СССР и премий Президента РФ и Правительства РФ, более 80 действительных членов и членов-корреспондентов государственных академий

наук СССР, союзных республик, России и стран СНГ, более 450 первооткрывателей месторождений полезных ископаемых.

Томский политех положил начало 20 высшим учебным заведениям и научно-исследовательским институтам страны, и в какой-то степени выпускники этих организаций — тоже политехники.

Первый технический

В послевоенные годы Томский политех опять откликается на призыв о подготовке кадров для новых отраслей промышленности — открываются специальности, связанные с атомной и нефтегазовой промышленностью, с организацией производства. При вузе создаются четыре НИИ. Коллектив политехников в 1970-е гг. достигает 25 тыс. человек — настоящий город в городе.

В 1991 г. Томский политехнический институт получает статус университета и продолжает наращивать потенциал, принимая новую концепцию развития. При ТПУ открывается уникальная образовательная площадка — лицей для одаренных старшеклассников, традиционно входящий в число лучших школ страны.

В 1997 г. Томский политех указом президента РФ включают в свод особо ценных объектов культурного наследия народов Российской Федерации.

2009 г. ознаменован тем, что для ТПУ началась новая эра — ему первому среди технических вузов России присвоена категория «Национальный исследовательский университет».

В 2013 г. ТПУ становится участником проекта «5–100» Министерства образования и науки РФ по продвижению в сотню лучших университетов мира.

Всегда в топе

Сегодня Томский политех продолжает удерживать лидерские позиции — это демонстрируют и показатели крупнейших мировых рейтингов.

Свой юбилей ТПУ встречает в топе-10 лучших университетов страны по версии национальных и международных университетских рейтингов.

ТПУ входит в группу 51-75 Шанхайского рейтинга университетов *Global Ranking of Academic Subjects* в предметной области «Инжиниринг» по предмету *Mechanical Engineering*. В предметном рейтинге *QS Subject Engineering — Petroleum* (нефтегазовое дело) вуз занимает 23-ю позицию, опережая другие российские университеты. Кроме того, Томский политех в топе-100 рейтинга *Times Higher Education (THE)* по взаимодействию с промышленностью, внедрению инноваций и развитию инфраструктуры.

В достижении поставленных университетом целей помогают члены Международного научного совета ТПУ под руководством нобелевского лауреата, профессора израильского университета Технион Дана Шехтмана.

Востребованная опора для промышленности

Сегодня на смену традиционным факультетам пришли инженерные школы, за последние пять лет были разработаны и внедрены около 60 новых программ бакалавриата и магистратуры, в том числе девять — на английском языке. Кроме того, университет реализует программы академической мобильности с 90 вузами-партнерами в 25 странах мира.

Почти все междисциплинарные программы разработаны совместно со стратегическими партнерами, в числе которых государственные корпорации, крупнейшие промышленные холдинги, ведущие исследовательские организации. ТПУ сегодня — опорный вуз для шести госкорпораций России, среди которых «Газпром» и «Росатом». Все это позволяет оперативно реагировать на изменение запросов индустрии и рынка и даже опережать запросы.

Более 20 уникальных сетевых междисциплинарных магистер-



Студенты ТТИ первого набора с преподавателями

ских программ реализуется совместно с вузами, научными организациями и предприятиями.

В ТПУ сейчас обучаются свыше 11,5 тыс. студентов, в том числе более 3 тыс. иностранных из 67 стран мира. Ежегодно в среднем на каждого выпускника вуза приходится две заявки от потенциальных работодателей, а по некоторым специальностям, например по ядерной медицине, промышленной томографии, космическому материаловедению, биомедицинской инженерии, число предложений намного выше! И в рейтинге 100 лучших вузов России по версии *Forbes*, где значительный удельный вес имеют показатели востребованности выпускников и подготовки элитных кадров, ТПУ занимает седьмое место.



Единственный в России вузовский действующий ядерный реактор

Фронтиры завтрашнего дня

Молодая поросль в науке

ТПУ успешно выполняет поставленную перед собой задачу: готовит не только инженеров будущего, но и исследователей — молодых ученых. Для этого вуз сконцентрировал ведущих ученых по прорывным для ТПУ направлениям науки в двух исследовательских школах — школе физики высоких энергий и школе химических и биомедицинских технологий.

Благодаря этому в вузе сформировались междисциплинарные команды мирового уровня в областях «зеленой» химии, умных материалов, ускорительных технологий и ряде других. Число статей в журналах первой и второй квартили, публикуемых этими командами, увеличилось в среднем в два раза. Ребята начинают готовить диссертации уже в магистратуре, продолжая затем в аспирантуре, часто — под двойным руководством ведущих зарубежных вузов и институтов РАН. Свои диссертации они могут теперь защищать в новых междисциплинарных диссертационных советах ТПУ, которые имеют право самостоятельно присуждать ученые степени.

Говорящая цифра: ТПУ — один из лидеров среди вузов России по объему выполняемых НИОКР (за пять лет он составил свыше 9 млрд руб., а это около 2 млрд руб. в год), что красноречиво свидетельствует о реальном научно-образовательном потенциале вуза.

Сегодня у Томского политеха прочный международный авторитет в самых разных областях — ядерных технологиях, освоении космоса и Арктики, физике высокоэнергетических процессов, неразрушающем контроле и безопасности, робототехнике и других фронтах современной научной мысли.

Совместные международные исследования химиков, физиков и медиков позволили разработать и провести доклинические испытания целой серии радиофармпрепаратов на основе изотопов фтора, технеция и рения для лечения и диагностики онкологических заболеваний. Исследования ведутся на реакторе ТПУ — единственном действующем вузовском ядерном реакторе в России. Продукция университета поставляется в девять радиологических клиник от Урала до Дальнего Востока и помогает спасти жизни пациентов.

В ТПУ больше 12 тыс. студентов. Они приезжают более чем из 50 стран. Почти треть студентов — иностранцы.



ТПУ — единственный в мире разработчик и поставщик малогабаритных бетатронов на энергию от 3 до 18 МэВ для неразрушающего контроля материалов и изделий. Поставки осуществляются в Великобританию, Германию, Китай, Индонезию, Малайзию.

Специалисты по неразрушающему контролю ТПУ разработали самый большой в России роботизированный ультразвуковой томограф для элементов термоядерного реактора *ITER*. Он способен контролировать качество сложных по форме объектов весом до 1,5 т.

Вот уже много лет томские политехники участвуют в исследованиях и экспериментах, проводимых *CERN*, включившись за последние годы в работу пяти крупных коллабораций *CERN*.

Совместно с индустриальным партнером ООО «Газпромнефть-Восток» успешно реализуется масштабный проект «Палеозой», направленный на исследование и разработку палеозойских залежей углеводородов в Западной Сибири. Это откроет совершенно новую главу в истории как томской, так и российской нефтегазовой отрасли.

На платформе ТПУ создан Международный арктический сибирский научный центр, с участием ученых вуза организовано и проведено восемь международных экспедиций по арктическим морям и сибирским рекам. Исследования ученых под руководством профессора ТПУ, члена-корреспондента РАН И.П. Семилетова доказывают, что в последние 30 лет подводная мерзлота деградирует с нарастающей скоростью, что может вызвать необратимые климатические изменения в будущем.

В ТПУ создан Научно-образовательный центр «Экоэнергетика 4.0», исследователи разрабатывают в нем технологии по превращению низкосортного угля, отходов агропромышленного комплекса и деревообработки в экологичный источник тепла и электричества. Научным руководителем этого центра стал лауреат международной энергетической премии за научные разработки в области энергетики «Глобальная энергия», профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова ТПУ, академик РАН С.В. Алексеенко.

Из социально значимых проектов: автоматизированные водоочистные станции, разработанные в стенах университета, позволили обеспечить чистой питьевой водой свыше 80 тыс. жителей томской глубинки. Кстати, аналогичные водоочистные комплексы сотрудники ТПУ разработали и установили по заказу «Газпрома» на территории, по которой пролегает магистральный газопровод «Сила Сибири».

Альтернативная актуальная водородная

Сегодня вуз активно развивает актуальнейшее научное направление, связанное с водородной энергетикой.

Речь идет обо всей водородной цепочке: от его получения, хранения, транспортировки до использования. Россия только что приняла важнейшие стратегические документы в этой области, и, чтобы конкурировать на мировом уровне, предстоит преодолеть ряд вызовов. Сделать это в одиночку не под силу ни одному университету или исследовательскому институту.

Поэтому ТПУ вместе с другими российскими вузами и институтами Российской академии наук еще в 2020 г. выступил с инициативой создать Консорциум водородных технологий, что и было сделано. Сейчас к работе консорциума присоединились более 16 научных и научно-образовательных организаций, свыше 20 российских компаний стали его промышленными партнерами. Общая задача партнеров — формирование единой исследовательской программы по водородным технологиям и объединение вокруг нее участников разной отраслевой и ведомственной принадлежности.

Вклад Томского политеха в решение задач Водородной долины основателен: в ТПУ уже несколько лет проводятся фундаментальные и прикладные исследования в области получения чистого водорода, безопасного хранения водорода, транспортировки водорода с наименьшими потерями, а также его применения в качестве энергоносителя в системах автономного электропитания. Среди разработок ученых ТПУ — технологии получения водорода из природного газа, а также путем переработки биомассы; материал, генерирующий водород из воды под действием солнечного света; эффективные материалы — накопители водорода; водородные топливные элементы на основе полимерных мембран и др.

Инженеры, творящие будущее

Несмотря на почтенный возраст, Томский политех молод и динамичен, амбициозен и полон планов. Юбилей для него — возможность приостановиться в суматохе будней, поблагодарить выдающихся предшественников и подвести итоги, а также сверить часы с современными стратегиями развития мировой науки и техники. Коллектив твердо нацелен на решение главной задачи университета: подготовку исследователей, изобретателей, конструкторов — инженеров, творящих будущее.

Стремление к новым высотам и лидерству всегда было отличительной чертой Томского политехнического университета, и это традиция, которую томские политехники не намерены нарушать. ■

1. Ученые ТПУ ищут новые технологии добычи трудноизвлекаемой палеозойской нефти.
2. Специалисты Томского политеха создают новые виды топлива для экстремальных условий Арктики.
3. В ТПУ ведутся разработки по всей водородной цепочке — от его получения до хранения и использования.
4. Единственная за Уралом чистая лаборатория для работы с микроэлектромеханическими датчиками.





ТРИ КИТА:



ВАКЦИНАЦИЯ,



ГИГИЕНА,



**НАУЧНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**



Университетскую клинику МГУ называют клиникой будущего за инновационные методики, которые там применяют. В чем секрет этих чудес? Об этом наш разговор с академиком Армаисом Альбертовичем Камаловым, директором Медицинского научно-образовательного центра «Университетская клиника МГУ», заведующим кафедрой урологии и андрологии факультета фундаментальной медицины МГУ им. М.В. Ломоносова.



— Армаис Альбертович, в чем исключительность клиники МГУ? Что здесь есть такого, чего нет больше нигде?

— Дело в том, что Университетская клиника МГУ — это, по сути, первое медицинское учреждение в стенах классического университета, и это говорит о многом. Благодаря ректору Московского университета В.А. Садовничему был поэтапно создан биомедицинский кластер МГУ. Это вся гамма научных подразделений, в том числе и нашего клинического медицинского центра, который

осуществляет очень важную миссию. Она состоит в том, что ученые совместно с медиками могут определять приоритеты фундаментальных исследований, которые необходимы врачу. Часто бывает наоборот — когда есть методики, но не совсем понятно, как их приспособить в клинической жизни врача.

Мы к этому вопросу подходим иначе: сами определяем приоритетные направления и совместно с химиками, физиками, биологами решаем сложные и важные задачи, которые стоят перед

современной медициной. У нас есть эксклюзивная возможность проводить в одном учреждении фундаментальные и прикладные исследования с последующей апробацией методик и приборов, которые мы создаем вместе с нашими коллегами из Московского государственного университета и на выходе имеем готовый продукт. Именно этим мы отличаемся от других лечебных учреждений, в том числе федеральных, где отсутствует инфраструктура, о которой я говорю.

— Вы сказали о приборах, которые создаются в стенах МГУ. Что это за приборы, для каких целей они предназначены?

— Мы сегодня четко ориентированы на национальные проекты, где есть несколько очень важных направлений. В первую очередь, это онкология и кардиология, от которой, к сожалению, сегодня наибольшее количество смертей в нашей стране и во всем мире, а также профилактика заболеваний.

Мне кажется, основная проблема в современном здравоохранении — первичное звено. Считаю, что первоочередная задача — сделать его работу как можно лучше, оптимизировать.

Очень часто звучит тезис о доступности медицинской помощи, в том числе в отдаленных регионах. Памятуя об этом, вместе с нашими физиками, которые нам помогают осуществлять эти проекты, мы создали программно-аппаратный комплекс «Терминал здоровья», где любой человек имеет возможность буквально за 10–15 минут получить данные по всем жизненно важным параметрам организма. Этот терминал может быть поставлен в любое место. Он мобилен, компактен и обладает возможностью передачи информации через Wi-Fi и телефонную связь.

Там, где отсутствуют средства коммуникации, наши физики создали тропосферную связь — устройство для передачи информации, действующее на расстоянии до 200 км. Это может способствовать решению глобальных проблем, стоящих перед нашим здравоохранением, так как позволяет обеспечить медицинскую помощь в отдаленных регионах, отследить здоровье любого человека, в том числе на фоне проводимого лечения.

Возможности, которые заложены в этом терминале, в его программно-аппаратном комплексе, позволяют решать очень многие задачи. Поскольку он обладает искусственным интеллектом, есть возможность даже выявлять те нарушения ритма, которые человек не ощущает, а именно они самые опасные.

Вторая задача, не менее важная, — онкология. Мы сегодня совместно с нашими учеными — биологами и химиками — поставили цель создать новые маркеры ранней диагностики раковых заболеваний. Сейчас проводятся исследования

по разработке новых маркеров в диагностике рака мочевого пузыря и предстательной железы. Дело в том, что маркеров рака мочевого пузыря на сегодня вообще не существует, а имеющиеся маркеры ранней диагностики новообразований предстательной железы хоть и называются специфичными, но, к сожалению, несовершенны.

— Вы имеете в виду простатоспецифический антиген?

— Да, в том числе простатоспецифический антиген, который чувствителен не только к раку предстательной железы, но и к другим неонкологическим заболеваниям этого органа. К сожалению, у него диапазон определения зависит не только от онкологического заболевания, но и от воспалительного, и от других проблем, которые имеются в предстательной железе. Поэтому дальнейшая работа в этом направлении — создание новых маркеров. Это важно, потому что в онкологии главное — вовремя выявить заболевание, это залог успеха лечения.

— Армаис Альбертович, вы сами уролог и много лет трудитесь в этой специальности. Расскажите подробнее об этих новых маркерах в онкоурологии. Что это за маркеры, как они будут работать, насколько они более точны, чем имеющиеся?

— Для рака мочевого пузыря это маркеры, способные не только выявить заболевание на ранних стадиях, но и определить начало возможного рецидива. Рак мочевого пузыря, к сожалению, в большинстве случаев — рецидивирующее заболевание. И здесь очень важно не упустить момент, когда надо начать лечение. Этот маркер основан на изучении свойств теломеразы, ее мутаций. Уже есть первые данные, которые говорят о высокой эффективности и чувствительности этой методики, но она пока находится на стадии прикладного исследования. Тем не менее мы надеемся, что наши исследования дадут новый продукт, который станет надежным инструментом в руках практикующих врачей.

Вообще, в урологии в целом произошел огромный технический прогресс. Помню, раньше наши учителя говорили: большой разрез — большой хирург.

— А сейчас наоборот?

— Сейчас все идет в сторону малоинвазивных методик. Ну кто мог представить, что большие операции, в том числе при лечении онкологических заболеваний, возможно будет решать с помощью лапароскопических, эндоскопических методов лечения, с использованием робот-ассистированной техники? И это, конечно, дает возможности более прецизионно выполнять операцию, что обеспечивает лучшие функциональные результаты. Одно дело — видеть рану с высоты своего зрения во время открытой операции, другое — когда эндоскоп подводится непосредственно

к месту проведения тех или иных манипуляций либо наложения швов. Это позволило нам качественно продвинуться в лечении многих урологических заболеваний.

Сегодня два-три дня — самое длительное время пребывания пациента после таких операций. Меньше травматичность, быстрее реабилитация. Это важно с точки зрения не только медицинских и социальных аспектов, но и экономической выгоды для государства: уменьшение койко-дня, сокращение периода реабилитации и времени нетрудоспособности.

Сегодня вырисовывается другая проблема: как научить начинающего врача основам открытой хирургической техники, когда необходимо делать открытые операции.

— Думаете, открытые операции все-таки сохраняют свою значимость, не уйдут в историю медицины?

— Некоторые открытые оперативные вмешательства будут востребованы еще долго. В первую очередь, это связано с необходимостью выполнения больших реконструктивных пластических операций, когда нет возможности сделать это через миниатюрные разрезы с помощью эндоскопов и манипуляторов. Пока такие вмешательства остаются необходимыми в арсенале врача при выполнении операций при больших онкологических процессах. Главное, чтобы каждый метод использовался и применялся по строгим показаниям и противопоказаниям, и тогда эффект будет максимальный.

— Вы рассказали об урологии, онкологии, кардиологии. Какие еще направления наиболее мощно представлены в клинике МГУ?

— О каждом нашем медицинском подразделении можно говорить очень долго, так как каждое из них наукоориентированно, в каждом используются прорывные медицинские технологии. Но если вы спросите, к какой медицине в целом мы стремимся, я отвечу: как и весь мир, к превентивной, профилактической медицине.

Что для этого необходимо? Основная проблема, повторюсь, заключается в первичном звене

здравоохранения. С одной стороны, первичное звено должно быть продвинутое, оснащенное самым современным оборудованием, с другой — иметь другой функционал и достаточное финансирование.

Нужно перестроить финансирование здравоохранения таким образом, чтобы оно соответствовало задачам, стоящим перед поликлиническим звеном. Именно в амбулаторных условиях должны осуществляться оценка состояния здоровья и выявление первых признаков заболеваний. Своевременно начатое медикаментозное лечение в большинстве случаев позволяет избавить пациента от необходимости оперативного лечения в будущем.

— Как вы думаете, превентивная медицина и есть медицина будущего?

— Медицина будущего, наверное, — это все-таки медицина без скальпеля в том смысле, что в нашей практике будет все меньше открытых оперативных вмешательств. Еще один важнейший аспект — генетика. Когда человек рождается, он уже обременен наследственностью. Недаром говорят: если вы хотите понять, чем будете болеть, посмотрите, чем болели ваши родители, бабушки и дедушки. И в этом есть правда. Чтобы научиться правильно воздействовать на организм и предотвращать возникновение заболеваний, нужен генетический паспорт, содержащий всю необходимую информацию. Вот это медицина будущего.

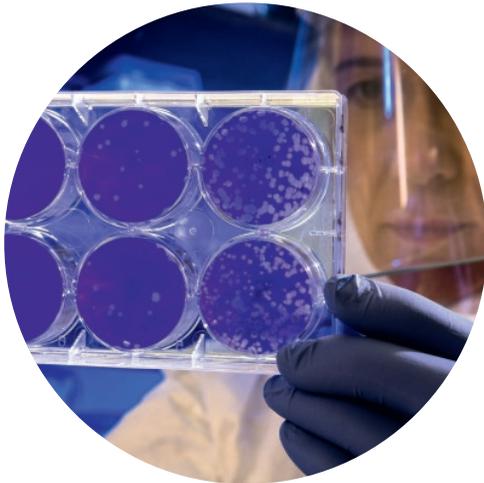
— И у вас она представлена?

— Да, у нас есть по-настоящему прорывные направления. Например, Институт регенеративной медицины, который возглавляет академик В.А. Ткачук. Это серьезное направление, цель которого — научиться восстанавливать функции утраченных органов за счет собственных клеток. Уже есть два генно-терапевтических препарата, разработанных в нашем медицинском центре, которые будут направлены в том числе на лечение нарушений репродуктивной функции у мужчин.

Разрабатываются и другие препараты, действие которых позволит восстанавливать функции, утраченные на фоне различных заболеваний,

Сколько людей умерло от оспы, туберкулеза, полиомиелита, других тяжелых инфекционных заболеваний! Но именно благодаря созданию вакцин мы сегодня о них практически забыли





Мы всегда боялись ядерной угрозы, а дождались биологической. Здесь должен быть достигнут четкий международный консенсус между странами, который запрещал бы создание биологических средств, представляющих ничуть не меньшую угрозу для человечества, чем ядерная война

в частности неврологических. Все подобные технологии, безусловно, займут свое место в будущей медицине. Это фундаментальные и дорогостоящие исследования, требующие соответствующего финансирования со стороны государства.

— Неужели государство это понимает?

— Сегодня научная деятельность имеет приоритет, и государство выделяет дополнительное финансирование. Но если сравнивать Россию с другими развитыми странами — США, Японией, странами Европы, — то мы на порядок уступаем по финансированию фундаментальной науки. Тем не менее у наших ученых есть возможность получать дополнительные денежные средства за счет грантов, выделяемых со стороны различных научных фондов.

— Армаис Альбертович, у вас не только клинический лечебный центр, но и образовательный. Довольны ли вы своими молодыми кадрами, будущими врачами?

— Очень доволен. Это потрясающие ребята! Тут уместно вспомнить, что наша медицина имеет непростую историю. В 1930 г. медицинское образование было выведено из стен классических университетов, и это напрямую коснулось и Московского государственного университета. Когда в 1992 г. В.А. Садовничий был избран ректором МГУ, первым своим приказом он воссоздал медицинское образование в стенах классического университета. Так появился факультет фундаментальной медицины. Это было важнейшее решение.

Чем отличается образование в классическом университете от того, что дают медицинские вузы? Тем, что оно межфакультетское. У нас на медицинском факультете нет кафедры биологии, химии, физики, математики: все студенты проходят обучение на профильных факультетах. А вы представляете, какие знания они там могут получить? Знания в области фундаментальных наук позволяют нашим студентам и на четвертом,

и на шестом курсе писать серьезные дипломные работы, которые можно сопоставить с кандидатскими диссертациями. Знания, которые они приобретают в теоретическом плане, они потом оттачивают в Университетской клинике в своей практической деятельности. Это фактически полный цикл. Поэтому наши студенты востребованы, их с удовольствием принимают на работу ведущие федеральные учреждения.

Но лучших, честно скажу, мы оставляем у себя, потому что нам нужны новые толковые кадры. С ними очень интересно, и это залог будущего страны в целом. Они очень быстро, буквально на лету воспринимают все новое. Та же цифровизация здравоохранения, которую мы постигаем с некоторым трудом, для них открытая книга, которую они легко усваивают.

— Как вы думаете, не существует ли опасности, что за сложной современной аппаратурой, за роботами и искусственным интеллектом врачи перестанут видеть и слышать живого пациента?

— Вы правы, здесь есть определенная опасность. Но вот что важно понять. Робот — это только манипулятор, которым управляет человек. Искусственный интеллект — это консолидация самых умных голов, которые имеют наивысшую компетенцию в том или ином направлении; он воспроизводит мысли ученых и врачей.

Нельзя допускать, чтобы в ИИ закралась ошибка. Она может тиражироваться и стать очень большой проблемой. ИИ должен создаваться высококомпетентными в той или иной области людьми. Но окончательное решение всегда за врачом.

Все, о чем мы сегодня говорим, это возможность не упустить, не пропустить, и здесь важно встроить ИИ в первичное звено здравоохранения, чтобы поставить барьер для врачебных ошибок. Для врача первичного звена это очень хорошая подмога. Но не более того.

— Мы уже писали о том, что ваш медицинский центр длительное время был ковидным госпиталем и достиг рекордно низких показателей смертности. Используете ли вы сейчас этот опыт? И если да, то как? Остались ли у вас на сайте протоколы для лечения амбулаторных больных с COVID-19? Ведь эта проблема никуда, увы, не ушла.

— Мы очень часто вспоминаем это время. Поначалу была неопределенность, даже неуверенность в том, что это за заболевание, как его лечить. Когда оно стало распространяться в нашей стране, мы получали протоколы, которые были заимствованы у наших зарубежных коллег, и в них с самого начала для нас было очень много непонятного. Почему, например, используются мощнейшие антибиотики широкого спектра действия на начальном этапе? Ведь вирусную инфекцию антибиотиками никогда так не лечили. Мы понимали, что это неправильный путь. Почему надо использовать гидроксихлорохин, препарат для лечения малярии, и калетру, предназначенную для лечения СПИДа? Таких моментов поначалу было очень много, что связано с отсутствием знаний об особенностях течения заболевания, вызванной новой коронавирусной инфекцией.

Наш медицинский центр имел здесь преимущество, потому что мы многопрофильное учреждение, где работают специалисты различных направлений. Мы очень быстро начали понимать суть этой болезни, в чем ее главная опасность, а это возможность тромбообразования, причем практически у всех. И на начальных этапах мы стали назначать буквально всем разжижающую терапию, антикоагулянты под контролем лабораторных методов исследований.

Мы ушли от использования всех препаратов, которые были изначально рекомендованы, и сделали свой протокол. Мы считали, что даже первыми положительными результатами должны активно делиться с нашими коллегами. Мы ничего не скрывали и сейчас не скрываем. Мы понимаем: если мы нашли правильную схему, ключ для решения этого вопроса, его надо использовать всем. Ведь речь идет о жизни и здоровье людей.

С нашими протоколами работали не только в нашей стране, но и в ближнем, и в дальнем зарубежье. Нам звонили, советовались, узнавали, почему мы выбрали именно эти препараты и почему этот протокол дает положительный эффект.

Сейчас мы продолжаем нашу практическую деятельность. У нас очень много пациентов, которые к нам обращаются с постковидным синдромом. Заболевание затрагивает не только легкие. Оно поражает почки, печень, нервную систему. Наша задача сейчас — не допустить возникновения хронических заболеваний у этих пациентов. Я считаю, что необходимо создать специальную программу

в рамках ОМС, чтоб она оплачивалась государством. Пациенты должны быть информированы о необходимости прохождения обследования после перенесенной инфекции, должны иметь возможность получить эту медицинскую услугу по госгарантии. Мне кажется, в вопросе реабилитации пациентов необходимо использовать огромные возможности санаторно-курортного сектора нашей страны.

— Чему вас научил опыт борьбы с COVID-19?

— Мы всегда боялись ядерной угрозы, а дождались биологической. Здесь должен быть достигнут четкий международный консенсус между странами, который запрещал бы создание биологических средств, представляющих ничуть не меньшую угрозу для человечества, чем ядерная война.

— Как вы лично относитесь к вакцинации?

— В этом вопросе моя позиция однозначна, поскольку я видел немало тяжелых пациентов. Кому-то кажется, что он легко перенес заболевание и ему ничего не грозит. Но этого никто не знает. Непонятно, как этот вирус поведет себя в том или ином организме, какими осложнениями это чревато. Поэтому я считаю, что вакцинация нужна. Конечно, с учетом показаний. Нельзя забывать о тех болезнях, которые в свое время уносили миллионы жизней. Сколько людей умерло от оспы, туберкулеза, полиомиелита, других тяжелых инфекционных заболеваний! Но именно благодаря созданию вакцин мы сегодня о них практически забыли.

То же самое и с этим заболеванием. Мы должны максимально быстро справиться с ним с помощью вакцинации. Другой вопрос, с которым многие ко мне обращаются: а надо ли вакцинировать после того, как человек уже переболел?

Здесь у меня, честно говоря, нет однозначного ответа. Мы изучаем антитела, которые появляются у человека в ответ на перенесенное заболевание на уровне гуморального иммунитета. Что же происходит потом? Кому и когда необходимо вакцинироваться? Мне кажется, ответ мы сможем получить при дальнейшем изучении клеточного иммунитета, который позволяет при некоторых видах инфекционных заболеваний вырабатывать стойкий иммунитет. Поэтому научные исследования очень важны.

— Считаете ли вы оправданным ношение масок в общественных местах?

— Во время пандемии — да. Но самое главное вот что: мы все должны строго соблюдать правила гигиены в общественных местах — мытье рук и т.д. Вирусы живут с нами везде. Сегодня коронавирусная инфекция, завтра может быть другая. Поэтому требования гигиены должны соблюдаться всегда. Это залог нашего сохранения как вида. ■

Беседовала Наталья Лескова



THE ORIGIN OF SPECIES



БИОЛОГИЯ



КУЛЬТУРА — ДВИЖУЩАЯ СИЛА ЭВОЛЮЦИИ?

Чарлз Дарвин в свое время предложил логичный механизм, отвечающий на вопрос: что есть движущая сила эволюции? С биологической точки зрения за эволюцию ответственен так называемый естественный отбор. Однако сегодня ученые все чаще говорят о влиянии культуры на эволюционный процесс. Об этом и многом другом мы беседуем с заведующим кафедрой биологической эволюции биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова профессором РАН Александром Владимировичем Марковым.



Профессор РАН А.В. Марков

— Какое место занимает теория эволюции в современной науке?

— Теория эволюции в современной биологии занимает центральное положение и представляет собой основу, объединяющую и объясняющую биологические факты, закономерности и теории. Проще говоря, эволюция лежит в основе всего. Один из крупнейших эволюционистов XX в. Ф.Г. Добржанский говорил: «Ничто в биологии не имеет смысла, кроме как в свете эволюции». Именно эволюция придает логику всему тому массиву фактов, который накоплен в современной биологии. Все находит объяснение и становится понятным исключительно с эволюционных позиций.

— Каковы проблемные точки теории эволюции сегодня?

— Научных направлений эволюционной биологии в наши дни огромное количество. Хотя, конечно, базовые принципы биологической эволюции хорошо известны. Вопрос в том, как они работают в разных ситуациях и какие дополнительные факторы могут влиять на биологические процессы.

Базовые принципы эволюции — изменчивость, наследственность и естественный отбор. Но эти принципы нельзя рассматривать без учета рекомбинации, полового размножения и отбора, родственного

и группового отборов и массы других вещей. Все это влияет на ход эволюционного процесса.

Возьмем, например, онтогенез — индивидуальное развитие организма. Одна клетка зиготы развивается в сложное многоклеточное «сооружение». Эволюционирует в данном случае не конечный взрослый организм, а весь процесс развития. У этого процесса свои закономерности, ограничения и законы. Поэтому одно из наиболее быстро развивающихся направлений эволюционной биологии сегодня — эволюционная биология развития. Она изучает, как именно в ходе эволюции происходят изменения механизмов онтогенеза, меняются гены, которые управляют индивидуальным развитием организма. Это одно из важнейших фундаментальных направлений в науке.

Но есть и масса практических приложений. У всех на слуху, особенно сейчас, вопросы эволюции бактерий и вирусов, адаптации к антибиотикам, приспособления вредителей сельскохозяйственных растений к разным пестицидам и другие. С развитием современных методов палеонтологии мы сейчас узнаем гораздо больше о флоре и фауне, существовавших сотни миллионов лет назад. Это позволяет уточнять, а иногда и пересматривать наши представления об эволюции конкретных групп или целых сообществ организмов. Быстро развивается эволюционная экология, которая пытается понять, как разные экологические факторы влияют на эволюцию.

— Как менялись взгляды ученых на теорию эволюции Чарльза Дарвина?

— Когда Чарльз Дарвин выступил со своей теорией, она была встречена в целом положительно, хотя, конечно, сразу появились и противники. Дарвин не был первым, до него выдвигались различные эволюционные теории, однако ни одна из них не предлагала настолько четкого, логично работающего механизма, который бы двигал эволюцию. То есть сам факт эволюции был многим понятен, но какая сила за этим стоит, объяснила лишь дарвиновская теория естественного отбора.

Затем, уже в начале XX в., появились классическая генетика и хромосомная теория наследственности. Генетики начали ставить первые эксперименты на дрозофилах, изучать мутации. Поначалу некоторым специалистам казалось, что результаты исследований плохо согласуются с классическим дарвинизмом. Отчасти причина

заклучалась в том, что Дарвин писал об очень медленных, почти незаметных изменениях, тогда как первые генетики работали в основном с мутациями — чем-то грубым и зримым, проще говоря, с различными уродствами, когда, например, у дрозофилы глаза становятся не красными, а белыми, или крылья сворачиваются в трубочку.

Понадобились три десятилетия, чтобы научное сообщество осознало, что на самом деле генетика не противоречит дарвинизму, а, наоборот, очень хорошо с ним сочетается. Поэтому начиная с 1930-х гг. постепенно формируется так называемая генетическая, или синтетическая, теория эволюции, которая представляет собой синтез классического дарвинизма и генетики. При этом еще не была открыта материальная природа наследственности. Ученые знали, что наследственная информация каким-то образом записана в хромосомах, где линейно располагаются гены, но что собой представляют эти гены и как на химическом уровне записана наследственная информация, было неизвестно.

Следующий революционный прорыв не заставил себя долго ждать. Он связан с открытием структуры ДНК. Вначале исследования показали, что ДНК — это вещество наследственности, затем ученые определили структуру ДНК и уже позже расшифровали генетический код, разобрались с механизмами транскрипции, трансляции и репликации. С этого момента эволюционная теория стала развиваться на новом уровне — молекулярном. Это привело к геномной эре. Сегодня мы изучаем эволюцию на основе полных геномных

последовательностей организмов. Уже разработаны методы, которые позволяют определять, в каких местах генома действовал отбор и какие следы он оставил.

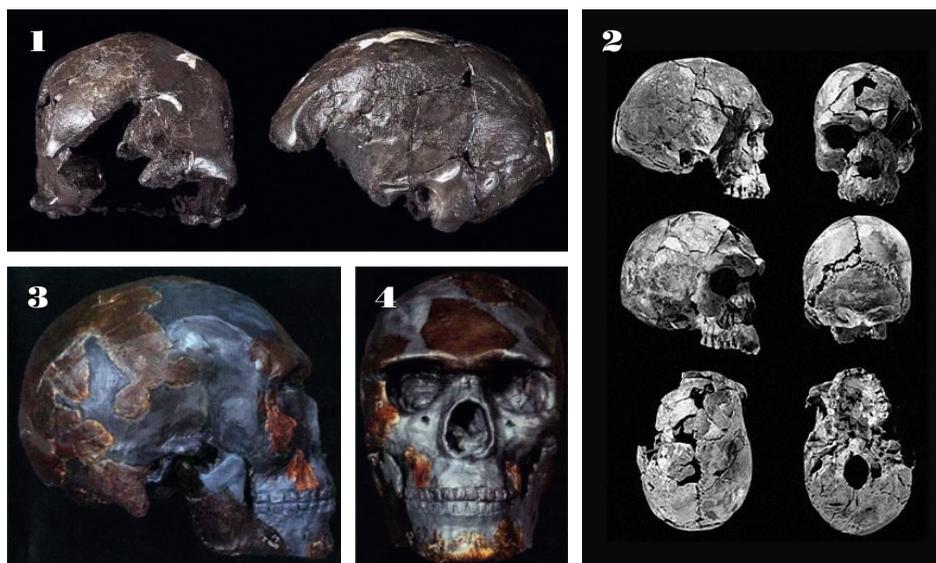
Главное — что дарвиновская идея о естественном отборе прошла через все перипетии, многочисленные научные достижения и революции. На каждом из этапов она снова и снова подвергалась проверке. И сегодня у биологов нет ни малейших сомнений в существовании эволюции и естественного отбора. Именно он считается главной движущей силой эволюционного процесса. Чарлз Дарвин попал в точку, пусть и во многом наугад, но даже на основе тех скудных данных, которые у него были, он сумел сделать правильные выводы и выбрал правильную теорию естественного отбора, которая подтвердилась на сто процентов.

— **Есть ли сегодня те, кто не согласен с теорией Дарвина?**

— Теория естественного отбора Дарвина до сих пор будоражит умы альтернативно мыслящих людей. Ни одна из теорий XIX в. не подвергается столь активным нападкам. Но аргументы так называемых креационистов или антиэволюционистов звучат достаточно жалко и давным-давно опровергнуты. Никто из ученых подобные доводы всерьез не воспринимает, а все страсти кипят далеко за пределами биологической науки.

— **Тогда почему до сих пор распространяются антинаучные взгляды антиэволюционистов?**

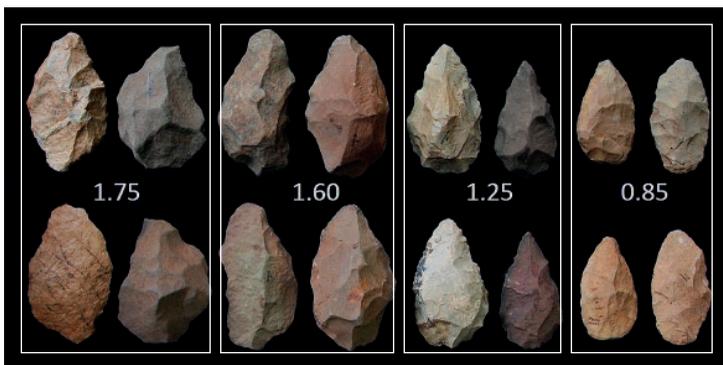
— Теория Дарвина повлияла не только на биологию, но и на то, как человек воспринимает окружающий мир. До Дарвина все



Древнейшие «анатомически современные» люди. Из-за некоторых архаических черт иногда выделяются в особый промежуточный вид *H. helmei*.
 1. Омо I. 195 тыс. лет, 1400 см³.
 2. Херто, Эфиопия. 157 тыс. лет, 1450 см³.
 3–4. Омо II. 195 тыс. лет, 1435 см³.

эти невероятная сложность и рациональность, приспособленность живых организмов к окружающей среде и удивительное разнообразие жизни считались убедительнейшим аргументом в пользу божественного сотворения мира. Люди не знали другого способа создания сложных объектов и систем, кроме разумного дизайна. Было даже такое направление в богословии, которое называлось «естественная теология». Одним из видных представителей этого направления считался Уильям Пейли. Дарвин был знаком с его трудами. Уильям Пейли написал книгу под названием «Естественное богословие», в которой привел знаменитую метафору с часами и часовщиком: если сложный часовой механизм предполагает существование часовщика, создавшего его, то и организованность и целесообразность, наблюдаемые в мире, подтверждают существование создавшего этот мир бога. Это соображение о сложности и приспособленности (целесообразности) видов живых организмов считалось самым сильным доказательством божественного сотворения мира. Долгое время оно казалось неопровержимым практически всем, включая даже молодого Дарвина.

Но когда Чарлз Дарвин разработал свою теорию естественного отбора, все в одночасье изменилось, а самый главный аргумент утратил убедительность. Дарвин фактически сказал: разумный дизайн — это не единственный способ создания сложных систем; есть альтернативный механизм — слепая природная сила, естественный отбор в сочетании с изменчивостью и наследственностью тоже может порождать такие системы.



Медленное совершенствование ашельских рубил в Восточной Африке (Консо, Эфиопия). Показано по два характерных рубила (каждое — с двух сторон) для каждого из четырех археологических слоев возрастом от 1,75 до 0,85 млн лет назад (Y. Beyene et al., 2013. The Characteristics and Chronology of the Earliest Acheulean at Konso, Ethiopia).

С этого момента биологи могли, подобно Пьеру Симону Лапласу, который, согласно легенде, сказал Наполеону, что не нуждается в гипотезе бога для объяснения Солнечной системы, говорить, что они не нуждаются в гипотезе бога для объяснения биологических фактов.

— В теории эволюции существуют такие ключевые понятия, как макро- и микроэволюция. В чем их главное различие?

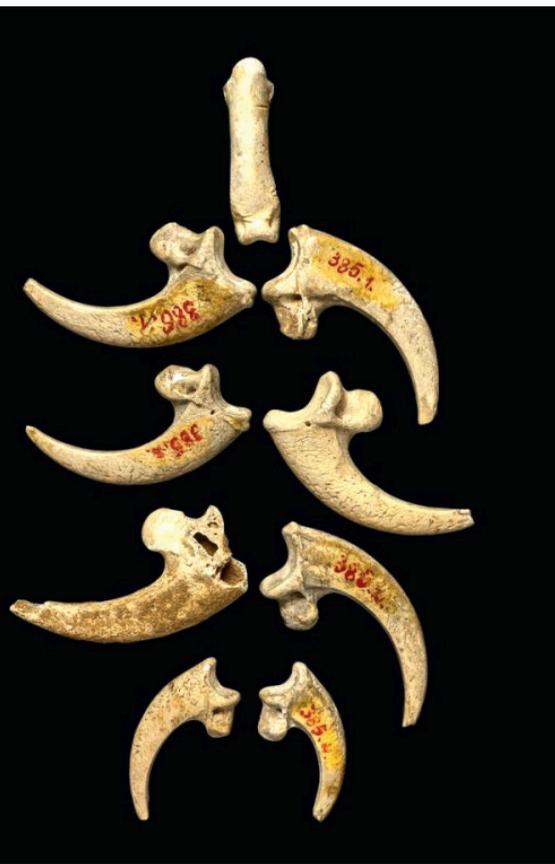
— Речь идет о масштабах рассмотрения эволюционного процесса. Микроэволюцией, как правило, называют эволюционные процессы внутри вида. На текущий момент они относительно неплохо изучены.

А палеонтологи, например, работают с другими масштабами и изучают разные виды, роды, семейства, отряды — как они эволюционируют, занимают разные ниши, конкурируют за те или иные адаптивные зоны. Такой масштаб называют макроэволюцией. Некоторые биологи считают, что у макроэволюции нет своих собственных уникальных закономерностей и все объяснимо на микроэволюционном уровне. Но с такой формулировкой согласны не все, и я в том числе. Думаю, что у макроэволюции есть ряд специфических закономерностей, которые теоретически можно свести к микроэволюции, но это как минимум крайне непрaktично и нереалистично: как если бы мы сказали, что вся биология сводится к химии, а химия в свою очередь — к физическому уровню.

Кроме всего прочего, у макроэволюции есть некие свойства, которые невозможно объяснить на микроэволюционном уровне. Вот, скажем, реакция биоты на массовое вымирание. Периодически в истории нашей планеты происходили катастрофические события, связанные с вымиранием большого числа видов, после чего характер эволюционного процесса на макроуровне сильно менялся: появлялись новые видовые группы, заполнявшие освободившееся экологическое пространство. Поэтому я бы рассматривал эти понятия отдельно друг от друга.

— Ученые находят закономерности, изучая разные виды организмов. Скажем, исследуя нервную систему морского обитателя, делают вывод о развитии этой же системы у других видов животных. Дело в универсальности генетики?

— Французам Франсуа Жакобу и Жаку Моно принадлежит фраза, которая стала крылатой: «Что верно для кишечной



Неандертальское украшение из когтей орлана (Крапина, Северная Хорватия). Возраст — около 130 тыс. лет. На когтях — царапины от орудий, отшлифованные участки и другие признаки того, что когти были частью ожерелья (Davorka Radovic, Ankica Oros Srsen, Jakov Radovic, David W. Frayer. Evidence for Neandertal Jewelry: Modified White-Tailed Eagle Claws at Krapina // PLoS One, March 11, 2015).

палочки, то верно и для слона». Это была некая эмоциональная реакция на открытие того факта, что у всех живых организмов на самом базовом молекулярном уровне почти все одинаково: один генетический код, в ДНК похожим образом записана наследственная информация, те же рибосомы, процессы репликации, транскрипции, клеточного деления и т.д. Подобные базовые вещи действительно общие как для бактерий, так и для слона. Однако всегда надо четко понимать, какие выводы можно обобщать, а какие нельзя.

Биологи работают в основном с так называемыми модельными организмами. Нельзя просто взять первый попавшийся вид из природы и начать его исследовать. Необходимо время, чтобы для данного вида животных были разработаны все процедуры, протоколы содержания в лаборатории, пи-

тания, методики его изучения, генетические инструменты, необходимые для проведения генетических манипуляций. Так постепенно некоторые виды животных становятся модельными. Среди насекомых это, например, дрозофила. У специалистов по молекулярной генетике и эмбриологии любимый модельный объект — червь *Caenorhabditis elegans*.

Можно ли переносить выводы, сделанные на исследовании дрозофилы, на всех остальных насекомых или даже животных — большой вопрос. В последнее время многие ученые начинают осознавать некоторую ограниченность такого подхода. Мы прекрасно знаем дрозофилу, но в том же отряде двукрылых еще десятки, сотни тысяч видов других мух, комаров, о которых известно на порядок меньше.

— Что сегодня известно об эволюции человека?

— Эволюция человека сейчас очень активно изучается. Данных об этом огромное количество. Я сам написал двухтомник «Эволюция человека», где в более или менее популярном виде изложены основные факты. Сейчас мы с Е.Б. Наймарк дописали третий том, который скоро будет доступен для читателей.

Когда говорят об эволюции человека, часто упоминают некие недостающие звенья. Это выражение пришло из далекого прошлого, когда палеоантропология только зарождалась, а о родственниках человека почти ничего не было известно. С тех пор найдено огромное количество недостающих звеньев. Если раньше лишь предполагали, что эволюция человека берет начало от древних человекообразных обезьян (что верно, но неконкретно),

то сейчас ясно, что эволюция группы, которая называется «гоминиды», была не линейной, а ветвистой. У наших прямых предков было много родственников, которые занимали разные ниши и по-своему адаптировались. И даже в пределах рода *Ното* было довольно много видов, ныне вымерших. По последним данным, около двух-трех сотен тысячелетий назад на планете, по-видимому, одновременно жили как минимум восемь разных видов людей, из которых сейчас



Малый размер, быстрая смена поколений, высокая плодовитость, прозрачность эмбрионов делают дрозофилу идеальным объектом для генетических исследований

остался только один. Причина в том, что наш вид *Homo sapiens* в какой-то момент приобрел некие радикальные преимущества перед другими видами людей. Он стал расселяться повсюду; и везде, где *Homo sapiens* появлялся, другие виды людей быстро исчезали. Проще говоря, наши предки просто вытеснили всех остальных людей, и сегодня на планете остался только один вид человека, что для эволюции нашей группы совсем не типично.

— **О каких радикальных преимуществах может идти речь?**

— Это очень важный вопрос, который до сих пор исследуется. Считается, что на момент, когда успешная популяция сапиенсов вышла из Африки около 60 тыс. лет назад, неандертальцы, денисовцы и другие виды людей, существовавшие в Евразии наравне с человеком разумным, обладали уже достаточно развитой культурой. Те же неандертальцы использовали огонь, создавали украшения, изготавливали сложные каменные орудия. Поэтому очень сложно понять, какими преимуществами обладал сапиенс.

Кое-какие намеки дает генетика. По-видимому, после разделения с неандертальцами у наших предков шел довольно интенсивный отбор по некоторым генам, связанным с работой мозга и нервной системы. Но, скорее всего, ключевые преимущества лежали в сфере культуры, потому что наши предки сапиенсы в отличие от «евразийцев» — неандертальцев и денисовцев — жили в Африке, где плотность населения и интенсивный культурный обмен между группами были значительно выше. По одной из гипотез, которую поддерживают некоторые ведущие антропологи, у наших предков в рамках культурной эволюции сформировалась способность координировать действия групп, характерная для современных охотников-собирателей. Речь идет о сложной, разветвленной системе родственных связей, которые пронизывали отдельные группы и связывали их в нечто целое, напоминающее племя, где люди следовали брачным обычаям, каким-то ритуалам. Это давало радикальное преимущество в конкурентной борьбе с другими видами людей, которые жили разрозненно.



Древнейшая живопись в пещере Шове (Франция), 30–36 тыс. лет назад
(Archeologie.culture.fr/chauvet/en/media-library)

— Существуют ли предположения, возможно, математические модели, которые объясняют, что будет с нами как с видом в будущем?

— Куда идет наша эволюция? Во-первых, она, конечно, продолжается. Ее остановить невозможно, поскольку все основные эволюционные факторы неустраняемы. Но определить, в каком направлении мы эволюционируем, очень сложно. Очевидно, что благодаря развитию цивилизации и культуры у нас сильно ослабел процесс очищающего отбора против аллелей, которые нарушают работу разных систем организма. Скажем, с появлением антибиотиков хорошая иммунная защита против инфекций для организма стала менее актуальной. С развитием медицины люди постепенно передавали своим потомкам гены ослабленного иммунитета. А это ведет к так называемой зависимости от культуры. Поскольку процесс накопления вредных мутаций продолжается, в какой-то момент ситуация может выйти из-под контроля, а медицина просто перестанет поспевать за деградацией нашего генома.

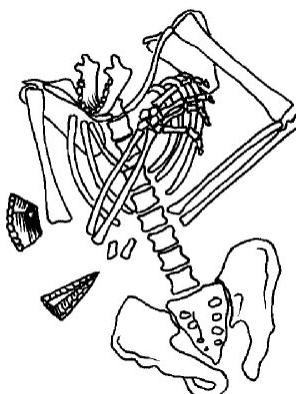
Аналогичные процессы происходят и с нашей нервной системой. Некоторые косвенные данные указывают на то, что наши мозг и нервная система особо уязвимы. Напомню, что для нормальной работы мозга и его развития необходима слаженная качественная работа очень большого количества генов. Соответственно, если в любом из этих генов произойдет случайная мутация, а такие происходят постоянно, это может негативно сказаться на наших умственных характеристиках. К счастью для нас, уровень развития современной цивилизации позволяет нам существовать и без качественной работы мозга. Есть такая научно-фантастическая комедия в жанре антиутопии — «Идиократия». В ней показан мир будущего, в котором остались одни дураки. У этой режиссерской фантазии, как я уже отметил, есть кое-какие научные основания.

Помимо этого, в современных человеческих обществах, как минимум в развитых странах, проявляется некий отрицательный отбор против хороших врожденных умственных способностей. Согласно генетическим исследованиям, проведенным в Исландии, США и других странах, действительно существуют гены, связанные с интеллектом и склонностью получать хорошее образование. Именно по этим генам идет отбор в сторону уменьшения



Человек-лев из бивня мамонта (Германия), около 40 тыс. лет назад. Высота скульптуры — 29,6 см (Kind et al., 2014. *The Smile of the Lion Man. Recent Excavations in Stadel Cave (Baden-Württemberg, south-western Germany) and the Restoration of the Famous Upper Palaeolithic Figurine.*)

врожденной склонности к получению образования. Упомянутые исследования доказывают, что люди с высокой генетической предрасположенностью к получению хорошего образования хуже размножаются и оставляют меньше детей. Соответственно, такие гены подвергаются отрицательному отбору. Конечно, это процесс медленный и почти незаметный, но он все же идет. И если он не остановится, через несколько столетий люди станут в среднем несколько глупее нас сегодняшних. И не исключено, что, скажем, 300 лет назад люди в среднем генетически были несколько умнее, чем мы сейчас.



Неандертальское захоронение в пещере Кебара (Израиль), 60 тыс. лет («неандерталец Моисей»)



Главная сложность в эволюции человека заключается в том, что огромную роль в этом процессе играет культура. Одновременно с генетической эволюцией продолжается и культурная эволюция, идущая гораздо быстрее. Между ними существует очень сложная сеть взаимодействий. Культура эволюционирует по своим собственным законам, которые пока еще известны довольно плохо. И особенности нашей культуры (то, как меняются культура, традиции, нормы поведения в обществе) сильно влияют на то, как действует на нас естественный отбор генетической эволюции. Поэтому сейчас среди ученых распространяется идея генно-культурной эволюции, в рамках которой культура для человека выступает главным фактором, направляющим биологическую эволюцию.

Культура быстро меняется, и, соответственно, ее направляющее действие на биологическую или генетическую эволюцию тоже меняется очень быстро. Предсказать, куда пойдет биологическая эволюция человека в будущем, можно только в том случае, если мы будем знать, в каком направлении движется культурная эволюция человека. А мы этого пока не знаем, поэтому никаких точных прогнозов дать на этот счет невозможно.



Древнейшая статуэтка: женская фигурка с гротескно преувеличенными половыми признаками. Вырезана из бивня мамонта. Вероятный возраст — 40 тыс. лет назад, минимально возможный — 35 тыс. лет назад. Пещера Холе-Фельс в Юго-Западной Германии (Nicholas J. Conard. A Female Figurine from the Basal Aurignacian of Hohle Fels Cave in Southwestern Germany // *Nature*. 2009).

— Оставят ли, например, отпечаток условия пандемии, в которых мы существуем сегодня?

— Влияние пандемии на наше поведение оказалось очень сильным. Каких-то прогнозов по этому вопросу я дать не могу, скажу лишь, что человечество стало сильно рефлексировать на эту тему, принимать меры просто в силу того, что у нас сейчас очень развиты наука, медицина, распространены определенные установки продукции культурной эволюции. Еще 200 лет назад подобная эпидемия могла пройти незамеченной. В древних или маргинальных обществах вообще не считалось большой проблемой, что пожилые люди умирают. А во многих обществах пожилых людей почти и не было, поскольку все умирали раньше по другим причинам.

Сегодня то состояние, к которому нас привела культурная эволюция, не только позволило нам заметить эту эпидемию и отреагировать на нее, но и определило те радикальные изменения поведения, которые произошли с человечеством. Мы отправились на карантин, стали носить маски, держать социальную дистанцию, вакцинироваться. В нынешней культурной среде это разумно, правильно и рассматривается как единственный возможный вариант.

Как это повлияет на нас в будущем? Затрудняюсь ответить. Сам вирус эволюционирует, накладывается слишком много разнообразных сложных процессов, которые друг на друга влияют. Если вирус трансформируется в более смертоносную форму, может быть один сценарий. Если он, наоборот, эволюционирует в менее смертоносную форму, будет другой исход. Возможно, мы подошли к тому моменту, когда подобные пандемии, вызванные новыми вирусами и бактериями, будут возникать регулярно. Численность населения городов растет. С точки зрения эпидемиологии это создает благоприятное поле для распространения патогенов. Здоровье слабеет, а гуманизм и ценность человеческой жизни в развитых странах растут. Поэтому мы не можем закрывать глаза на то, что, например, от какой-то болезни умирают пожилые люди. А если от следующего вируса будут дети умирать, как мы тогда будем реагировать?

Эта история, с одной стороны, показывает чувствительность и даже хрупкость нашей цивилизации, а с другой — напоминает о могучем развитии науки, позволяющем быстро отреагировать на подобные угрозы.

Геном вируса был известен почти сразу, вакцину сделали за невероятно короткое время. Эта мощь науки впечатляет. С третьей стороны, паника, которая охватила многих в связи с распространением этого заболевания, которое, в общем-то, далеко не чума и даже не оспа, говорит о том, что мы уязвимы и чувствительны.

Б.Е. Штерн в своих фантастических произведениях «Ковчег 47 Либра» и «Феникс сапиенс» как раз рассматривает ситуации, в которых современная человеческая культура делает людей хрупкими и незащищенными. Действительно, легко представить такую ситуацию: лет через 100 мы уже будем настолько зависеть от своих культурных достижений, что любое пустяковое событие, которое не заметили бы еще 300 лет назад, негативно повлияет на весь мир. Скажем, вспышка на Солнце, которая приведет к глобальному отключению электричества по всей планете на несколько дней. Если 300 лет назад на это вообще бы никто не обратил внимания просто потому, что электричества не было, то в дальнейшем зависимость от электроники может стать настолько большой, что за неделю жизни без электричества человечество погрузится в хаос и произойдет глобальная катастрофа с миллиардами погибших.

— **Александр Владимирович, над чем вы сегодня работаете?**

— Я выбрал для себя несколько направлений. Одно из них связано с моделированием. При помощи компьютерных моделей я пытаюсь решить теоретические вопросы эволюции генов и культуры. В течение последних 2 млн лет у наших предков начиная от самых ранних представителей рода *Ното*, которые еще мало отличались от австралопитеков, объем мозга увеличился в три раза. Для эволюции это беспрецедентная скорость увеличения мозга.

Что это был за процесс? Скорее всего, здесь поработала генно-культурная эволюция. Гипотез на этот счет огромное множество. В последние годы стала развиваться относительно новая идея, которая объединяет все остальные и, на мой взгляд, лучше всего объясняет происхождение человека. Эта идея называется «культурный



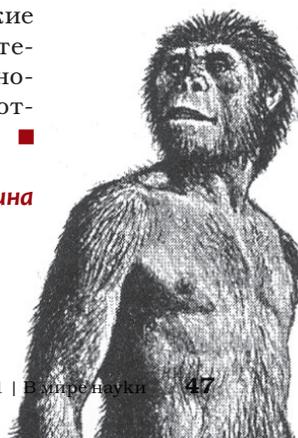
Американский палеохудожник Джон Герче (John Gurche) воссоздает лица наших предков, вымерших миллионы лет назад (Smithsonian Magazine)

драйв», или «теория культурного мозга». Суть в том, что в какой-то момент возникла положительная обратная связь в развитии культуры и нашего мозга. Согласно идее культурного мозга, чем больше в культурной среде полезных навыков, тем выгоднее каждой особи иметь хорошую память и обучаемость, что позволит быстро овладеть всем этим культурным богатством. Соответственно, все адаптивные знания, помогающие выживать, размножаться и прочее, создают естественный отбор на улучшение когнитивных способностей, что в конечном счете ведет к увеличению мозга. А когда за счет биологической эволюции вырастают когнитивные врожденные показатели, то еще сильнее развивается культура, формируются новые ценные знания и навыки. Создается ситуация, в которой выгодно иметь еще более хорошие умственные способности, обучаемость и т.д.

Я пытаюсь понять с помощью методов моделирования, как разные факторы будут влиять на эту обратную связь: например, какие типы знаний распространяются в культуре. Ведь знания и навыки могут быть выгодны на индивидуальном уровне, но бесполезны для группы. Или, напротив, могут быть полезны для группы в рамках конкуренции с другими группами, но невыгодны индивиду — например, какие-нибудь кооперативные альтруистические поведенческие признаки. Некоторые интересные результаты уже получены, но множество других вопросов пока остаются открытыми. ■

Беседовала Анастасия Пензина

Australopithecus anamensis
(Кения), около 4,2–3,9 млн лет назад



An aerial photograph of a body of water, likely a lake or a wide river, showing a dense pattern of ripples and small waves. The water is a deep, dark green color, with some lighter green highlights where the sun reflects off the surface. The overall texture is very busy and organic. Overlaid on the upper portion of the image is the Russian text "ВЫВЕСТИ СТРАНУ НА ЧИСТУЮ ВОДУ" in a clean, white, sans-serif font. The text is arranged in four lines, centered horizontally.

ВЫВЕСТИ
СТРАНУ
НА ЧИСТУЮ
ВОДУ

An aerial photograph of a person swimming in dark green, rippling water. The person is positioned in the center of the frame, moving from left to right. The water's surface is textured with small waves and ripples, creating a sense of movement and depth. The overall color palette is dominated by various shades of green, from deep forest green to lighter, sunlit tones.

О том, насколько важно беречь, охранять и эффективно использовать воду и другие природные ресурсы Земли, рассказывает член-корреспондент РАН **Виктор Иванович Данилов-Данильян** — эколог, гидролог, экономист, в прошлом директор, а сейчас — научный руководитель Института водных проблем РАН.



Член-корреспондент РАН
В.И. Данилов-Данильян

Каждый последний четверг месяца В.И. Данилов-Данильян проводит в родном институте музыкальные гостиные, где читает лекции, а затем погружает слушателей в классическую музыку. Если не знать, что он выдающийся ученый, можно было бы подумать, что он профессиональный музыковед. Но одно другому не мешает. Наоборот, помогает, уверен В.И. Данилов-Данильян: ведь музыка вдохновляет и дает силы. И она, как и природа, вечна.

— Виктор Иванович, вы занимали высокие посты, ваше имя было у многих на слуху. Как вы, математик, выпускник мехмата МГУ, связали свою научную жизнь с водной средой?

— Я не очень стремился на мехмат, хотя у меня в школьные годы было заработано пять премий на математических олимпиадах. Меня интересовала не столько математика как таковая, сколько математизация, поэтому я окончил мехмат по кафедре вычислительной математики. Получив диплом математика, я все время посматривал по сторонам, куда бы эту математику приложить так, чтобы мне было интересно.

Такая область, конечно же, нашлась. Это была экономика. После окончания университета я по распределению три с лишним года отработал в вычислительном центре МГУ, а потом, в 1964 г., пошел в только что организовавшийся Центральный экономико-математический институт. Я был среди первых сотрудников этого института. Занимаясь применением математических

методов в экономических исследованиях, я постоянно сталкивался с таким понятием, как природные ресурсы.

Но конкретно природно-ресурсной проблематикой я стал заниматься только с 1976 г., когда из Центрального экономико-математического института перешел в недавно созданный Институт системного анализа. Там я был заведующим отделом системных исследований социально-экономических процессов. А это не только ресурсы, но и общая экологическая тематика. Она напрямую вошла в мои исследования. С 1976 г. у меня появились статьи по экологии. Кстати, среди них была чуть ли не первая публикация в научном журнале, в которой подвергался сомнению проект поворота сибирских рек и так называемой северной переброски из Северной Двины, Печоры в Волжский бассейн и Каспийское море.

— Что же вы там написали?

— Что этот проект вызывает множество возражений и прежде чем его принимать для реализации, нужно эти возражения

каким-то образом разрешить и развеять сомнения. Это было за несколько лет до того, как развернулось широкое общественное движение против этих двух проектов и они были остановлены.

— **Какие еще проекты вам удалось остановить?**

— Будучи министром природных ресурсов и охраны окружающей среды, а потом председателем Госкомэкологии, я отвечал за экологическую экспертизу. Это были 1990-е гг., и в те годы экологическая экспертиза вела себя очень строго. У нас было больше 30% отвергнутых проектов именно по отрицательному вердикту самой экологической экспертизы.

— **А сейчас?**

— Знаю, что в 2000 г. все это рухнуло. В 2000-е гг. количество отвергнутых проектов было меньше 3%. Причем в число отвергнутых включались уже и те, которые фактически не были приняты по формальным причинам.

— **Вы долгие годы возглавляли Институт водных проблем, а сейчас — его научный руководитель. Как получилось, что вы стали директором этого института?**

— Этот институт был главной научной организацией по исследованию проблем переброски рек. Когда эти проекты разрабатывались, институт их горячо отстаивал. Я, правда, не думаю, что 100% сотрудников института были за эти проекты. Видимо, внутренняя оппозиция, пусть даже тихая, но существовала. Тем не менее все воспринимали этот институт в качестве научного лидера деятельности по подготовке переброски рек.

— **То есть он должен был научно обосновать такую необходимость?**

— Да. Это была огромная работа. В ней участвовало почти 100 институтов. И российская (тогда еще советская) гидрология совершила благодаря этому самый настоящий рывок. Именно в этом большая польза от того, что эти проекты существовали, хотя и были потом отвергнуты. Такая работа обеспечила качественный скачок в гидрологической науке, и за это спасибо.

Но даже того, что было сделано в ходе этой огромной работы, было недостаточно для научного обоснования. И государственная экспертиза Госплана СССР это констатировала, в ее заключении была сотня с лишним замечаний.

Тут надо понимать одну простую вещь. Некоторые из этих проблем тогда решить было невозможно. А среди них есть такие, которые и сегодня бы не удалось решить.

Это все равно что прогноз погоды. Вам Росгидромет указывает вероятность осуществления своего прогноза. Вот и здесь такая же ситуация. Наука не может однозначно описать все, что будет, если здесь построить водохранилище, дамбу, что-то еще. Природа не так устроена.

— **Но вы занимались математическим моделированием природных процессов. Что по этому поводу говорит наука?**

— Наука математика в своем составе имеет такую важнейшую дисциплину, как теория вероятностей, а также математическую статистику, которая представляет собой прикладную область по отношению к теории вероятности. Математика как раз наиболее активно занимается сейчас изучением процессов, которые имеют вероятностный характер, либо проблема формулируется как поиск решений в условиях неопределенности. Это нисколько не мешает применению математики, а только усложняет ту математику, которая должна применяться.

— **Итак, вы пришли в институт, который научно обосновывал необходимость переброски северных рек, будучи противником этой идеи. Как удалось разрешить это противоречие?**

— Решение о прекращении работ по переброске рек было принято в августе 1986 г. Я в то время работал в Академии народного хозяйства при Совете министров СССР. Я и депутатом Госдумы побывал в те два года, когда можно было совмещать работу в правительстве и в Государственной Думе. За эти 15 лет ситуация в институте изменилась. Научный лидер работ по переброске, который тогда был директором, выдающийся гидролог Г.В. Воропаев, скончался. Институт занимался проблемами Каспия, а я был председателем правительственной комиссии по Каспийскому морю. Как бы мы ни спорили насчет сибирской и северной переброски, у нас сохранились совершенно нормальные человеческие отношения. Я был хорошо знаком и с его преемником М.Г. Хулярином, который здесь был директором почти 15 лет. Мартин Гайкович плохо себя чувствовал в последние годы, исполнять обязанности директора ему было слишком тяжело. Стали думать, кого можно позвать. По формальным признакам я вполне подходил, и мне сделали это предложение. Естественно, меня интересовало, как институт отнесется к появлению директора, который активно участвовал во всех мероприятиях по прекращению работ по переброске.

Но меня заверили, что я могу не беспокоиться, что людей, которые начали бы воевать за переброску, тут уже нет. Так оно и оказалось.

— **Когда вы стали директором института, он начал заниматься экологическими проблемами. Как я понимаю, одна из ваших ключевых идей — плата за негативное воздействие на природную среду. Это так?**

— Эта идея была сформулирована в статье под названием «Выбросы — за плату», которая в «Вопросах экономики» вышла в 1990 г. Этот год был в РСФСР экспериментальным по внедрению описанной там системы. Это касалось не только водных ресурсов, но и воздуха, и почвы.

— **Удалось реализовать эту систему?**

— А как же. Система до сих пор работает. Конечно, она модифицировалась, особенно в последние годы, когда от принципа предельно допустимых концентраций перешли к принципу наилучших доступных

технологий. Для того чтобы система работала, нужно, чтобы она сама по себе была достаточно хороша и чтобы были соответствующие условия для ее работы. Конечно, хорошая система обязана учитывать все условия. Но когда в стране нет денег, а в 1990 г. было именно так, мы должны были думать о том, чтобы сохранить не только природу, но и людей, и промышленность. Поэтому я никогда не настаивал на том, чтобы применить эту систему при максимально жестких параметрах, не делая никаких послаблений. Естественно, все должно быть в рамках закона. И законодательство было как раз устроено так, что можно было делать послабление при наличии соответствующих обстоятельств. Эти обстоятельства проверялись экологической экспертизой, системой экологического контроля. Это не было чиновничьим произволом.

— **Хотя ведь всякие послабления, как известно, создают почву для коррупции.**

— Это правда. Но природоохранная система 1990-х гг. была, прямо скажем, самой чистой в России. У нас собираемость платежей была больше 90%. Ни по одному виду налогов и сборов не было такого высокого показателя.

— **А как это удалось?**

— Удалось потому, что система была устроена соответствующим образом. Во-первых, я не доверял и не доверяю до сих пор местным органам власти на 100%. Я считаю, что над ними необходим централизованный федеральный контроль. А уж в экологии — прежде всего. И система была устроена так, что у нас в каждом субъекте федерации был комитет по охране природы, подчинявшийся федеральному министерству (потом, после 1996 г., Госкомитету), а отнюдь не региональным властям.

— **И сейчас так же все устроено?**

— В 2000 г. эта система была ликвидирована. Был прекращен мониторинг негативных воздействий на окружающую среду, были ликвидированы экологические фонды. Все это — «достижения» 2000 г. Система платежей работает хорошо, когда сотрудники заинтересованы в ее результативности. Не потому, что они берут какие-то деньги в качестве зарплаты, премий, еще чего-нибудь. Это было категорически запрещено законом. 90% всех денег, которые собирались в 1990-е гг. в качестве платы за негативные воздействия на окружающую среду, сосредотачивались в системе экологических фондов, и только 10% шли напрямую в бюджет.



Всероссийская акция по очистке от мусора берегов водных объектов «Вода России» («Берег добрых дел») — часть федерального проекта «Сохранение уникальных водных объектов» национального проекта «Экология». Источник: берегдобрыхдел.рф

А почему работники системы заинтересованы в том, чтобы эта платежная система работала? Потому что эти деньги тратятся на приобретение оборудования — мониторингового и контрольного, на научные исследования, которые связаны с актуальными прикладными задачами, на проектирование природоохранных сооружений, пропаганду и просветительскую деятельность, образование, общественные мероприятия, посвященные охране природы. У нас была первая из государственных систем, вся обеспеченная персональными компьютерами. У наших природоохранных контролеров были служебные автомобили и другой спецтранспорт. Техническая природоохранная база была выстроена за деньги экологических фондов, то есть на средства, получаемые от платежей за негативные воздействия на окружающую среду. Люди были довольны условиями труда, и система работала. А знаете, как боялись природоохранных инспекторов?

— **Помню эти времена. Как вы думаете, можно сейчас что-то изменить к лучшему?**

— Просто надо вернуться к той системе. Ничего лучше не придумано.

— **Это возможно?**

— Была бы политическая воля. В начале 2000-х гг., после разрушения всей природоохранной системы, я написал статью, которая называлась «Экология России: в ожидании взрыва?» Взрыва пока не было.

— **Но он уже где-то близко?**

— Ситуация с мусором, со свалками на грани взрыва. Эту систему нужно организовать, сделать инфраструктуру. Нужно серьезно к этому относиться, а не поручать совершенно некомпетентным людям принимать проекты, выделять деньги.

Почему я выступал против мусоросжигания по технологии *Hitachi*? Да очень просто. Там семь ступеней очистки. Слишком много. А если какая-то не работает, значит



В бассейне реки Дон более десяти лет годовой сток был ниже нормы, а в 2015–2020 гг. снизился до минимальных значений за весь период наблюдений. Источник: voda.gov.ru

диоксины летят в воздух. Мы ими дышим, подвергая себя опасности канцерогенеза. А у нас решили, что купим технологию, поставим завод — и готово. Во-первых, в этот завод будут гнать несортированный мусор. Во-вторых, технология будет нарушаться с вероятностью 90%. Так и происходит.

Если вернуться к водным проблемам, то и здесь я очень боюсь приближения взрывоопасной ситуации. Во-первых, европейская часть страны (за исключением территории бассейнов Печоры, Северной Двины, Онеги и других северных рек) может через 10–15 лет столкнуться с острой нехваткой воды. И Волжский бассейн, и тем более Донской, Кубанский. Затраты на водопользование так вырастут, что экономика может этого просто не выдержать. И прежде всего это ударит по здоровью.

У нас совершенно варварски обстоят дела в водоохранных зонах. Небоскребы ставят во втором поясе зон санитарной охраны. Поездите по Московской области. Она у нас в лидерах по уничтожению водоохранных зон, чистоты источников питьевого водоснабжения. Это очень опасно, причем по-разному в разных районах.



Охрана вод, очистка всего, что сбрасывается, разные природно-техногенные стабилизаторы — пруды, лесопосадки и пр. Без этого никак не обойтись. Мы сейчас находимся лет на 30–40 позади Европы и США

— В чем именно эти опасности?

— Вот, например, река Дон. У нее водность упала на 30–40 % за последние 30 лет. Долго думали и искали, за счет чего это происходит. Была распространена точка зрения, что все-таки главная причина — антропогенная. Но убедились в том, что главные причины — природные, изменение климата. В отличие от Волги в бассейне Дона практически нет территорий, которые относятся к лесной зоне, — там лесостепь, степь, где заметно сокращение осадков. В результате происходит сокращение водности этой реки. И сейчас на Дону очень трудная ситуация.

— Что можно сделать в этой ситуации?

— Нужно изо всех сил экономить воду и эффективно ее использовать. Разработан список мероприятий, которые могли бы по крайней мере смягчить проблему. Это мероприятия двух типов. Первые касаются того, что делать с водой, если ее уже забрали. То есть нужны водоэффективные, водоэкономные технологии у пользователей. Вторые связаны непосредственно с состоянием бассейна и с самим ресурсом. Охрана вод, очистка всего, что сбрасывается, разные природно-техногенные стабилизаторы — пруды, лесопосадки и пр. Без этого никак не обойтись.

Мы сейчас находимся лет на 30–40 позади Европы и США. Там похожие ситуации бывали до 1980-х гг., а потом они обратили самое серьезное внимание на эти проблемы. Реку Рейн, основная часть которой

находится в Германии, называли тогда клоакой Европы. А в 1993 г. тогдашний министр окружающей среды, охраны природы и безопасности ядерных реакторов ФРГ Клаус Тепфер переплыл Рейн в Бонне, тогдашней столице, как Мао Цзэдун реку Янцзы, но не для демонстрации своего здоровья, а чтобы доказать безопасность такого плавания: после этого он не умер и даже не заболел.

— А вы бы стали сейчас переплывать Дон или Волгу?

— Если бы мне было не 83, а хотя бы 60, Дон, наверное, переплыл бы.

— Потому что он поуже?

— Не только поэтому, но и потому что вода грязнее в Волге. И все-таки она не настолько грязная, чтобы переплыть реку было нельзя. Пока все не так плохо. У нас есть очень загрязненные реки, но они не самые крупные. Это некоторые притоки второго, третьего порядка в Волжском, Обском и других бассейнах.

— Знаю, что вы и Байкалом занимались. Насколько он еще соответствует репутации самого чистого пресного водоема мира?

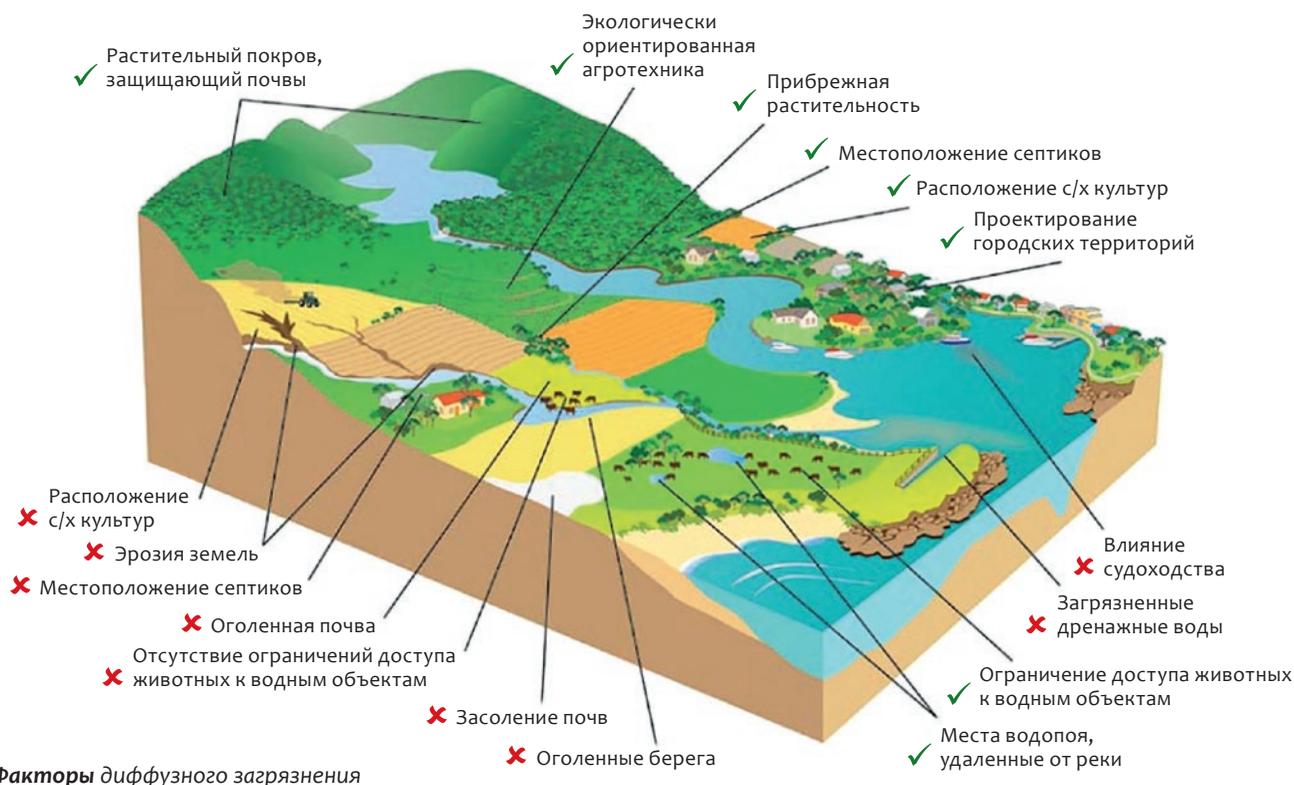
— Байкал пережил серию очень маловодных лет. Это было естественное явление. Подозревают, что это 60-летний цикл, хотя таких вполне надежных статистических доказательств нет просто по причине отсутствия необходимой информации. 60 лет — большой период. Может быть, если бы не глобальные климатические изменения, воды было бы немного больше. Вместе со всеми чудесами эксплуатации водных ресурсов, какие мы имеем на Байкале, сухие годы привели к очень тревожным последствиям. Впервые за всю историю наблюдений мелководья Байкала зацвели. Это не касается основной толщи воды, где километр-полтора глубины. Это касается именно мелководий. Но туристы скапливаются именно на мелководьях, где относительно пологий берег. Зацвели они не сине-зелеными водорослями. Там свой вредитель, он называется спиригира, зеленая водоросль.

— Ядовитая, как я читала.

— Вы знаете, если большое количество биомассы начинает гнить, то все становится ядовитым. Зеленые водоросли биологически далеко отстоят от сине-зеленых, но тем не менее ведут себя похожим образом. Вода на мелководьях из-за падения уровня стала прогреваться гораздо сильнее. А сине-зеленые водоросли на Байкале не живут: для них там холодно даже в жаркие маловодные годы. Это во-первых. Во-вторых, происходит



Оптическая съемка спектрорадиометра MODIS на ИСЗ Terra от 3.07.2015: хорошо различимы области позеленения воды на участке прибрежной зоны от устья реки Селенги (1) и до Баргузинского залива (2). Источник: m.baikal-media.ru



Факторы диффузного загрязнения

поступление фосфора вместе с антропогенными стоками. Фосфор — это еда. Температура — это подходящие, благоприятные условия жизни. И Байкал на мелководьях зацвел, чего никогда раньше никто замечать не замечал. Сейчас это закончилось, как только прекратилась череда маловодных лет. Но дело в том, что история с неблагоприятными условиями обязательно повторится — и мы не знаем когда.

Может быть, есть этот 60-летний цикл, а может быть, его нет. Климат теплеет, и это не только рост приземной температуры, но и изменение режима осадков. Как он изменится, достоверно сказать пока никто не может. И в этом опасность. Поэтому совершенно необходимо прекратить загрязненный сток в озеро.

— **Как вы считаете, каково влияние антропогенного фактора на глобальное потепление? И есть ли оно? Ведь здесь тоже существуют разные точки зрения.**

— 98% ученых, не обязательно гидрологов или метеорологов, считают, что решающее значение для наблюдаемого глобального потепления имеет антропогенный выброс парниковых газов. Да, есть люди, которые придерживаются другого мнения, но их абсолютное меньшинство. Научное сообщество по этому вопросу вполне пришло к консенсусу.

— **Когда-то водная среда была исключительно чистой, можно было пить воду из реки или из озера. Как вы думаете, возможно ли возвращение к таким временам? Или наша цивилизация стала платой за нерациональное использование водных ресурсов?**

— Если человечество себя не погубит, сумеет выжить, то оно вернет водные объекты к тому состоянию, о котором вы сказали. Это только один кирпичик в разрушающемся здании. Если его не вернуть, все здание обречено. Все разговоры о переселении на Марс или еще куда-нибудь — сладкие сказки. Даже если предположить, что когда-нибудь это окажется технически возможным, как вы думаете, сколько ресурсов нужно для того, чтобы переселить миллиард человек на другую планету?

— **Вы можете как математик это посчитать.**

— Думаю, такого количества ресурсов у нас просто нет. А ведь это всего миллиард. Конечно, можно переселить «золотую тысячу», но вряд ли такая перспектива понравится остальному человечеству. Поэтому самое время всерьез задуматься. Это лучшее, что мы можем сейчас сделать. ■

Беседовала Наталия Лескова

ВСЕ ЦВЕТА «СПЕКТРА»



Карта всего неба, полученная
по результатам двух обзоров телескопом
ART-XC им. М.Н. Павлинского, обсерватория
«Спектр-РГ», декабрь 2020 г.
Источник: ИКИ РАН.

Два года назад, 13 июля 2019 г., состоялся запуск уникальной рентгеновской обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма». Через несколько месяцев обсерватория достигла «рабочего места» в окрестности точки Лагранжа L_2 и начала проводить первые обзоры. Сегодня «Спектру-РГ» нет равных. О том, чего удалось достичь коллегам из России и Германии, рассказывает Александр Анатольевич Лутовинов, профессор РАН, заместитель директора Института космических исследований РАН, научный руководитель телескопа *ART-XC* им. М.Н. Павлинского.



Профессор РАН А.А. Лутовинов

— В чем уникальность обсерватории «Спектр-РГ»?

— Позволю себе сделать шаг назад и рассказать, для чего создавалась эта обсерватория, какие перед ней стоят научные задачи. Большинство существующих рентгеновских обсерваторий можно условно разделить на две большие группы по принципу работы инструментов. При создании первой группы используются рентгеновские зеркала, позволяющие фокусировать излучение. Среди них, например, космическая рентгеновская обсерватория «Чандра» (ранее известная как *Advanced X-ray Astrophysics Facility (AXAF)*. — Примеч. «В мире науки») или обсерватория *XMM-Newton (X-ray Multi-Mirror Mission Newton*, Рентгеновская мультисерваториальная миссия «Ньютон»). При высокой чувствительности у таких обсерваторий достаточно узкие поля зрения. Проще говоря, им доступна конкретная, сравнительно небольшая часть неба. Кроме того, особенности рентгеновской оптики позволяют эффективно фокусировать только мягкое излучение.

Обсерватории второй группы — международная обсерватория гамма-лучей *INTEGRAL (INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory)* или телескоп *BAT* на борту Обсерватории *Swift* им. Нила Герельса — работают по принципу кодирующей апертуры. Им, напротив, доступна сразу большая часть неба. Конечно, чувствительность и угловое разрешение в данном случае оказываются хуже, но такие обсерватории могут проводить обзоры всего неба, в том числе в гораздо более жестких лучах, вплоть до гамма-излучения,

что чрезвычайно важно для понимания устройства Вселенной и физики в целом.

Важность проведения обзоров всего неба можно проиллюстрировать на простом примере. Представьте, что инопланетянин прилетит на Землю буквально на пять-десять минут и увидит только вас. Пусть за это время он сможет досконально изучить одного человека, но у него не будет знаний о человечестве, о том, как люди рождаются, развиваются, умирают. В случае с астрономическими наблюдениями ситуация аналогичная: в процессе наблюдения отдельных объектов вам достаточно сложно будет понять, откуда берется конкретный объект, как он развивается, эволюционирует. Конечно, научные догадки и теоретические исследования позволяют сделать некоторые предположения, но для окончательных ответов необходимо изучать классы космических тел, которые находятся на разных стадиях эволюции. Поэтому, делая обзоры всего неба, ученый получает данные о большом количестве объектов одного и того же класса, которые находятся на разных

стадиях эволюции, на разных расстояниях и временных отрезках. Только так можно понять, как устроен наш мир.

Обзоры всего неба предпринимались не раз, в том числе с помощью самой первой рентгеновской обсерватории *UHURU*, а также упомянутых инструментов *INTEGRAL* и *Swift*, но количество источников, зарегистрированных в таких обзорах, не очень велико в силу особенностей инструментов и диапазонов энергий. Серьезный прорыв был сделан немецкой обсерваторией *ROSAT*, которая работала в начале 1990-х гг., использовала рентгеновские зеркала и за полгода сделала обзор неба, зафиксировав порядка 200 тыс. объектов. Этого физикам и астрономам хватило на 15–20 лет.

В середине 2000-х гг. стало понятно, что возможности обзора, которые были получены обсерваторией *ROSAT*, почти исчерпаны. Возникла необходимость сделать новый обзор Вселенной, чтобы получить более глубокую карту, зарегистрировать максимальное количество источников, обеспечить ученых новым наблюдательным материалом.

Тогда и зародилась идея создания обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма». Напомню, что она оснащена двумя телескопами: немецким — *eROSITA* и российским — *ART-XC*. Оба прибора используют рентгеновские зеркала и работают по принципу оптики косого падения. Но в отличие от упомянутых выше обсерваторий *Chandra* и *XMM-Newton* каждый из этих телескопов обладает широким полем зрения. Так, телескоп *eROSITA* имеет поле

зрения порядка одного градуса, *ART-XC* — немного поменьше. Таким образом, вращаясь вокруг своей оси, каждый день мы дополняем карту неба кольцевой полоской примерно в один градус. Поворачиваясь за Солнцем, обсерватория за полгода покрывает все небо и делает полный обзор. В этом и состоит уникальность «Спектра-РГ» — его инструменты сочетают в себе большие поля зрения и высокую чувствительность, что раньше казалось недостижимым.

— Вот уже почти два года «Спектр-РГ» находится в точке либрации L_2 . Чего удалось достичь за это время?

— В точке L_2 обсерватория находится около полтора лет, поскольку несколько месяцев занял сам полет аппарата. Точка L_2 удобна по двум причинам. Здесь стабильные тепловые и фоновые условия, что чрезвычайно важно для подобных чувствительных инструментов, особенно для *eROSITA*. Телескоп *ART-XC* в этом смысле более «брутальный», а немецкая коллега — более «нежная». Так, детекторы *eROSITA* работают при криогенных температурах -90° . И для того чтобы обеспечить комфортные условия, нужно, чтобы тепловые потоки не менялись.

Кстати, точка L_2 становится все более популярной для проведения исследований. Сейчас нам впервые удалось измерить рентгеновский фон в ее окрестностях. В дальнейшем эти данные будут использованы при планировании работы будущих крупных миссий.

После калибровочных и проверочных наблюдений в конце 2019 г. аппарат перешел в режим обзора и начал решать основную научную задачу — построение глубокой карты Вселенной. Первый обзор мы закончили в июне 2020 г., а второй — в декабре того же года. Но уже и первая карта принесла множество потрясающих данных. Например, *eROSITA* обнаружила порядка 1 млн источников по сравнению с несколькими сотнями тысяч, известными ранее. В рамках второго обзора мы увеличили глубину и получили уже около 2 млн рентгеновских источников. Участники проекта ожидают, что в дальнейшем количество источников увеличится до нескольких миллионов. Ранее о подобных картах мы и мечтать не могли, а сегодня уже активно с ними работаем.

Помимо прочего были обнаружены гигантские структуры — так называемые пузыри *eROSITA*, подобные пузырям Ферми, но гораздо большего размера. Это надутые структуры, исходящие из центра Галактики. Считается, что несколько десятков миллионов лет назад в центре Галактики происходила чрезвычайно большая активность, которая посредством ударных волн надула горячий газ. Но пока природа таких образований до конца не ясна.

Замечательные результаты показал и отечественный телескоп *ART-XC*, который с 2020 г.

носит имя своего создателя и первого руководителя М.Н. Павлинского. К большому сожалению, в прошлом году Михаил Николаевич ушел от нас. Но первую карту неба он видел. Я вспоминаю, как он радовался нашим общим достижениям и строил большие планы.

Благодаря телескопу *ART-XC* им. М.Н. Павлинского мы получили уникальную четкую карту неба в жестких рентгеновских лучах, которой до этого никогда не было. Конечно, источников на ней немало, меньше тысячи. Однако они были получены за год измерений, тогда как обсерватории прошлого поколения работали десятилетие, чтобы добиться такого результата. Более того, мы увидели множество новых интересных объектов, о которых даже не подозревали. В свое время М.Н. Павлинский в одном из интервью сказал, что мы словно грибники, идущие по лесу; нас окружают сотни, тысячи опят и сыроежек, а мы находим среди них трюфель. Аналогия с трюфелем здесь неспроста, они ведь находятся под землей. Так и в нашем случае: некоторые объекты *eROSITA* не видит в силу того, что мягкое рентгеновское излучение блокируется окружающей космической средой. Скажем, сверхмассивная черная дыра может быть скрыта за слоем пыли и газа или за целой галактикой. А телескопу *ART-XC* как раз под силу разглядеть такие объекты.

— Почему необходимо делать несколько обзоров? Вы увеличиваете пространственные масштабы или уточняете уже полученные результаты?

— С одной стороны, при проведении нескольких обзоров суммарно увеличивается глубина экспозиции. Проще говоря, чем дольше мы наблюдаем за участком неба, тем более слабый сигнал от объектов можем зарегистрировать. Во-вторых, небо непостоянное. Звезды рождаются, умирают, с ними и вокруг них происходят эволюционные события. Например, двойная система с нейтронной звездой или черной дырой может вспыхнуть на какое-то время, а затем погаснуть.

Напомню, что в день обсерватория сканирует полоску неба в один градус, при этом период обращения самой обсерватории вокруг своей оси — четыре часа. Проще говоря, мы можем следить за одним и тем же объектом от четырех до шести раз в сутки. Соответственно, если он меняется на масштабах от нескольких секунд до часов, мы это сразу заметим. Плюс ко всему каждые полгода «Спектр-РГ» вновь возвращается в ту же область неба и вновь может фиксировать изменения. Это чрезвычайно важно для наблюдений уникальных событий — от короткоживущих всплесков до вспышек в двойных системах и приливных разрушений звезд.

— Когда научные данные будут доступны мировому сообществу?

— Как я уже говорил, обсерватория оснащена двумя инструментами. Данные по телескопу *ART-XC* полностью принадлежат российской стороне, находятся в Институте космических исследований РАН — головной научной организации проекта, где они обрабатываются и анализируются. А данные по телескопу *eROSITA* разделены пополам: за обработку данных на одной части неба отвечает российский консорциум ученых из разных институтов, а за вторую часть — коллеги из Института внеземной физики Общества Макса Планка и других институтов Германии.

Первая партия данных *eROSITA*, вероятно всего, будет открыта в этом году. При этом речь пока идет только о тестовых и калибровочных наблюдениях. Научное сообщество сможет получить доступ к первичным данным, а также к математическому обеспечению для их анализа.

Данные по телескопу *ART-XC* будут выложены немного позже. Здесь есть некая тонкость. Данные сами по себе неинтересны, ведь вы получаете набор цифр, которые без специальных знаний (как устроен прибор, как эти данные получены, записаны и т.д.) бесполезны. А написание программного обеспечения, которое позволило бы любому ученому, незнакомому с устройством инструмента, извлекать из телеметрии данные, пригодные для научного анализа, — непростая задача, на решение которой тратятся большие ресурсы и время. Сейчас идут доработка и тестирование такого математического обеспечения. Как только все будет готово и проверено, тогда и будет принято решение об открытии данных.

— Программа «Спектр-РГ» предусматривала несколько направлений, в том числе прикладные, например обеспечение программы «АстроГЛОНАСС». Когда начнется реализация?

— Для «АстроГЛОНАСС» обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» не предназначена. Тем не менее оказалось, что телескоп *ART-XC* не только может строить замечательные карты неба в жестком рентгеновском диапазоне, но и обладает очень хорошим временным разрешением. По сравнению с *eROSITA*, которая сбрасывает данные фреймами (кадрами) по 50 миллисекунд, у телескопа *ART-XC* разрешение доходит до десятков микросекунд. Это значит, что мы можем наблюдать очень короткие события, в том числе, например, быстровращающиеся нейтронные звезды с периодом обращения в несколько миллисекунд. Именно быстровращающиеся нейтронные звезды считаются опорными источниками для навигации по рентгеновским пульсарам, которую с легкой руки руководителей космической отрасли стали называть «АстроГЛОНАСС». Красивый термин.

Основная задача обсерватории на первом этапе — обзор всего неба, поэтому телескоп *ART-XC* не может следить за этими объектами постоянно,

а делает это только во время так называемых калибровочных наблюдений, которые мы проводим обычно после коррекции орбиты. Руководство «Роскосмоса» поручило нам отработать элементы навигации, пронаблюдать быстро вращающиеся пульсары. Мы это сделали и поняли, что система в принципе работает и задачу построения системы навигации по рентгеновским пульсарам решать можно. Но, повторюсь, обсерватория «Спектр-РГ» для этого не предназначена.

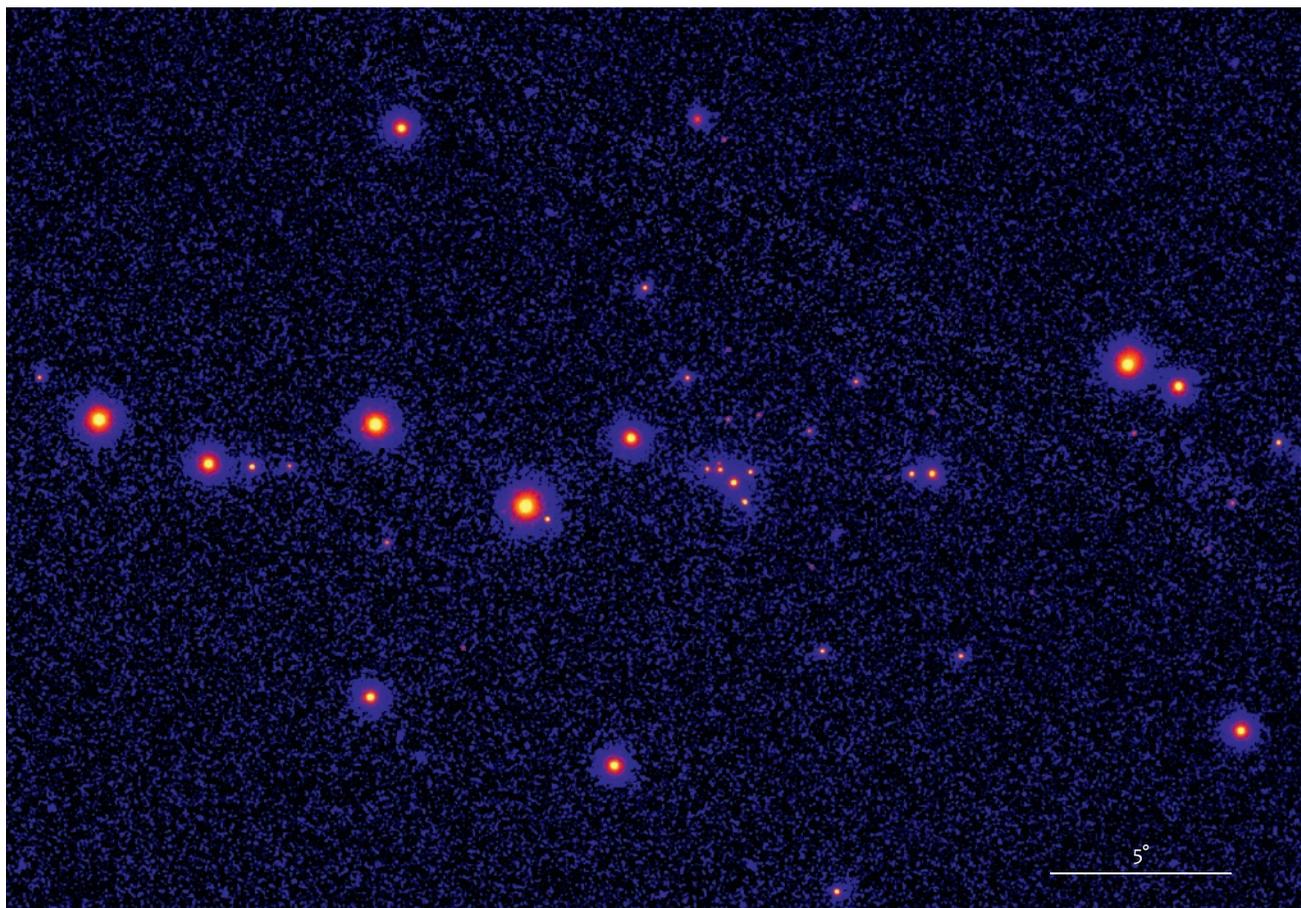
На Совете по космосу РАН мы предложили создать отдельный спутник для решения этой и ряда других прикладных задач. С коллегами из НПО им. С.А. Лавочкина мы сейчас детально прорабатываем такой проект.

Если говорить о других задачах, то действительно после запланированного четырехлетнего обзора обсерватория будет работать два с половиной года в режиме точечных наведений или трехосной стабилизации. В это время начнутся наблюдения наиболее интересных и уникальных объектов, обнаруженных по результатам обзоров.

— Ваши коллеги из Института ядерных исследований РАН и Объединенного института ядерных исследований в Дубне недавно запустили нейтринный телескоп на дне Байкала. Многие из них упоминали тенденцию к многоканальной астрономии. Прослеживается ли она в рентгеновской астрономии?

— Конечно. Рентгеновская астрономия — это только одно из окон во Вселенную. Поэтому многоволновая астрономия существует и используется давно. Зачастую мы фиксируем информацию о том или ином космическом объекте буквально по нескольким фотонам. И сразу понять, что это за объект, не удастся. Здесь на помощь приходят наблюдения в других диапазонах длин волн. В первую очередь проверяются рентгеновские каталоги других миссий, затем оптические, инфракрасные, проводятся дополнительные наблюдения и т.д. После этого собранная информация сводится в единую картину. В этом и состоит суть многоволновых наблюдений, которые позволяют широко посмотреть на тот или иной объект и установить его природу, в том числе определить физические характеристики.

В то же время ученые сегодня все чаще говорят о так называемой многоканальной астрономии в режиме мессенджеров (*multi-messenger astronomy*) — быстрой обработке и передачи информации. Это направление стало активно развиваться в последние пять-семь лет после запуска системы гравитационно-волновых детекторов *LIGO* и *VIRGO*. В 2017 г. обсерватория *LIGO* зафиксировала сигнал от слияния двух нейтронных звезд. Сообщение моментально инициировало наблюдения в других диапазонах длин волн и проверку данных другими обсерваториями,



Карта центральной области Галактики, полученная в течение первого года обзора всего неба телескопом ART-XC им. М.Н.Павлинского в диапазоне энергий 4–12 кэВ. Источник: команда телескопа ART-XC/ИКИ РАН.

которые в этот момент могли наблюдать ту часть неба, где происходило событие, что и привело к открытию. Этот замечательный опыт используется все шире и шире, в том числе и в нейтринной астрономии.

Кстати, мы активно сотрудничаем с коллегами, работающими с Байкальским нейтринным телескопом. Мы реализуем совместный грант РФФИ по наблюдениям нейтрино, гравитационно-волновых событий и отождествлению результатов в рентгене, гамма-излучении и в оптике. Это действительно замечательный инструмент с уникальными характеристиками. Надеюсь, наше сотрудничество приведет к интересным результатам.

— **Что известно о «конкурентах»? Насколько я знаю, к 2031 г. будет запущен телескоп «Афина».**

— Планируется, что космический телескоп «Афина» (*Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics, ATHENA*) будет иметь большую эффективную площадь, а также высокое спектральное и временное разрешение, но он не предназначен для обзоров. С точки зрения обзорных миссий и построения карты Вселенной конкурентов

у нас нет. Академик Р.А. Сюняев, научный руководитель обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма», в одном из выступлений пошутил, что обсерватория позволит построить настолько детальную карту Вселенной, что в ближайшие 5 млрд лет, пока Вселенная существенно не поменяется, другая обзорная обсерватория нам не понадобится. Действительно, уже сегодня мы можем рассматривать уникальные скопления галактик, сверхмассивные черные дыры, нейтронные звезды и квазары. Например, наш молодой коллега П.С. Медведев обнаружил сверхмассивную черную дыру, квазар, который испустил свет, когда Вселенная была в возрасте всего лишь 700 млн лет. Как он появился и почему на таком малом временном масштабе уже стал сверхмассивным — настоящая загадка. И подобных загадочных объектов, очевидно, будет найдено очень много.

Разумеется, «Афина» тоже принесет огромный вклад в науку и будет как раз изучать отдельные объекты и области Вселенной с недостижимой ранее точностью. Но в данном случае конкуренции нет.

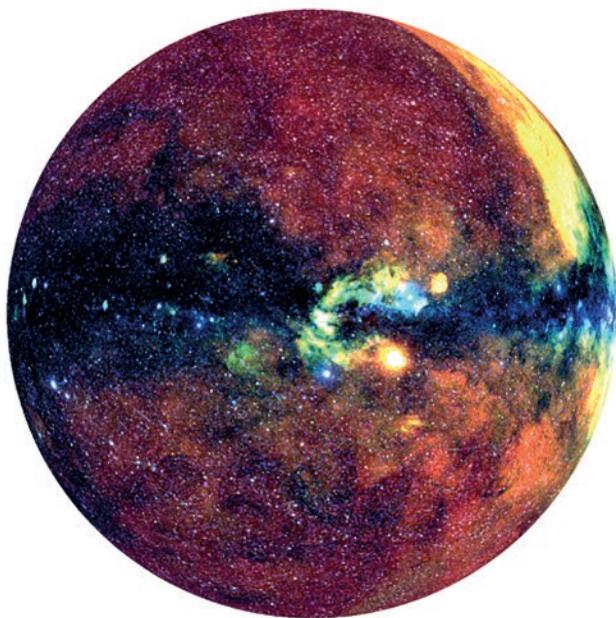
— **Что насчет других собратьев программы «Спектр»? На подходе «Спектр-УФ». Обогатит ли он уже собранные данные или это будет некий самостоятельный проект?**

— В целом программа «Спектр», которая задумывалась в конце 1980-х — начале 1990-х гг., изначально состояла из трех обсерваторий. Впоследствии к ним добавился четвертый проект «Спектр-Миллиметр». Но каждый из них представляет независимую миссию.

Конечно, данные в ультрафиолете, которые предоставит «Спектр-УФ», можно и нужно будет в будущем объединить с результатами наблюдений «Спектр-РГ». Это и есть та самая многоволновая астрономия, о которой говорили выше. Вопросы будущей синергии между разными «Спектрами» мы недавно обсуждали с заместителем директора Института астрономии РАН М.Е. Сачковым, который курирует реализацию проекта «Спектр-УФ».

— **Вы уже упомянули, что программа «Спектр» задумывалась в конце прошлого века. Когда и как вы попали в эту программу?**

— Первая конфигурация обсерватории ничего общего с современной не имеет. Предполагалось, что на нее установят около десяти приборов. И если бы ее запустили вовремя, она бы сильно опередила и «Чандру», и ХММ. «Спектр-РГ» в первоначальной конфигурации задумывался как уникальная обсерватория для наблюдения за отдельными объектами, наиболее интересными для исследований. Насколько я помню, первый запуск планировался в 1993 г.



Карта северной половины неба, построенная телескопом СРГ/eROSITA по сумме двух первых обзоров неба, в цветах RGB. Источник: М.Р. Гильфанов, П.С. Медведев, Р.А. Сюняев и российский консорциум СРГ/eROSITA, 2021.

А уже в начале 2000-х гг. было принято решение, что «Спектр-РГ» в первой конфигурации утратил актуальность, поскольку в 1999 г., как я сказал, состоялся запуск обсерваторий «Чандра» и ХММ. Плюс ко всему у многих инструментов истекали сроки годности и гарантийные сроки.

Отдел астрофизики высоких энергий ИКИ РАН всегда играл ключевую роль в проекте; можно сказать, «Спектр-РГ» — его детище. Нас, аспирантов и молодых научных сотрудников, привлекали к работам, связанным еще с тем старым СРГ, например при разработке комплекса фокальных рентгеновских детекторов. Сотрудники отдела также проводили расчеты и принимали участие в моделировании. После того как финансирование проекта прекратилось, начался поиск идей для новой версии обсерватории, которая сегодня успешно работает.

В то время я со «Спектром» не работал, поскольку с 2002 г. был глубоко вовлечен в другой проект — обсерватории INTEGRAL, которая и сегодня продолжает наблюдения.

А уже в последние годы работы над «Спектром-РГ» М.Н. Павлинский начинал все больше задействовать ученых отдела в работе по проекту телескопа ART-XC — в планировании научных задач, в моделировании наблюдений. Вообще, в создании и успешных результатах и телескопа, и всей миссии заслуга М.Н. Павлинского просто неоспорима, как и коллег из РФЯЦ в Сарове и «Роскосмоса». Ведь важно не только изготовить ключевые элементы телескопа, но и съюстировать, собрать с точностью до угловых минут сложнейшие оптические схемы. А такое оборудование, в том числе лазерное, которое использовалось при этих работах, есть лишь в Сарове. Благодаря коллективной слаженной работе в России появился не имеющий аналогов телескоп, который уже дал серьезные научные результаты. Образно говоря, мы оказались в «лиге чемпионов». Хотя это было нелегко, но еще тяжелее там закрепиться, а для этого надо писать хорошие научные статьи, получать результаты мирового уровня. И все это — плод гигантской проделанной и продолжающейся работы большого количества людей, которых собрал и увлек М.Н. Павлинский. После его безвременного ухода коллеги приняли решение, что мне нужно продолжить его дело, став научным руководителем телескопа.

— **Все согласны с тем, что «Спектр» — это значимый проект, пусть и запущенный не сразу. Но некоторые считают, что в мире уже давно работают иначе и время реализации сильно затянулось. Как обстоят дела на самом деле?**

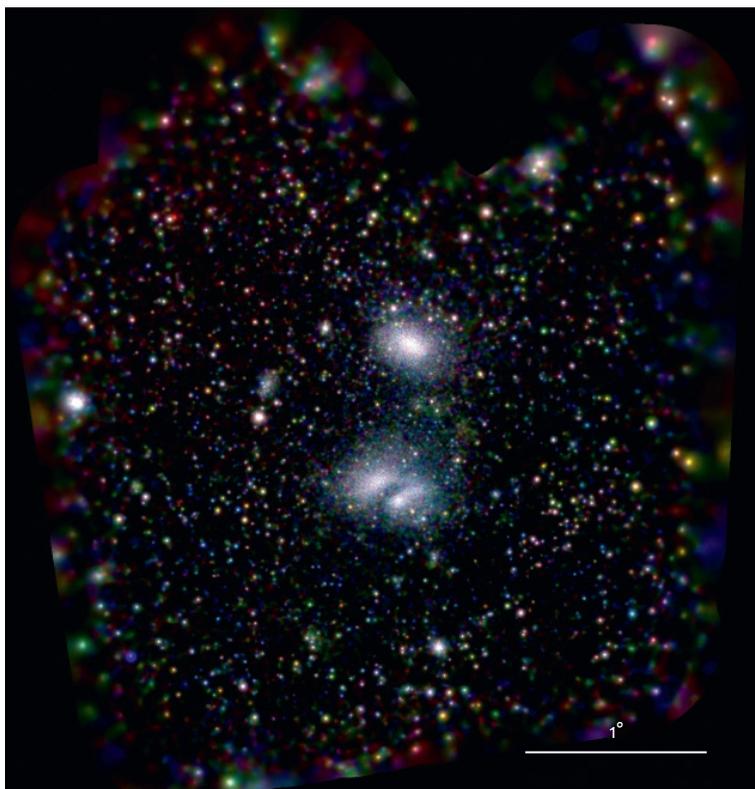
— Мне кажется, что люди, которые придерживаются такого мнения, либо лукавят, либо не совсем погружены в тему. Если говорить о современном «Спектре-РГ», я бы не ассоциировал его

с первоначальной идеей, возникшей в 1980-е гг. Официальной точкой отсчета работ по проекту можно считать август 2009 г., когда «Роскосмос» и немецкое космическое агентство DLR подписали соглашение о сотрудничестве. И фактически через десять лет состоялся запуск. Можно ли было сделать быстрее? Наверное. Между тем телескоп ART-XC был полностью завершён в конце 2016 г., а eROSITA — в январе 2017 г. А далее дорабатывались сам аппарат, радиокomплекс, проводились различные наземные отработки.

Когда вы впервые создаете тот или иной прибор, вы не знаете, с какими ошибками и неудачами столкнетесь. Например, eROSITA на полтора года задержалась, поскольку на стадии испытания летного образца оказалось, что некоторые микросхемы работают иначе, чем ожидали инженеры. При отработке на Земле используются, как правило, микросхемы без радиационной защиты, и с ними все было хорошо. Однако оказалось, что те же самые микросхемы, но уже в радиационно стойком варианте функционировали на летном образце немного по-другому, что приводило в сбоям и ошибкам. Такие микросхемы не используют во время испытаний, поскольку они очень дорогостоящие. Именно поэтому немецким коллегам понадобилось много времени и дополнительное финансирование, чтобы выявить проблему и ее решить.

Мы столкнулись также с трудностями при создании зеркал, ведь до этого в России с рентгеновской металлооптикой никто не работал. Коллеги из Сарова сделали для проекта отличные зеркала отечественного производства, они были использованы для комплектации образца телескопа, на котором проходили все испытания. При сборке летного образца телескопа были использованы американские зеркала, которые делали в Центре космических полетов им. Джорджа Маршалла NASA параллельно с нашими. Тем не менее РФЯЦ в Сарове продолжает развивать эту тему, и я уверен, что в будущих проектах отечественная металлооптика будет востребована. Сейчас как раз разрабатываются зеркала для проекта «Гамма-400» и для инструментов, которые мы хотим установить на аппарат для создания упомянутой системы «АстроГЛОНАСС».

Сравнивая отечественный и зарубежный опыт, можно вспомнить о Космическом телескопе им. Джеймса Уэбба, который был задуман в середине 1990-х гг. с планируемой датой запуска в 2007 г. Надеемся, обсерватория будет запущена в этом



Изображение взаимодействующих скоплений галактик A3391 / A3395, полученное телескопом eROSITA. Красный цвет соответствует энергиям 0,3–0,75 кэВ, зеленый — 0,75–1,2 кэВ, синий — 1,2–2,3 кэВ. В центре поля A3391 — большое северное скопление, а A3395 и A3395s — два южных больших скопления. Источник: немецкий консорциум CDF/eROSITA.

году. Это яркий пример того, что даже в США с ее могучим технологическим заделом не всегда все реализуется в срок.

Меня удивляют люди, которые считают, что российский научно-технологический сектор сильно отстает, что мы ничего не можем и все делаем медленно и плохо. Да, есть проблемы — и мы их решаем, мы бы и рады ускориться, но очень много сил и времени уходит не на реализацию проекта, как говорится, «в железе», а на бессмысленную бумажную работу. Приходится согласовывать малейшие изменения в проектах, документах, технических заданиях с большим количеством людей. И подобных ситуаций много. Но, как я уже говорил, задержки с космическими проектами по тем или иным причинам происходят не только в России.

И все же мы продолжаем работать над новыми проектами и надеемся, что они будут реализованы. А если удастся уменьшить формально-бюрократическую нагрузку, то замечательные космические проекты, подобные «Спектру-РГ», будут появляться и запускаться в нашей стране гораздо чаще. ■

Беседовала Анастасия Пензина



АСТРОФИЗИКА

НОВАЯ КАРТА ВСЕЛЕННОЙ

Трехмерная карта, отображающая миллионы галактик на протяжении 11 млрд лет космической истории, помогает ответить на некоторые из важнейших вопросов космологии

Кайл Доусон и Уилл Персивал

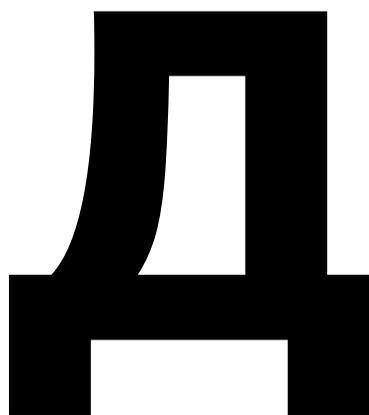


ОБ АВТОРАХ

Кайл Доусон (Kyle Dawson) — профессор физики и астрономии Университета Юты. Был научным руководителем программы «Расширенный спектроскопический каталог барионных осцилляций» (eBOSS), сейчас — один из представителей по связям с общественностью перспективного проекта DESI («Спектрограф для изучения темной энергии»).



Уилл Персивал (Will Percival) — руководитель Центра астрофизики Университета Уотерлу (провинция Онтарио, Канада) и член-корреспондент Института теоретической физики «Периметр». Был научным сотрудником программы создания каталога eBOSS, в настоящее время — главный научный координатор программы разработки космического телескопа для наблюдения в ближнем инфракрасном диапазоне «Евклид».



Дуглас Адамс в своей книге «Автостопом по Галактике» писал: «Космос огромен... Вы просто не поверите, как безмерно, исключительно, ошеломляюще он огромен». Мы и многие другие астрономы посвятили свою научную деятельность созданию карт Вселенной на максимально возможных масштабах — тому, чтобы открыть, насколько на самом деле велик космос и как он устроен.

Создаваемые нами карты имеют решающее значение для изучения физики, которая управляет эволюцией космоса. В июле 2020 г. в рамках продолжавшегося 20 лет проекта, над которым мы работали, под названием «Цифровой каталог звездного неба Слоуна» (*Sloan Digital Sky Survey, SDSS*) была составлена самая подробная карта космоса из когда-либо созданных. Она охватывает наше непосредственное окружение, самые дальние уголки Вселенной и все, что находится между ними. На этой трехмерной карте отмечено местоположение 4 млн галактик, как фонари разбросанных в пространстве, растянувшимся на многие миллиарды световых лет, и во времени начиная с самых ранних эпох существования Вселенной.

Карта показывает, что галактики не распределены в пространстве случайным образом. Наоборот, они группируются, образуя причудливую картину: длинные нити (филаменты) и двумерные листы галактик (стенки) в одних областях и почти не содержащие галактик темные пустоты (войды) — в других. Ученые считают, что эта картина возникла еще до того, как родились

галактики, менее чем через 1 млрд лет после Большого взрыва. Фиксируя на карте самые отдаленные эпохи космической истории, мы можем запечатлеть развитие этой картины и вывести фундаментальные законы, управлявшие их эволюцией. Новый атлас галактик дает нам важнейшую информацию, столь необходимую для понимания некоторых из самых больших загадок физики, таких как геометрия Вселенной и природа темной энергии — движущей силы ускоряющегося расширения пространства.

Ядра и оболочки

Проект «Цифровой каталог звездного неба Слоуна», для составления которого используется Телескоп Фонда Слоуна обсерватории «Апач-Пойнт» в Нью-Мексико, включал в себя проект «Расширенный спектроскопический каталог барионных осцилляций» (eBOSS) и его предшественника BOSS. В этой работе измерения базировались на картине распределения галактик в космосе, которая обуславливается барионными акустическими осцилляциями (БАО). Чтобы разобраться в этой картине,

мы должны рассмотреть эволюцию Вселенной в течение первых 300 тыс. лет, начиная с первой доли секунды после Большого взрыва. В то время Вселенная переживала период быстрого расширения, называемого инфляцией, при котором она росла настолько быстро, что субатомные масштабы увеличились до размеров мяча для гольфа за 10^{-32} с. Во время инфляции мельчайшие квантовые флуктуации в распределении энергии во Вселенной выросли до макроскопических размеров. Постепенно области с большей плотностью энергии притягивали все больше и больше материи, оставляя другие области пустыми. В течение следующих 13,7 млрд. лет эти плотные области сформировали филаменты, стенки, сверхскопления и скопления галактик, которые мы наблюдаем сегодня. Астрономы называют этот процесс формирования крупномасштабной структуры.

Картина барионных акустических осцилляций обусловлена характером взаимодействия излучения и материи и его влиянием на формирование крупномасштабной структуры. Вселенная содержит два типа материи: взаимодействующее с электромагнитным излучением обычное (или барионное) вещество, с которым мы привыкли иметь дело в нашей повседневной жизни, и не взаимодействующее, называемое темной материей. В горячей и плотной ранней Вселенной частицы обычной материи и электромагнитного излучения (фотоны) сталкивались друг с другом так часто, что, по существу, составляли единое целое (плазму), тогда как темная материя могла перемещаться сама по себе. Гравитация заставляла темную материю группироваться в центрах плотных областей, а давление света, пытающегося вырваться наружу, уносило барионную материю прочь.

Пути обычной материи и излучения разошлись примерно через 380 тыс. лет после Большого взрыва (так называемый момент рекомбинации), когда Вселенная расширилась и остыла настолько, что частицы образовали нейтральные атомы, а фотоны получили возможность распространяться свободно. Эту первую вспышку света все еще можно наблюдать в небе как космическое микроволновое фоновое (или реликтовое) излучение. Теперь, когда излучение и материя перестали быть привязанными друг к другу, избыток барионной материи сгруппировался в сферических оболочках вокруг областей с повышенной плотностью темной материи. Гравитация стягивала к этим

структурам как барионную, так и темную материю, но в результате этого процесса на материи Вселенной отпечатался узор в виде сверхплотных областей, окруженных сферическими оболочками. Образованная барионными акустическими осцилляциями (то есть волнами плотности вещества в эпоху, которая предшествовала эпохе рекомбинации) структура обладает характерным масштабом, равным размеру сопутствующего звукового горизонта, и видна на картах распределения галактик.

Мы можем использовать эту структуру в качестве так называемой стандартной линейки — удобный способ измерения космических расстояний. Из-за того, что все эти «узоры» образовались почти одновременно

Поскольку свету далеких галактик требуется много времени, чтобы достичь телескопа, эти карты показывают нам 11 млрд лет космологического времени, охватывая большую часть истории Вселенной

и одинаковым образом, плотные области и оболочки имеют примерно одинаковый характерный размер — каждое такое «ядро» от его оболочки отделяют примерно 500 млн световых лет. Но когда мы видим эти структуры на наших картах, они кажутся меньше или больше в зависимости от того, как далеко они от нас расположены. Поэтому если измерить их видимый размер на ночном небе и сравнить его с известным нам характерным размером, то можно определить расстояние до них.

Распространение света

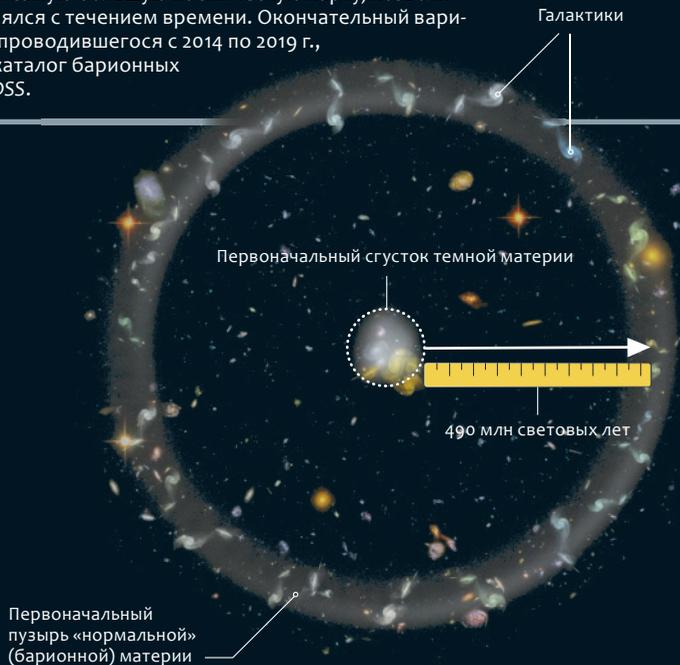
Подобные вычисления расстояний с помощью стандартных линейек позволяют нам измерить среднее расстояние до ряда галактик, но сами по себе они не несут космологической информации. Для полноты картины нам нужна дополнительная информация о скорости, с которой галактики удаляются от нас. Каталог Слоуна содержит все данные, чтобы предоставить эту информацию. Помимо получения подробных изображений одной трети неба, целью программы SDSS было спектроскопическое исследование — определение

Насколько быстро расширяется Вселенная?

Темная энергия — загадочная сила, заставляющая Вселенную расширяться все быстрее и быстрее. Чтобы понять темную энергию, астрономы, в течение двух десятилетий работавшие над проектом «Цифровой каталог звездного неба Слоуна», создали самую большую космическую карту, позволяющую увидеть, как темп расширения Вселенной менялся с течением времени. Окончательный вариант карты был подготовлен в рамках исследования, проводившегося с 2014 по 2019 г., под названием «Расширенный спектроскопический каталог барionных осцилляций» (eBOSS), бывшего частью программы SDSS.

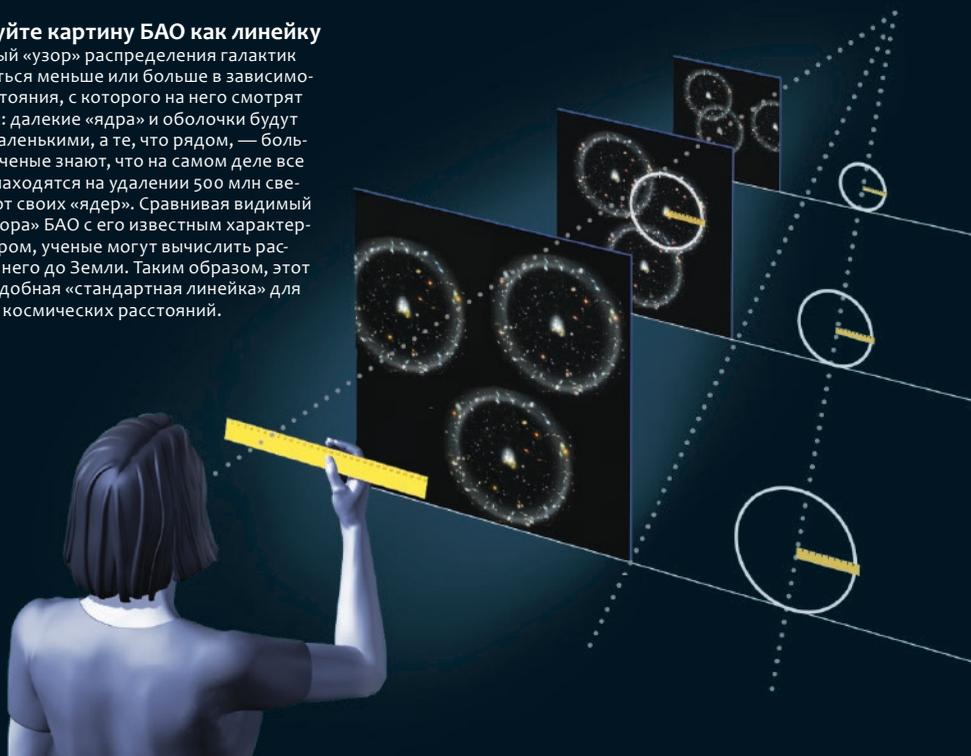
1 Начните со структуры во Вселенной

Целью каталога eBOSS было изучение структуры распределения галактик во Вселенной, обусловленной барионными акустическими осцилляциями (BAO). Этот след образовался в результате мельчайших флуктуаций энергии в пространстве-времени сразу после Большого взрыва. В силу особенностей взаимодействия излучения и материи в ранней Вселенной эти колебания заставляли темную материю формировать сгустки, окруженные сферами обычной материи и излучения, отстоящими от этих сгустков примерно на 500 млн световых лет. Со временем гравитация притягивала оба типа материи к сгусткам темной материи, а также к сферам обычной материи, что привело к относительно равномерному распределению темной и нормальной материи по всей Вселенной. В конце концов галактики сформировались везде, где была материя, в силу этого структура плотных областей и их оболочек сегодня все еще заметна в распределении галактик.



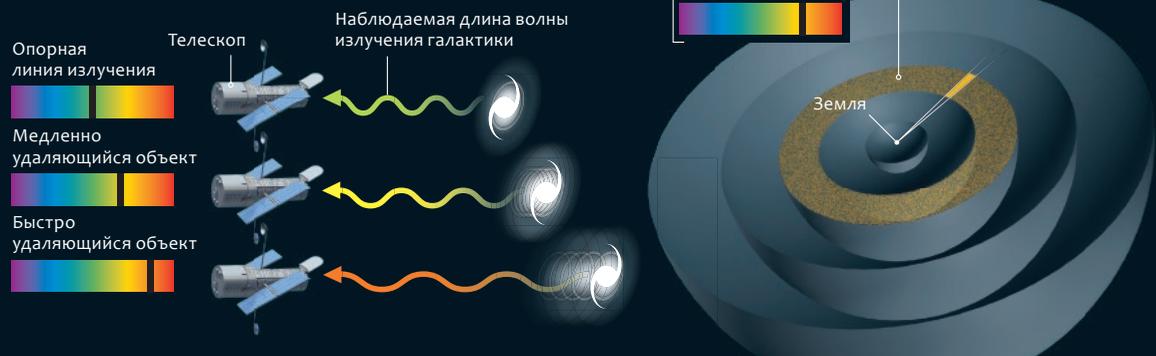
2 Используйте картину BAO как линейку

Характерный «узор» распределения галактик будет казаться меньше или больше в зависимости от расстояния, с которого на него смотрят астрономы: далекие «ядра» и оболочки будут казаться маленькими, а те, что рядом, — большими. Но ученые знают, что на самом деле все оболочки находятся на удалении 500 млн световых лет от своих «ядер». Сравнивая видимый размер «узора» BAO с его известным характерным размером, ученые могут вычислить расстояние от него до Земли. Таким образом, этот «след» — удобная «стандартная линейка» для измерения космических расстояний.



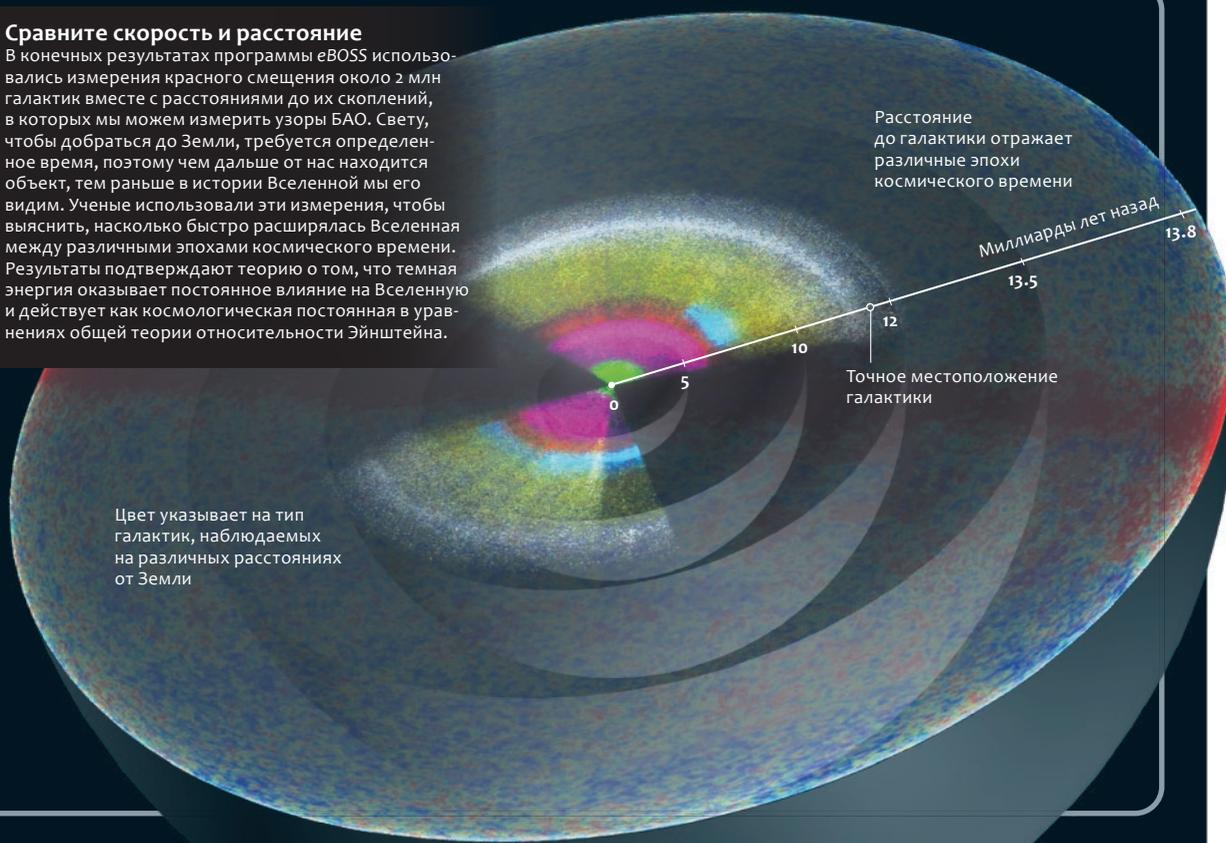
3 Измерьте скорости

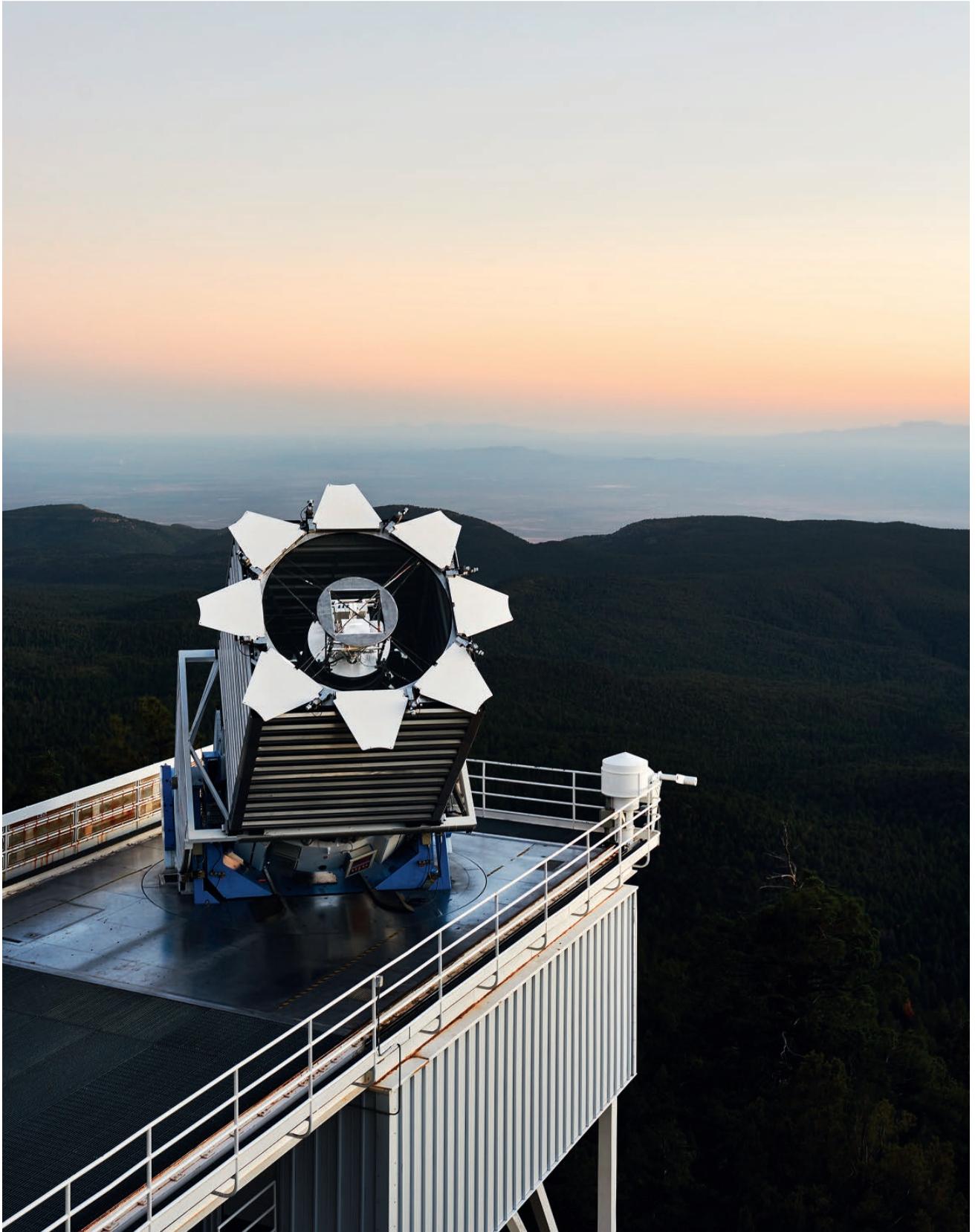
Следующий шаг к пониманию темной энергии — измерить, насколько быстро удаляются от нас галактики, образующие узоры БАО. Поскольку Вселенная расширяется, кажется, что все вокруг от нас удаляется. Это движение заставляет объекты казаться тем краснее, чем больше скорость их разлета, — явление, обусловленное эффектом Доплера. Астрономы могут измерить «красное смещение» галактики — величину, на которую спектр ее излучения сместился в красную сторону, — чтобы определить скорость, с которой она от нас удаляется.



4 Сравните скорость и расстояние

В конечных результатах программы eBOSS использовались измерения красного смещения около 2 млн галактик вместе с расстояниями до их скоплений, в которых мы можем измерить узоры БАО. Свету, чтобы добраться до Земли, требуется определенное время, поэтому чем дальше от нас находится объект, тем раньше в истории Вселенной мы его видим. Ученые использовали эти измерения, чтобы выяснить, насколько быстро расширялась Вселенная между различными эпохами космического времени. Результаты подтверждают теорию о том, что темная энергия оказывает постоянное влияние на Вселенную и действует как космологическая постоянная в уравнениях общей теории относительности Эйнштейна.





В 2000 г. 2,5-метровый телескоп Фонда Слоуна в штате Нью-Мексико дал старт продолжавшейся два десятилетия программе картографирования «Цифровой каталог звездного неба Слоуна»

длин волн излучения, исходящего от объекта, — 2 млн галактик и квазаров (галактик, в которых преобладает излучение вещества, падающего на центральную сверхмассивную черную дыру). Эти спектроскопические изменения показывают, насколько быстро галактики удаляются от нас, что зависит от того, насколько расширилась Вселенная с момента испускания света до момента его наблюдения. Поскольку в результате расширения длина волны увеличивается, излучение становится «более красным» — явление, называемое красным смещением.

При каждом наблюдении в рамках программ BOSS и eBOSS одновременно фиксировались спектры излучения 1 тыс. объектов, для каждого из них использовался отдельный оптоволоконный кабель. Один конец каждого кабеля укреплялся на алюминиевой пластине, расположенной в фокальной плоскости телескопа. Перед одним из ночных наблюдений несколько групп исследователей подготовили восемь таких пластин в специально для этой цели изготовленных картриджах, вставив вручную волокно в каждое из 1 тыс. отверстий. Чтобы подключить одну пластину, двум техникам требовалось около получаса. Самым продуктивным месяцем в истории работы над «Цифровым каталогом звездного неба Слоуна» был март 2012 г., когда с помощью этих пластин мы зарегистрировали 103 тыс. спектров.

Мы выбрали целевые галактики на основе данных из изображений, ранее полученных телескопами по всему миру. Техники в Вашингтонском университете с помощью станка с компьютерным управлением просверлили отверстия в алюминиевых пластинах таким образом, чтобы, когда телескоп направлен на соответствующий участок неба для его часовой экспозиции, конец волокна внутри каждого отверстия идеально совпал с изображением центра одной из целевых галактик или квазара.

Каждую ночь с декабря 2009 по март 2019 г., когда Луна была не слишком яркой, телескоп отслеживал один из участков неба, а волокна передавали свет, падающий на фокальную плоскость, на два спектрографа. Современные детекторные камеры в цифровом виде измеряли интенсивность света как функцию длины волны. Используя эти данные, мы могли вычислить красное смещение каждой галактики.

В течение почти десяти лет, когда в рамках программы eBOSS и ее предшественника BOSS велся сбор данных, мы измерили

местоположение и красное смещение более 4 млн галактик. Поскольку свету далеких галактик требуется много времени, чтобы достичь телескопа, эти карты показывают нам 11 млрд лет космологического времени, охватывая большую часть истории Вселенной.

Изучение темной энергии

Объединив данные наших измерений красного смещения с оценками расстояния по стандартной линейке БАО, мы смогли выявить связь между расстоянием и красным смещением — другими словами, насколько Вселенная расширилась и «растянула» световую волну в зависимости от пройденного светом расстояния. Эта информация показывает, как темп расширения пространства изменился за минувшие 11 млрд лет, позволяя нам глубже проникнуть в сущность одной из самых больших загадок современной физики: темной энергии.

Чтобы объяснить наблюдаемое несоответствие, нам, возможно, потребуется ввести новый вид частицы, поля или взаимодействия

Темная энергия — таинственная сила, которая, по всей видимости, ускоряет расширение Вселенной, — поразительное явление, обнаруженное в 1998 г. Простейшая математическая модель темной энергии — так называемая космологическая постоянная, Λ , член в уравнениях поля общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна, который описывает энергию пустого пространства. Эта энергия может действовать как сила отталкивания, противостоящая силе гравитационного притяжения и ускоряющая расширение Вселенной. За последние 20 лет эта космологическая модель, получившая название «Лямбда-CDM» («Лямбда-член + холодная темная материя», Λ CDM), прошла множество проверок, и, хотя мы не до конца понимаем ее, это наша лучшая модель.

Тем не менее у модели «Лямбда-CDM» есть проблемы. Три недавних наблюдения показывают признаки несоответствия модели и действительности. Во-первых, изменения темпа локального расширения пространства не совпадают с предсказаниями модели «Лямбда-CDM», основанными на наблюдениях за областями далекой Вселенной. Во-вторых, наблюдения реликтового

излучения дают основания предположить, что, возможно, пространство искривлено чуть сильнее, чем предсказывает теория инфляции. Наконец, искривление траекторий излучения далеких галактик из-за взаимодействия с веществом оказалось более слабым, чем ожидалось согласно модели «Лямбда- CDM ». Время покажет, представляют ли собой эти противоречия первый признак необходимости построения новой космологической модели или же просто отражают проблемы с измерениями. В любом случае данные наблюдений, полученные в ходе программы *eBOSS*, указывают нам правильное направление.

Например, они показывают, что, когда Вселенная достигла 60% от своего нынешнего размера, произошел переход: темп расширения пространства перестал замедляться и начал расти. Эти результаты согласуются с моделью «Лямбда- CDM », которая предполагает, что в этот момент темная энергия победила гравитацию материи, — благодаря влиянию последней расширение до этого момента происходило по инерции.

Другой важнейший параметр космологической модели — кривизна пространства. Теория инфляции предсказывает Вселенную, геометрия которой очень близка к плоской. Однако некоторые более ранние исследования космического фона дают основания предполагать, что пространство слегка искривлено. С помощью карт *eBOSS* мы смогли повысить точность измерений геометрии пространства в десять раз по сравнению с результатами предыдущих наблюдений. Мы не нашли никаких доказательств того, что Вселенная искривлена, что подкрепляет стандартную картину инфляции.

Мы также смогли подвергнуть проверке космологические модели, посмотрев, как быстро формируются структуры — скопления галактик и филаменты. Красные смещения, которые мы измерили в ходе нашей работы, отражают скорость галактик относительно нас, наблюдателей, но не причину этого движения. Основную часть вклада в красное смещение вносит космологическое расширение — тот факт, что все объекты в космосе удаляются друг от друга, — но частично оно вызвано ростом структуры. Когда галактики стягиваются в скопления, увеличивая пустоты, их скорости, а следовательно и красное смещение, изменяются.

Влияние роста структуры на скорости, называемое искажениями пространства красного смещения, проявляется, когда мы

сравниваем картину, наблюдаемую, когда луч зрения лежит в плоскости галактики, с картиной, когда галактика расположена перпендикулярно ему. Величина искажений пространства красного смещения говорит нам о скорости роста структуры. Используя данные программы *eBOSS* и предшествующих ей, мы рассчитали эту скорость с точностью около 3,5%. Наш результат соответствует предсказанному ОТО, что важно, поскольку несколько предыдущих измерений с использованием других методов дают величины примерно на 10% ниже.

В целом наши измерения подтверждают, что нет никаких свидетельств в пользу того, что Стандартная космологическая модель с космологической постоянной Λ неверна. Мы не заметили никаких сюрпризов в вопросах, касающихся роста структур, природы темной энергии или геометрии пространства. Однако мы видим то же несоответствие, о котором уже упоминали, между скоростью расширения пространства, рассчитанной на основе данных из локальной Вселенной (*локальная Вселенная — область радиусом 300 Мпк вокруг земного наблюдателя. — Примеч. пер.*), и данными реликтового излучения. Расчеты, основанные на реликтовом излучении, например, показывают темп расширения (параметр Хаббла) $67,28 \pm 0,61$ км/с на мегапарсек (единицу расстояния в космосе), тогда как локальные измерения сверхновых дают значения на 10% выше. Используя наши измерения БАО, мы оцениваем темп расширения примерно 67 км/с на мегапарсек — и когда мы объединяем полученные нами величины с данными реликтового излучения, и когда мы этого не делаем. Разница между этой величиной и параметром Хаббла, значение которого астрономы получают, когда смотрят только на ближайшее окружение, становится достаточной, чтобы поставить под сомнение основные положения нашей космологической модели. Возможно, проблема с одним или несколькими измеренными параметрами, используемыми в этих расчетах, все еще существует, но с по крайней мере равной вероятностью нам необходимо пересмотреть модель раннего расширения Вселенной и расширяющегося одновременно с ней звукового горизонта. Чтобы объяснить наблюдаемое несоответствие (так называемая проблема несоответствия величины параметра Хаббла), возможно, нам потребуется ввести новый вид частицы, поля или взаимодействия.

Больше и лучше

В последние 20 лет телескоп и спектрографы проекта SDSS стали мировыми лидерами в изучении красного смещения галактик, кульминацией которого оказалась программа eBOSS. Работа над каталогом Слоуна будет продолжена с использованием новых карт звезд и квазаров, и наш успех вдохновил астрономов на планирование еще более обширных каталогов галактик, которые охватят более широкий диапазон космической истории. Один из таких проектов, научная работа в рамках которого уже началась, называется DESI («Спектроскоп темной энергии»). В этом исследовании для построения более глубокой с большим разрешением цифровой карты Вселенной будет использоваться мультиобъектный спектрограф с 5 тыс. оптических волокон на Телескопе им. Николаса Мейола Национальной обсерватории Китт-Пик в Аризоне. Новый спектрограф способен одновременно наблюдать 5 тыс. объектов и расположен на телескопе, диаметр главного зеркала у которого примерно в два раза больше, чем у телескопа проекта SDSS. Вместо того чтобы

полагаться на людей, каждое из 5 тыс. волокон будет размещаться в нужном месте специальным роботом. Через пять лет работы DESI цифровой каталог галактик более чем в десять раз превзойдет каталог Слоуна.

Космический телескоп «Евклид» Европейского космического агентства, запуск которого намечен на 2022 г., также проведет изучение красного смещения большого числа галактик. Используя преимущество расположения в космосе, позволяющее избежать размытия изображения, вносимого атмосферой Земли, «Евклид» будет вглядываться в объекты с большим красным смещением, то есть расположенные от нас на больших расстояниях, чем можно отчетливо разглядеть с Земли. Он измерит красное смещение примерно 25 млн галактик. Помимо DESI и «Евклида», вынашиваются планы создания более крупных мультиобъектных спектрографов на огромных телескопах десятиметрового класса, что должно позволить совершить значительный прорыв в нашем понимании Вселенной. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Глазами геолога: как рождалась Земля – от газопылевого «зародыша» до «живой» планеты

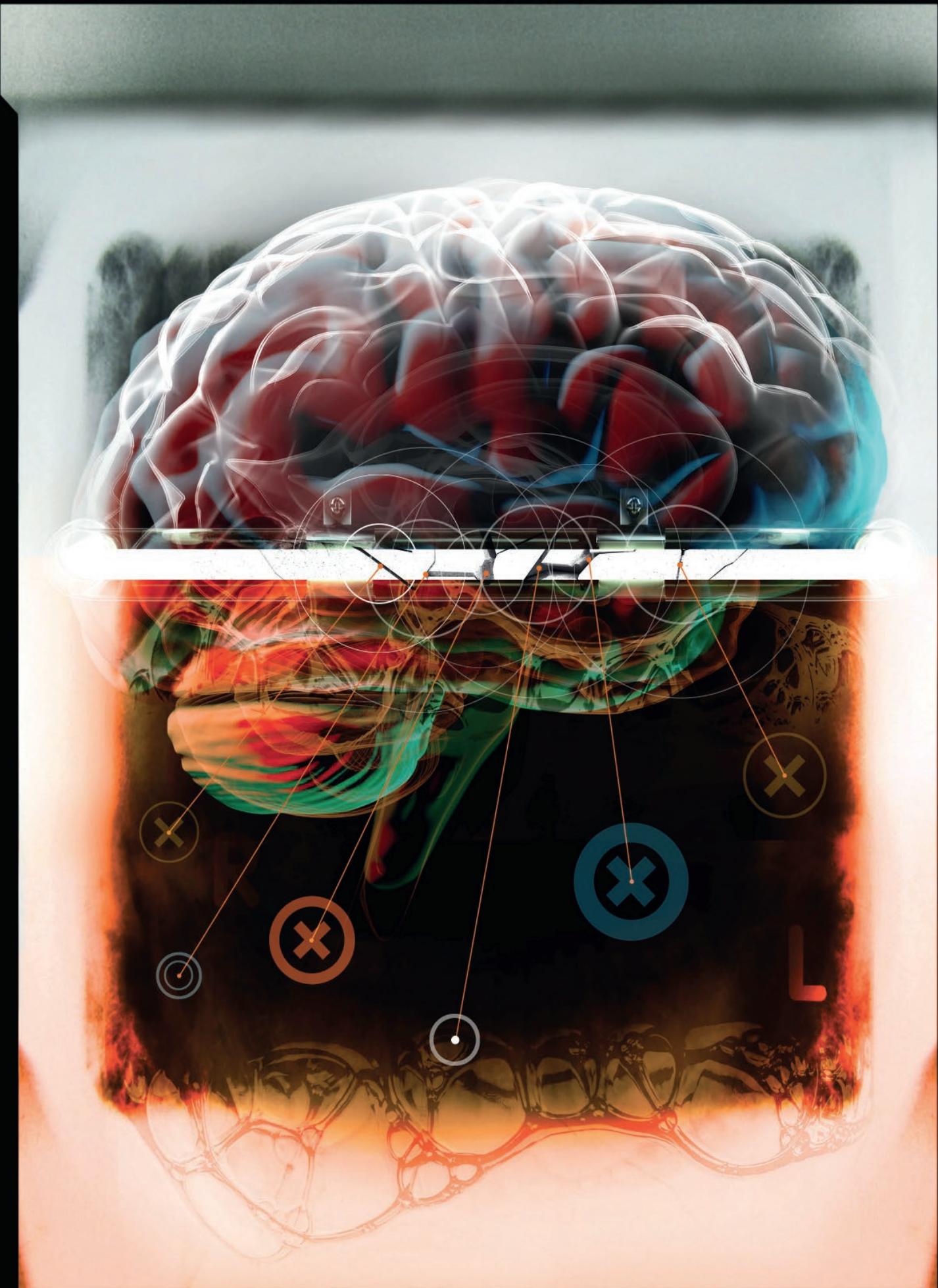
Офиолиты, реликты древней океанической коры, подсказывают, где находятся крупные месторождения золота и серебра

С помощью методов сейсмической томографии ученые научились предсказывать «взрывные» извержения вулканов

В многоэтничном обществе древних пазырыкцев людей оценивали не по расовым признакам, а по личным качествам

Специфические вещества слюны кровососущих иксодовых клещей могут стать основой новых лекарств, включая хирургический клей и антикоагулянты

www.scfh.ru



НЕЙРОНАУКИ

ПРОХИ ВЩИТЕ

Когда защитный фильтр под названием «гематоэнцефалический барьер» дает течь, это может привести к болезни Альцгеймера и другим формам деменции. Если его восстановить, мозг старых животных обретает молодой и здоровый вид

Даниэла Кауфер и Алон Фридман

ОБ АВТОРАХ

Даниэла Кауфер (Daniela Kaufer) — профессор кафедры интегративной биологии и исследователь в Институте нейробиологии им. Хелен Уиллс, заместитель декана по биологическим наукам в Калифорнийском университете в Беркли.

Алон Фридман (Alon Friedman) — профессор кафедры медицинской нейробиологии и кафедры исследования эпилепсии им. Уильяма Денниса в Университете Далхаузи в Канаде, профессор кафедры когнитивных наук и наук о мозге и кафедры нейробиологии им. доктора Хелены Рахмантской-Путцман в Университете им. Бен-Гуриона в Негеве в Израиле.



Тлубокой ночью в Иерусалиме мы наблюдали за плавающими мышами. Шел 1994 г., и мы вдвоем склонились над бассейном с холодной водой в лаборатории Еврейского университета. В комнате было прохладно, наши сгорбленные спины болели, мы повторяли эту процедуру на протяжении многих ночей, поэтому уже устали и чувствовали себя некомфортно. Мыши, впрочем, тоже. Мыши очень не любят плавать, особенно в холодной воде, но нам нужно было создать им условия для стресса.

Мы работали по ночам, потому что днем у нас обоих были другие дела: Кауфер готовила диссертацию по молекулярной нейробиологии, а Фридман был врачом в Армии обороны Израиля и часто отлучался на вызовы. Наша ежевечерняя встреча с мышами была попыткой разгадать медицинскую загадку — синдром войны в Персидском заливе. После окончания конфликта в 1991 г. начали поступать сообщения, что солдаты из возглавляемой США коалиции страдают от хронической усталости, мышечных болей, проблем со сном и когнитивных нарушений. Этим солдат госпитализировали чаще, чем военнослужащих, не попавших в зону боевых действий. Некоторые врачи предположили, что вещество пиридоистигмин, которое давали солдатам, чтобы защитить их от химического оружия, может вызывать такие нарушения, если попадает в мозг.

Однако в данной версии был большой пробел: пиридоистигмин не должен попадать из кровотока в мозг. Кровеносные сосуды, проходящие через этот важнейший орган, окружены стенками из специальных клеток, расположенных очень плотно и контролирующими транспорт веществ. Они образуют щит, который обеспечивает безопасность, не пропуская из сосудов токсины, патогены бактерий и большинство лекарств. Эта

структура называется «гематоэнцефалический барьер» (ГЭБ), и препарат не должен был проникать через него.

Но, может быть, барьер был поврежден? Мы заинтересовались, могло ли физическое и психическое напряжение из-за участия в военных действиях каким-то образом пробить брешь в щите. Мы использовали плавающих мышей, чтобы проверить, вызывает ли стресс подобные повреждения. После того как сеанс плавания заканчивался, мы доставали каждую мышку из бассейна и вводили ей каплю синего красителя в одну из вен. Затем мы ждали, пока краситель распространится по организму, постепенно окрашивая мышку в синий цвет. Если ГЭБ был цел, мозг должен был остаться нормального бело-розоватого цвета. Затем мы подвергали грызунов эвтаназии, чтобы взглянуть на их мозг через микроскоп. На протяжении нескольких ночей мы пробовали разную продолжительность плавания, но не видели никаких изменений.

Однако в эту ночь, после двух погружений в нечто более холодную воду, все выглядело иначе: мозги имели выраженный синий оттенок! Работа в лаборатории зачастую утомительна, а результат нередко бывает малозаметен, но на этот раз мы прыгали и обнимались, вне себя от волнения. Наш

странный эксперимент удался. Стрессовые ситуации могут приводить к протечкам сквозь ГЭБ. Потом вместе с нашим руководителем, нейробиологом Хермоной Сорек (Hermona Soreq), мы показали, что из-за таких изменений пиридостигмин может проходить внутрь и влиять на работу клеток мозга. В 1996 г. мы опубликовали наши результаты в *Nature Medicine*, а в 1998 г. в *Nature*.

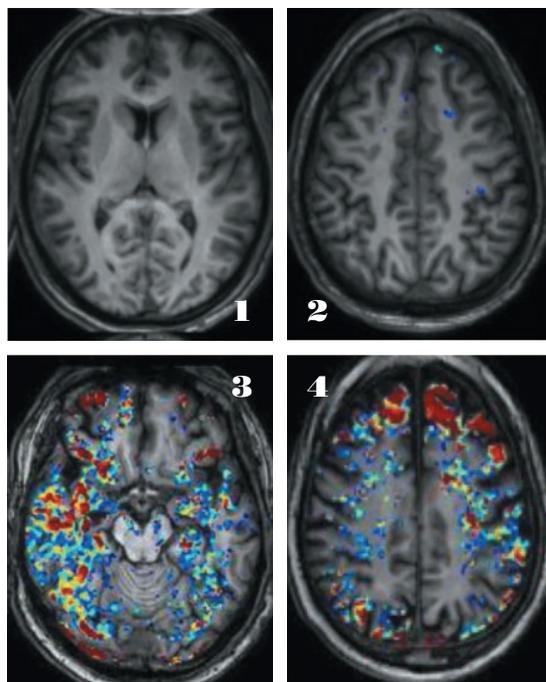
Четверть века спустя мы можем сказать, что вид этих голубых мозгов оказался поворотным моментом для нашей карьеры, началом дружбы на всю жизнь и научного сотрудничества. Выявление просочившейся синей краски было первым шагом на пути, по которому мы на протяжении многих лет шли все дальше и дальше, исследуя связи между другими заболеваниями мозга и дефектами в гематоэнцефалическом барьере. Сегодня проникновение пиридостигмина в мозг считается важным объяснением синдрома войны в Персидском заливе, но есть и другие. В наших исследованиях была установлена связь повреждения ГЭБ, которое, помимо стресса, может вызываться старением или травмой, с некоторыми более известными заболеваниями: болезнью Альцгеймера и другими деменциями, эпилепсией и травматическими повреждениями мозга. В двух статьях, опубликованных в 2019 г. в *Science Translational Medicine*, мы показали, что, когда люди стареют, этот барьер теряет целостность и происходят протечки, так что в мозг из крови попадают белки, которые в норме туда не проникают. Эти белки в свою очередь запускают в клетках мозга каскад событий, приводящих к самым заметным и распространенным изменениям, связанным со старением и заболеваниями: воспалению, аномальной нейронной активности и когнитивным нарушениям.

В пользу такой причинно-следственной связи свидетельствует и то, что прекращение реакций, вызванных проницаемостью ГЭБ, фактически останавливает заболевание, по крайней мере у грызунов. У старых мышей мы можем прекратить вызванные воспалением когнитивные нарушения

с помощью препарата направленного действия, который защищает клетки мозга от раздражения белками крови, или с помощью генетической модификации, которая предотвратит выделение этими клетками воспалительных молекул. Через несколько дней лечения мозг старых мышей начинал работать так, как будто он был молодым. Аномальная электрическая активность затухала. Количество маркеров воспаления уменьшалось до низкого уровня. Когда животных помещали в лабиринты, они передвигались по ним так же быстро и безошибочно, как и молодые мыши. Мы не можем попробовать так же модифицировать мозг людям, это неэтично.

Но с помощью методов визуализации мы смогли сравнить мозг людей с болезнью Альцгеймера и здоровых. У больных людей на полученных изображениях видна чрезмерная и прогрессирующая протечка через ГЭБ и другие признаки каскада реакций, связанных с заболеванием.

Мы пока не знаем, действительно ли именно из-за повреждения ГЭБ развивается болезнь Альцгеймера и другие заболевания. Подобное повреждение может вносить свой вклад наряду с другими причинами, в том числе генетическими, могут влиять и различные клеточные проблемы, наблюдаемые в стареющем мозге. Или повреждение может быть уже последствием. Эксперименты на мышах зачастую не дают ответа о том, как это происходит у людей. Однако давно устоявшаяся теория, что болезнь Альцгеймера возникает из-за накопления в мозге белка бета-амилоида, выглядит малоубедительной. В многочисленных экспериментах удавалось снизить содержание этого белка в мозге, но болезнь и связанное с ней расстройство мышления при этом сохранялись. Лекарства, нацеленные на бета-амилоид, не помогают. Учитывая, что, по данным Всемирной организации здравоохранения, сейчас в мире насчитывается 50 млн человек с деменцией и еще 10 млн случаев диагностируется ежегодно, многие ученые считают, что пора рассмотреть альтернативные объяснения. Если прорехи в защищающем мозг щите запускают цепь событий, приводящих



Стареющий барьер. Сканирование мозга, показывающее введенные в кровь меченые молекулы, демонстрирует, что с возрастом ГЭБ дает больше протечек. Мозг 30-летних людей выглядит чистым (1). В 42 года видны синие точки, свидетельствующие о небольших протечках (2). Красные и желтые пятна в 65 лет означают наличие интенсивных потоков (3). В 76 лет эта тенденция сохраняется (4).

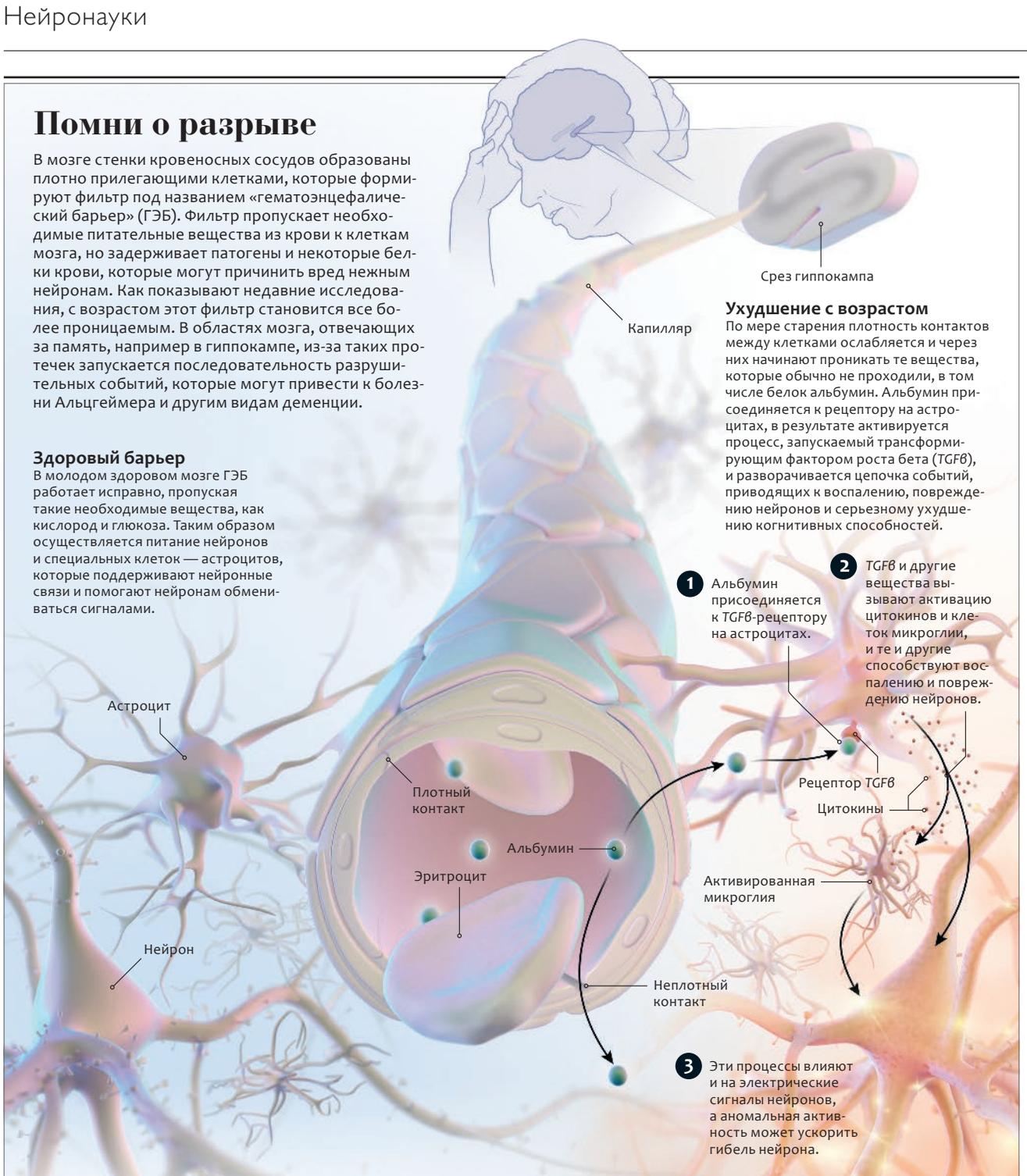
лоида, выглядит малоубедительной. В многочисленных экспериментах удавалось снизить содержание этого белка в мозге, но болезнь и связанное с ней расстройство мышления при этом сохранялись. Лекарства, нацеленные на бета-амилоид, не помогают. Учитывая, что, по данным Всемирной организации здравоохранения, сейчас в мире насчитывается 50 млн человек с деменцией и еще 10 млн случаев диагностируется ежегодно, многие ученые считают, что пора рассмотреть альтернативные объяснения. Если прорехи в защищающем мозг щите запускают цепь событий, приводящих

Помни о разрыве

В мозге стенки кровеносных сосудов образованы плотно прилегающими клетками, которые формируют фильтр под названием «гематоэнцефалический барьер» (ГЭБ). Фильтр пропускает необходимые питательные вещества из крови к клеткам мозга, но задерживает патогены и некоторые белки крови, которые могут причинить вред нежным нейронам. Как показывают недавние исследования, с возрастом этот фильтр становится все более проницаемым. В областях мозга, отвечающих за память, например в гиппокампе, из-за таких протечек запускается последовательность разрушительных событий, которые могут привести к болезни Альцгеймера и другим видам деменции.

Здоровый барьер

В молодом здоровом мозге ГЭБ работает исправно, пропуская такие необходимые вещества, как кислород и глюкоза. Таким образом осуществляется питание нейронов и специальных клеток — астроцитов, которые поддерживают нейронные связи и помогают нейронам обмениваться сигналами.



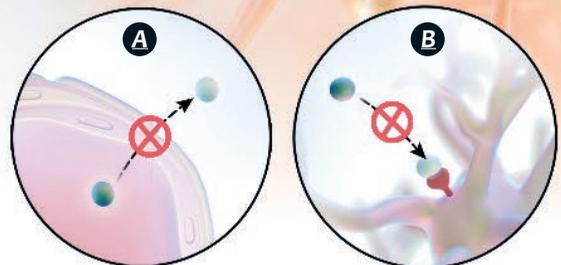
Ухудшение с возрастом

По мере старения плотность контактов между клетками ослабляется и через них начинают проникать те вещества, которые обычно не проходили, в том числе белок альбумин. Альбумин присоединяется к рецептору на астроцитах, в результате активируется процесс, запускаемый трансформирующим фактором роста бета (TGFβ), и разворачивается цепочка событий, приводящих к воспалению, повреждению нейронов и серьезному ухудшению когнитивных способностей.

- 1 Альбумин присоединяется к TGFβ-рецептору на астроцитах.
- 2 TGFβ и другие вещества вызывают активацию цитокинов и клеток микроглии, и те и другие способствуют воспалению и повреждению нейронов.
- 3 Эти процессы влияют и на электрические сигналы нейронов, а аномальная активность может ускорить гибель нейрона.

Затыкание протечек

Поскольку проникающий через барьер альбумин, вероятно, запускает последовательность событий, заканчивающуюся заболеванием, ученые хотели бы оборвать этот каскад. Одним из подходов могло бы стать затыкание пробоев в барьере, но исследователи пока не нашли, как это можно сделать **A**. Ученым удалось оборвать последовательность позже, когда альбумин контактирует с астроцитами. У мышей экспериментальный препарат IPW блокирует TGFβ-рецепторы на этих клетках, так что альбумин не может к ним присоединиться **B**. Кроме того, исследователи получили генетически модифицированных мышей, у которых эти рецепторы не образуются на астроцитах. Оба подхода позволили старому, поврежденному мышинному мозгу вновь выглядеть молодо.



к заболеванию, и, как показывают эксперименты, эту цепь можно заблокировать, восстановив таким образом здоровье мозга, то данное направление исследований надо развивать.

Повреждения стены

Слово «барьер» в названии ГЭБ ассоциируется со стеной вокруг мозга, но на самом деле он больше похож на распределенный фильтр. Центр управления нашим телом получает 15–20% насыщенней кислородом крови, поступающей от сердца, по сложной сети кровеносных сосудов. Эти сосуды выглядят не так, как в других частях тела, их стенки состоят из плотно прижатых друг к другу клеток со специальными молекулярными транспортными системами, образующими полупроницаемый фильтр. Клеткам мозга для работы нужны тщательно контролируемые условия, и этот фильтр пропускает некоторые молекулы, например кислород и глюкозу, но не позволяет проходить белкам крови, определенным ионам, клеткам иммунной системы и патогенам. Такая защитная сеть охватывает большинство областей мозга — от наружных слоев коры, отвечающих за высшие когнитивные функции, до структур в глубине, таких как гиппокамп, сохраняющий воспоминания. Поэтому нарушения работы этого фильтра могут привести к различным неврологическим проблемам.

Еще в 1990-х гг., когда мы заканчивали нашу первоначальную работу над синдромом войны в Персидском заливе, мы знали, что другие исследователи отмечали повреждение ГЭБ при некоторых расстройствах головного мозга, в том числе при болезни Альцгеймера. Но мы не знали, была ли эта проблема причиной или следствием, не знали, как возникают протечки и каким образом они могут менять работу мозга. Однако мы хотели это выяснить.

После нашей совместной работы в Иерусалиме Кауфер отправилась в аспирантуру в Стэнфордский университет, где стала подробнее углубляться в тему влияния стресса на мышечный мозг. Фридман продолжил медицинское обучение в Израиле, специализируясь на нейрохирургии. Он подтвердил ранние наблюдения других исследователей, заметивших повреждение ГЭБ у многих пациентов с самыми разными неврологическими заболеваниями. Но на что именно влияло повреждение барьера?

Мы начали искать ответ на этот вопрос в середине 2000-х гг., когда нам представилась возможность поработать в Берлине с покойным ныне нейробиологом Уве Хайнеманном (Uwe Heinemann) в Институте нейрофизиологии, входящем в состав университетского медицинского комплекса «Шарите». В лаборатории Хайнеманна мы провели наш следующий ключевой эксперимент. Мы

хотели наблюдать за работой мозга непосредственно после того, как нарушалась работа ГЭБ, поэтому давали крысам вещество, которое, по сути, продырявливало барьер, а затем препарировали их мозг. Мы поддерживали срезы мозга живыми в питательной жидкости и с помощью электрода регистрировали электрические сигналы, которыми обменивались клетки.

Первые несколько дней были скучными. Нейроны посылали сигналы один за другим, в отрывистом, нерегулярном ритме, «разговаривая» так, как будто ничего необычного не произошло. Мы почти были готовы сдаться. Затем, на пятый день, клетки заговорили иначе. Все больше и больше нейронов начинали генерировать импульсы синхронно. Через неделю мы легонько простимулировали их электродом, имитируя короткий электрический сигнал в коре мозга. Такая стимуляция вызвала взрыв синхронной электрической активности, подобный тому, что наблюдается у людей и животных при эпилепсии.

Когда мы разрушили ГЭБ, нейроны в мозге не были сбиты с толку сразу, но после того как они в течение недели формировали новую сеть связей, небольшое воздействие вызвало чрезвычайно бурный электрический ответ. Мы называем такую активность пароксизмальными медленноволновыми событиями, она похожа на то, что другие ученые наблюдают в мозге людей с болезнью Альцгеймера и эпилепсией.

Такая бурная активность отмечалась, только когда мы имитировали протечку через ГЭБ. Без этого на срезах мозга никаких электрических бурь не возникало. Поэтому мы предположили, что в крови есть что-то, что при попадании к нейронам вызывает такую реакцию мозга. Мы проверили теорию на молодых здоровых крысах с нормальным ГЭБ, введя им кровь непосредственно в мозг, минуя барьер, и проследили за электрической активностью. Прошло несколько дней, и вновь мы наблюдали, как вспыхнула бурная активность. Очевидно, она была каким-то образом связана с кровью. Но у крови сложный состав, она содержит много разных белков и клеток, поэтому мы начали кропотливую охоту с фильтрами и ловушками, чтобы выделить виновника. В итоге мы обнаружили, какой белок крови вызывает нарушения: это был альбумин.

С чего начинаются проблемы

Мы не обрадовались такой находке. Альбумин широко распространен и задействован во многих функциях организма, поэтому было сложно выяснить, что именно он делает в этой ситуации. Кауфер перебралась в Калифорнийский университет в Беркли, чтобы возглавить свою собственную лабораторию, а Фридман работал сначала в Университете им. Бен-Гуриона в Негеве, а затем

в Университете Далхаузи в провинции Новая Шотландия в Канаде. В течение нескольких лет мы совместно планировали серии экспериментов, чтобы описать, что происходит после того, как повреждается ГЭБ и альбумин проникает в мозг, вызывая неврологические расстройства.

Сначала мы выяснили, что при попадании в мозг альбумин, по-видимому, стимулирует астроциты — клетки мозга, обеспечивающие структурную и химическую поддержку нейронов и их связей. Контактная с астроцитом, альбумин связывается с рецепторами, к которым обычно присоединяется трансформирующий фактор роста бета ($TGF\beta$). Помимо прочего, $TGF\beta$ запускает воспаление, активируя астроциты и микроглию, выполняющую защитную функцию. Обычно с помощью локализованной воспалительной реакции мозг ограни-

На основе теории о повреждении гематоэнцефалического барьера строится удивительно простая и понятная модель, объясняющая, почему работа мозга ухудшается с возрастом

чивает повреждение, целенаправленно разрушая неисправные клетки. Но если альбумин продолжает просачиваться внутрь, происходит гиперстимуляция астроцитов и микроглии и высвобождается слишком много вредных веществ, в том числе избыточное количество $TGF\beta$. Многие клетки мозга повреждаются, и важные нервные связи изменяются или ослабляются, так что их функциональность ухудшается. Такие же разрушительные процессы врачи часто видят у пациентов после черепно-мозговых травм.

Наблюдая за мышами, мы выяснили, что та же последовательность событий происходит и в стареющем мозге. В среднем мыши живут обычно чуть больше двух лет. Мы позволили колонии животных мирно стареть и заглянули в их мозги в различные моменты времени. Мы увидели, что у молодых мышей альбумина в мозге вообще не было, но он начал там появляться в среднем возрасте. Вначале эффект был незначительным, но наблюдалось явное повышение проницаемости барьера, и с возрастом грызунам становилось все хуже. Кроме того, пораженные мыши хуже запоминали свой путь по лабиринту по сравнению с их более молодыми сородичами, у которых в мозге альбумина практически не было.

В других экспериментах было показано, что, когда появлялся альбумин, начиналась активация $TGF\beta$. Мы окрашивали мозг так, чтобы становились

видны активированная форма фактора роста и те астроциты, где он вырабатывался. Воспаление, связанное с $TGF\beta$, всегда начиналось после появления альбумина и ухудшалось по мере того, как в мозг просачивалось все больше этого белка. Такая связь была особенно заметна в гиппокампе, области мозга, играющей важнейшую роль в управлении памятью.

В течение последних примерно пяти лет нам удалось представить убедительные доказательства того, что у людей происходит тот же процесс. Мы использовали меченые молекулы, чтобы обнаружить признаки протечки через барьер у людей в возрасте от 20 до 70 лет. С помощью магнитно-резонансной томографии нам удалось увидеть, что масштабы протечки увеличиваются с возрастом. Другие исследователи, такие как Берислав Злокович (Berislav V. Zlokovic) из Медицинской школы им. Кека Университета Южной Калифорнии и его коллеги, с помощью немного других методов визуализации показали ухудшение работы барьера у пожилых людей с когнитивными нарушениями. В нашей работе исследовалась также группа умерших людей, мы проводили вскрытие и показали, что повышенное содержание альбумина сопровождалось высоким уровнем $TGF\beta$ в астроцитах. Содержание этих веществ было выше у пожилых людей и повышено у умерших от болезни Альцгеймера по сравнению с теми, у кого не было данного заболевания.

Омоложение мозга

Затем нам удалось прекратить ухудшение состояния у мышей. Мы не могли помешать альбумину просачиваться сквозь ГЭБ, но нам удалось заблокировать каскад реакций с участием $TGF\beta$, который запускается после протечки. Мы генетически модифицировали группу мышей, удалив им фрагмент ДНК, с участием которого астроциты образовывали рецепторы $TGF\beta$, и эти клетки лишились такой способности. Когда мыши были еще относительно молоды, мы имплантировали им в мозг крошечную помпу, которая вводила альбумин. Ту же процедуру мы провели и для молодых немодифицированных мышей. Затем мы помещали животных из обеих групп в сложный водный лабиринт. (Кажется, наблюдение за плавающими мышами — наш лейтмотив.) У грызунов с рецепторами возникли большие сложности. Но животные без рецепторов плавали по лабиринту так же хорошо, как и молодые здоровые мыши, — быстро и точно, а когда мы поменяли конфигурацию лабиринта, они выучили новый маршрут. Посмотрев их мозги, мы увидели низкие уровни воспаления и аномальной электрической активности.

Но людям в ближайшее время нельзя будет включать ген, работающий в мозге. Однако есть другой способ лечения. Барри Харт (Barry Hart), медицинский химик из фармацевтической компании *Innovation Pathways* в Пало-Алто в Калифорнии, разработал противораковый препарат, который специфично блокирует *TGFβ*-рецептор. Харт связался с нами и предложил опробовать этот препарат под названием *IPW* на наших мышах. (Позже мы втроем создали компанию для дальнейшей разработки такого способа лечения.)

Когда мы дали препарат мышам среднего возраста, у которых начиналась протечка альбумина, мы обнаружили, что их мозг снова стал выглядеть молодо. Активность *TGFβ* упала до уровня, наблюдаемого у молодых мышей, количество маркеров воспаления снизилось, аномальная электрическая активность и судорожная готовность уменьшились.

Однако нас ожидал большой сюрприз, когда мы стали оценивать поведение и когнитивные способности. Мы сделали еще один лабиринт и на этот раз пропустили через него старых мышей. Некоторые из них получали лечение *IPW*, некоторые нет. Мы не ожидали значительного улучшения, поскольку считали, что необратимый ущерб уже был нанесен. (В отличие от наших мышей без гена *TGFβ* у этих животных в течение месяцев наблюдалось ухудшение, вызванное воспалительным каскадом.) Однако через несколько дней получавшие лечение мыши начали обучаться в лабиринте почти так же хорошо, как и грызуны вдвое их моложе. Тем временем мыши, не получавшие препарат, как обычно с трудом передвигались по лабиринту. Более того, у мышей, получавших *IPW*, не наблюдалось ничего похожего на эффект «сообщения, взорвавшего *Twitter*», который мы обычно встречаем у людей с болезнью Альцгеймера или эпилепсией, и не было никаких признаков воспаления. Как будто воспалительный туман рассеялся, позволив мозгу восстановить свои юношеские способности. Эти данные, наряду с полученными при исследованиях на человеческом мозге, мы опубликовали в 2019 г в *Science Translational Medicine*.

Результаты обучения в лабиринте оказались неожиданными даже для нас, потому что, как и большинство людей, мы считали старение необратимым процессом, нарушением, которое невозможно исправить. Вероятно, это верно для серьезных повреждений мозга, таких как при болезни Паркинсона или на поздних стадиях болезни Альцгеймера, когда бета-амилоида уже накопилось настолько много, что он убивает целые ряды нейронов и других клеток. Однако результаты наших исследований могут свидетельствовать о том, что при отсутствии массовой гибели клеток стареющий мозг обладает скрытой способностью восстанавливаться после некоторых типов повреждений.

Наши результаты актуальны и в случае острых травм, а не только постепенного ухудшения. Лечение грызунов с помощью *IPW* после сотрясения мозга или черепно-мозговой травмы смягчило воспалительный процесс и ослабило судороги и развившиеся когнитивные нарушения. У животных, получавших плацебо, улучшений не было.

Исправление повреждений

Население Земли стареет, и растет число людей с деменцией и болезнью Альцгеймера. Мы тоже стареем, так что это касается каждого из нас лично. Нам обоим около 50, и наши разговоры с друзьями за ужином часто вращаются вокруг нашего беспокойства о старении тела (некоторые из нас раньше бегали марафоны, а теперь неспособны закончить фитнес-курс *Zumba*) и о старении мозга (Кауфер не может запомнить имена родителей одноклассников ее дочери). Нейробиологи плохо понимают, какие именно факторы первоначально запускают превращение молодого здорового мозга в старый и негодный. Болезнь Альцгеймера и другие возрастные неврологические заболевания очень сложны и могут иметь множество причин.

Теперь нарушение ГЭБ можно рассматривать как один из этих факторов. На основе теории о повреждении гематоэнцефалического барьера строится удивительно простая и понятная модель, объясняющая, почему работа мозга ухудшается с возрастом. Эта модель вселяет оптимизм: результаты нашей работы четко указывают, что стареющий мозг сохраняет способность изменяться и восстанавливаться, такая способность может подавляться из-за постоянной протечки через ГЭБ и последующих процессов, но она не утрачивается необратимо.

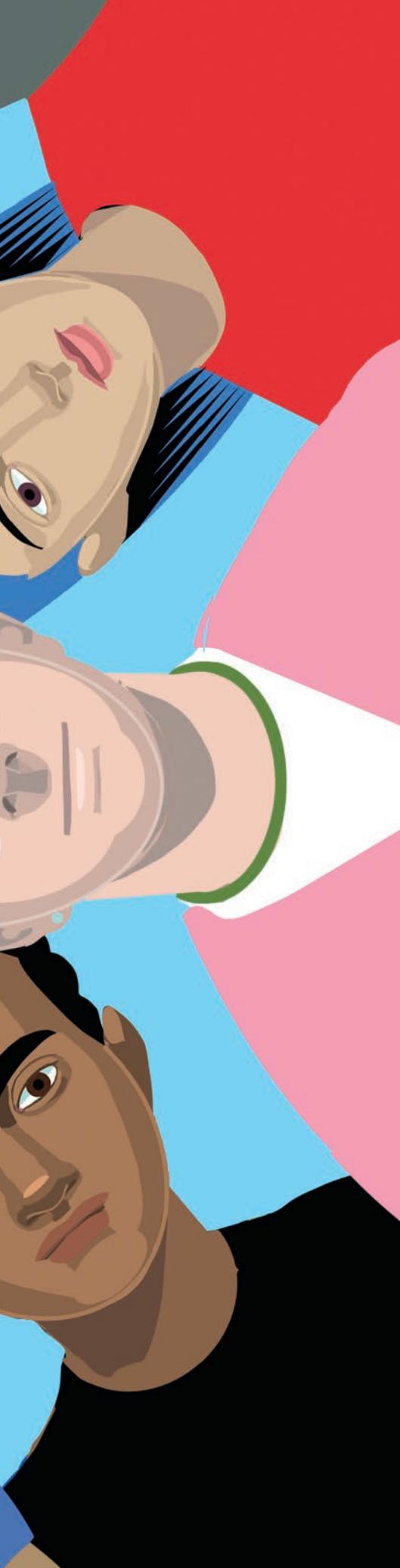
Следующим шагом для нас и других ученых будет поиск стратегий и методов лечения для уменьшения протечки. В прошлом фармацевтические исследования ГЭБ были сосредоточены не на снижении проницаемости, а на повышении, чтобы вводить в мозг препараты для лечения опухолей и инфекций. Наши исследования показывают, что пора поставить обратный вопрос: можем ли мы предложить способы остановить деградацию защитного барьера, прекратить проникновение через него вредных веществ или хотя бы прервать последующий молекулярный каскад, если вещества все же проникают? Если мы сможем разобрататься в этом, то получим возможность сделать много хорошего для множества людей. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Косик К. Путь вперед // ВМН, № 7, 2020.





МОЗГ И СОЗНАНИЕ

Воз- раст воз- мож- ностей

Глубже поняв особенности
мозга подростков, можно
улучшить образование
и психическое здоровье

Лидия Дэнурт

Illustrations by Alison Seiffers

ОБ АВТОРЕ

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



Я расскажу вам современную притчу. Жил-был взрослый человек, который хотел, чтобы восьмиклассники ели здоровую пищу. Он спланировал урок, содержащий много информации о питании: почему есть фрукты и овощи хорошо, а фастфуд — плохо и т.д. Такой подход был эффективен с детьми младшего возраста. Но восьмиклассники сказали, что этот урок и, честно говоря, сам преподаватель были нудными. Они продолжили потреблять нездоровую пищу, причем некоторые стали есть ее даже больше, чем раньше.

В той или иной форме подобные истории постоянно происходят в реальной жизни, хотя подростки могут быть другого возраста, а темой может быть что угодно — от борьбы с травлей или депрессией до повышения увлеченности математикой. Ученые обнаружили, что методы, эффективные с маленькими детьми, не работают с подростками. По-видимому, переломный момент наступает в восьмом классе.

Однако если бы мы лучше подумали о том, что значит быть восьмиклассником, вплоть до того, как меняется их мозг, у нашей притчи мог бы быть более счастливый конец. Школьники 13 лет озабочены поддержанием статуса и уважения к себе, они не хотят чувствовать, что взрослые их опекают. В 2019 г. в журнале *Nature Human Behaviour* было опубликовано исследование, в котором более чем 300 восьмиклассников в Техасе вместо информации о правильном питании показали отчет о расследованиях, демонстрирующих, что руководство продовольственных компаний использует вредные ингредиенты, в своей рекламе ориентируется на подростков и не позволяет собственным детям есть свою продукцию. Школьники возмутились и начали относиться к здоровому питанию как к способу не поддаваться манипуляциям.

В течение последующих трех месяцев они покупали в столовой более здоровую еду. А в дальнейшем исследователи выяснили, что этот способ воздействия с большей вероятностью оказал положительное влияние на учеников с более высоким уровнем тестостерона (это маркер полового созревания как у мальчиков, так и у девочек) и особенно на мальчиков.

Достижения нейробиологии за последние 15 лет кардинально поменяли наше представление о структурных и функциональных изменениях в мозге в процессе взросления, которые начинаются примерно в десять лет и заканчиваются после 20. Это период быстрого роста мозга и тонкой нейронной настройки, когда молодые люди особенно чувствительны к социальным сигналам и поощрению. Самые недавние исследования сосредоточились на том, как мозг подростка взаимодействует с социальной средой. Было показано, что социальный контекст и одобрение сильно влияют на поведение. Подростковый возраст можно даже рассматривать как чувствительный период для социального и эмоционального обучения, период, когда за счет нейрохимических изменений мозг исключительно восприимчив к использованию социальных сигналов для обучения.

Все больше ученых и врачей считают, что эти нейробиологические открытия позволят многое изменить. Когда молодой мозг занимается поиском опыта, учителям, родителям и другим значимым взрослым следует использовать эти возможности для обучения и недопущения нежелательного поведения, такого как курение или употребление наркотиков. Основная мысль доклада Национальных академий наук, инженерии и медицины о возможностях подросткового возраста — вкладывать в программы и мероприятия, которые используют способность мозга меняться в подростковом возрасте, чтобы поддержать полезные изменения в жизненных траекториях молодых людей.

Наличие чувствительного периода для социального и эмоционального развития означает также, что для некоторых подходов определенные этапы подросткового возраста могут быть более благоприятны, чем другие. В частности, в раннем подростковом возрасте, примерно с девяти до 11 лет, детей можно направить на верный путь, укрепляя их чувство собственного достоинства и мотивацию к обучению. Эксперимент с правильным питанием показывает, что в среднем подростковом возрасте, после полового созревания, тонко подобранные вмешательства более эффективны. Но, конечно, и потом попавшим в беду молодым людям помогать не поздно, особенно учитывая, что наиболее серьезные проблемы со здоровьем и поведением у подростков возникают обычно лет в 16 и позже.

Для того чтобы осмысленно сравнить, какие именно вмешательства лучше всего работают в десять, 14 или 18 лет, требуются обширные длительные исследования, которые пока еще не проведены. Однако достижения науки о развитии, по-видимому, могут дать более мудрые и эффективные подходы, помогающие образовательному процессу и поддержанию физического и психического здоровья. В этих новых методиках учитываются беспокойство подростков о статусе и уважении, развитие у них самоутверждения во внешнем мире и их потребность вносить свой вклад и найти свою цель. Благодаря подобным идеям среди педагогов уже растет интерес к социальному и эмоциональному обучению. Вместо того чтобы заикнуться на бурях подросткового возраста, эти идеи предлагают более радужный взгляд на подростковый возраст как на период широких возможностей.

Переосмысление подросткового возраста

Десятилетиями большинство исследований подросткового возраста фокусировались на его темной стороне. Хотя это самый здоровый период в жизни, когда сила, прыть, скорость реакции, способность рассуждать и работа иммунной системы улучшаются или достигают максимума, для

подросткового возраста характерны и такие тревожные признаки, как увеличение числа несчастных случаев, самоубийств, убийств, депрессий, употребления алкоголя и наркотиков, насилия, опрометчивого поведения, расстройств пищевого поведения, ожирения и заболеваний, передающихся половым путем, по сравнению с детьми более младшего возраста.

Однако в 2000-х гг. из-за двух важных открытий изменилось отношение к подростковому возрасту. Нейробиологи показали, что во время полового созревания начинается период активного роста нервных связей, а затем их количество сокращается, по своей интенсивности эти процессы уступают только происходящим в первые три года жизни ребенка. Было также показано, что созревание мозга происходит неравномерно. Лимбическая система — совокупность областей мозга, реагирующих на эмоции, подкрепление, новизну, угрозу

Нейрохимические изменения в мозге в подростковом возрасте обеспечивают предрасположенность к использованию социальных сигналов для обучения

и ожидания со стороны сверстников, — переживает скачок роста, в то время как области мозга, отвечающие за мышление, оценку и исполнительные функции, развиваются медленно и равномерно. Возникающий в результате дисбаланс в развитии позволяет объяснить подростковую импульсивность, склонность к риску и чувствительность к социальному поощрению и обучению. Это имеет эволюционный смысл, многие особенности подросткового поведения толкают людей покинуть безопасность семейного очага и исследовать более широкий социальный мир — шаг на пути к тому, чтобы стать независимыми взрослыми.

Другое направление исследований, возникшее в рамках изучения системы всех нервных связей (коннектома) человека, показало, что у взрослых коннектоматы могут заметно различаться, тогда как у детей они более однородны. Различия в распределении нервных связей появляются в подростковом возрасте, между десятью и 16 годами, как раз тогда, когда стремительно формируются социальные ценности и мышление. Такие изменения в коннектоме появляются у девочек в среднем на год-полтора раньше, чем у мальчиков, те же различия характерны и для полового созревания, что свидетельствует о взаимосвязанности этих процессов.

Идею, что подростковый возраст может быть чувствительным периодом, во время которого формируется способность обрабатывать социальную и эмоциональную информацию, предложили в 2014 г. нейробиологи Сара-Джейн Блэкмор (Sarah-Jayne Blakemore) и Кэтрин Миллс (Kathryn Mills), работающие сейчас в Кембриджском и Орегонском университетах. Предыдущие исследования предполагали, что такие социально-когнитивные способности, как формирование модели психического состояния другого человека, созревают в середине детского возраста, однако Блэкмор и Миллс показали, что в подростковом возрасте продолжают множественные изменения процесса социального познания и меняются нервные сети в областях мозга, управляющих социальным поведением.

Чувствительные, или критические, периоды — это промежутки времени, когда мозг предрасположен к формированию определенных нервных свя-

Исследования показывают, что у подростков есть потребность вносить свой вклад в общественную жизнь — и это может защитить их от тревоги и депрессии

зей в ответ на поступающую информацию. Такие периоды бывают в том возрасте, когда нужная информация доступна и наиболее полезна для развития. Для обработки сенсорной информации, в частности для зрения и слуха, хорошо известно время начала, момента максимальной эффективности и окончания этих периодов. Мозг, лишенный зрительной или слуховой информации в раннем возрасте, никогда не сможет нормально видеть или слышать. Точно так же, с помощью чувствительного периода для усвоения языка, объясняется, почему люди, учившие иностранный язык после полового созревания, обычно говорят с акцентом. Установить сроки чувствительных периодов для социального обучения оказалось сложнее.

В исследованиях на животных были выявлены некоторые варианты чувствительных периодов для социального обучения. У певчих птиц чувствительный период для обучения песне обычно бывает в юности, но сроки его окончания могут откладываться, если птице нужно больше времени для обучения своим песням. «Это великолепный пример чувствительного периода для обучения навыку, имеющему социальное значение», — говорит

Линда Вильбрехт (Linda Wilbrecht) из Калифорнийского университета в Беркли, изучавшая чувствительные периоды у певчих птиц, мышей и людей.

Нейробиолог Гюль Делен (Gül Dölen) вместе со своими коллегами из Университета Джонса Хопкинса определили у молодых мышей сроки критического периода для формирования социального условного предпочтения места. В исследованиях была продолжена работа эстонского нейробиолога Яака Панксеппа (Jaak Panksepp). Он предоставлял мышам две разных подстилки — на одной грызуны были в одиночестве, на другой в компании с другими мышами. Позже, когда у мышей был выбор, молодые особи предпочитали подстилку, которая напоминала о знакомых мышах.

Делен провела аналогичные эксперименты примерно с 900 мышами 14 разных возрастов и определила, когда именно формируется предпочтение места. Оно наиболее сильно проявляется на 42-й день после рождения (что соответствует примерно 14 годам у людей), когда мыши достигают половой зрелости, и запускается изменениями в уровне окситоцина, вызывающими увеличение синаптической пластичности. «Это действительно важный этап в их жизни, когда они покидают гнездо и пытаются образовывать свои собственные группы, — говорит Делен. — В данный временной промежуток они очень чувствительны к тому, что делают другие члены их группы, у них формируется привязанность к группе и тогда же наиболее сильно проявляется это поведение». Кажется, что мозг внезапно становится очень восприимчивым к информации, которую ранее игнорировал, и реагирует на нее как на подкрепление. «Такая информация постоянно есть вокруг нас, — рассказывает Вильбрехт. — Но, когда происходит половое созревание и гормоны выбрасываются в кровоток, подобные сигналы внезапно обретают значимость. Они не имеют смысла, пока вы не войдете в подростковый возраст».

Предрасположенность к обучению

Периоды повышенной восприимчивости создают не только хорошие возможности для обучения, но и повышенную уязвимость. Важно, чему именно учатся подростки. «Мозг подростка предрасположен к социальному и эмоциональному обучению, к исследованиям, взаимодействию, к тому, чтобы рисковать, чтобы можно было учиться, но все зависит от того, какие возможности мы предоставляем им для обучения», — говорит психолог Эндрю Фулигни (Andrew Fuligni) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Вредный опыт может пустить человека под откос, так что ему трудно будет выбраться. Исследования показывают, что, подростки, которые в более раннем возрасте пробуют алкоголь и наркотики, более склонны к формированию зависимости.



«Когда в вашем мозге происходит стремительная перестройка, это, вероятно, не самое подходящее время для введения посторонних веществ, — говорит Энтони Берроу (Anthony Burrow), специалист по психологии развития из Корнеллского университета. — Ваши тело и мозг реагируют немного иначе. Формирование вашего мозга зависит от того, чем вы занимаетесь в этот момент».

Защитные факторы в окружении подростка могут поддерживать позитивные пути развития. Что представляют собой защитные факторы? Это поддержка со стороны семьи и воспитателей и доступ к ресурсам, например возможности для позитивного обучения. Кроме того, есть еще некоторые элементы, которые ранее недооценивались. Исследования Фулиньи показывают, что у подростков есть потребность вносить свой вклад в общество, это позволяет им чувствовать собственную значимость и может защитить от тревоги и депрессии. «Среди того, чему мозг должен научиться в подростковом возрасте, есть умение вносить свой вклад в социальный мир», — говорит Фулинья. Он утверждает, что такая потребность особенно значима в подростковом возрасте, поскольку в это время социальный мир расширяется и молодые

люди обретают способность вносить свой существенный вклад. Это может быть вклад в дела группы сверстников, семьи или на более широком социальном уровне. Неслучайно во главе недавних социальных движений за контроль над оружием и против социального расизма в основном оказались именно молодые люди.

Тем, чему именно учатся и не учатся современные подростки, можно объяснить пугающее число случаев депрессии, тревоги и суицидальных мыслей в этом возрасте по сравнению с более ранним, а также по сравнению с предыдущими поколениями. По словам психолога Николаса Аллена (Nicholas Allen) из Орегонского университета, определенная информация о психическом здоровье, с которой сталкиваются подростки, может усиливать их проблемы. Он упоминает неоднозначный сериал «13 причин почему» компании Netflix, в котором подробно описывалось самоубийство персонажа. Исследования показывают, что с этим сериалом было связано увеличение числа самоубийств у подростков. «Обсуждение может быть участливым, направленным на решение проблемы, или заикленным и безысходным, в обоих случаях оно окажет сильное влияние, — говорит Аллен. — Слишком часто подростки, предрасположенные к депрессии, тревоге и суицидальным настроениям, склонны углубляться в эти мысли, и они находят себе друзей, как вживую, так и в интернете, которые подпитывают эти склонности, а не помогают подросткам их преодолеть».

Эффективные меры

До сих пор идут споры о том, как с помощью новых нейробиологических сведений можно помочь подросткам. «Мы узнали о мозге очень много, но нам неясно, как применить эти знания», — рассказывает Аллен.

Большой вопрос в том, когда именно надо вмешиваться. Один из аргументов в пользу раннего подросткового возраста — что воздействие должно быть упреждающим. Поскольку многие проблемы возникают ближе к середине и концу подросткового возраста, многие меры принимаются именно в это время. «С точки зрения развития это уже слишком поздно, — говорит Рональд Даль (Ronald Dahl), педиатр, специалист по возрастной психологии и основатель Центра развития подростков в Калифорнийском университете в Беркли. — Небольшие, более тонкие, позитивные меры, принятые ранее, значительно более перспективны для улучшения здоровья населения». Впервые Даль поразился логичности этой идеи, когда он еще работал педиатром. На конференциях он начал упоминать, как важно увлечь детей в более раннем возрасте, и обнаружил, что педагоги согласно кивают. Они познакомили Даля с идеей «сползания» в пятом классе и провала в восьмом, согласно

которой отстранение ребенка от образования начинается медленно и проявляется в виде ухудшения оценок.

Нейробиология позволяет считать, что ранние меры могут быть полезны. «Становится ясно, что есть еще один момент повышенной пластичности примерно в то время, когда начинается половое созревание, — сказал Даль на конференции в начале 2020 г. — Это важный поворотный этап для определения того, какие модели начнут формироваться». В своем исследовании в Танзании Далю с коллегами удалось как качественно, так и количественно уменьшить представление о гендерном неравенстве среди детей 10–11 лет с помощью серии уроков технологии, на которых девочки блистали не хуже мальчиков.

Другие исследователи опасаются слишком фокусироваться на каком-либо одном этапе. Они подчеркивают, что нейробиологические данные — это напоминание о том, как следует расставить приоритеты. «Что в этот период жизни наиболее пластично и открыто для нового опыта? Это указывает вам, где есть риск, но говорит и о том, где есть возможность, — объясняет Аллен. — Наука о мозге сообщает, на что надо обратить внимание в это время: на социальное и эмоциональное обучение».

Неудивительно, что наиболее многообещающие кажутся те меры, которые учитывают стремление подростков к определенному статусу и уважению, а также их потребность внести свой вклад и найти смысл. По словам Фулиньи, самые успешные волонтерские программы позволяют подросткам решить, над чем работать, и дают возможность обдумать работу и почувствовать смысл проекта. Смысл, по-видимому, имеет значение и в других случаях. В исследовании, проведенном Берроу, те участники программы 4-H раннего подросткового возраста, которых просили написать об их цели, с большей вероятностью вовлекались в образовательную деятельность и считали ее важной и интересной. «Цель — это серьезная часть личностного капитала, поскольку она говорит не только о том, кто вы есть, но и о том, кем вы собираетесь стать и в каком направлении идете, — объясняет Берроу. — Это двигатель».

Психолог Дэвид Йегер (David Yeager) из Техасского университета в Остине изучал, как лучше всего формулировать сообщения подросткам и влияет ли на эффективность таких сообщений половое созревание, то есть происходящие в это время нейробиологические изменения. «Нужно было проверить, действительно ли если вы уважительно общаетесь с подростками, так чтобы они чувствовали, что вы на самом деле признаете и поддерживаете их самостоятельность и независимость, то это произведет больший эффект, особенно если они физиологически более зрелые», — рассказывает Йегер.

Его исследования это подтверждают. В одной серии экспериментов было показано, что в зависимости от того, как вы формулируете рекомендацию принять лекарство, вероятность выполнения будет различаться и это зависит от уровня тестостерона. Некоторые 18–19-летние пришли в лабораторию и встретили снисходительное обращение: «Я специалист, я знаю, что для вас полезно, принимайте это». Другой группе молодых людей рекомендации были даны в более уважительном стиле: «Позвольте мне объяснить, почему это лекарство может быть полезным». По этическим причинам в качестве лекарства на самом деле предлагалась ложка веджимайта (*Vegemite*) — известной витаминной добавки с неприятным вкусом. Если рекомендации давались уважительно, люди в два раза чаще принимали веджимайт. Кроме того, участники с более высоким уровнем тестостерона значительно реже принимали «лекарство» после неуважительного обращения и чаще после уважительного. Когда Йегер с коллегами повышали уровень тестостерона с помощью назального ингалятора, оказалось, что люди с исходно низким уровнем тестостерона начинали вести себя так же, как те, у кого уровень тестостерона изначально был высоким.

Это медицинское исследование хорошо показывает, какое большое значение может иметь уважение, однако Йегер говорит, что работа 2019 г., проведенная с его помощью, в которой восьмиклассников информировали о неблагоприятной деятельности представителей пищевой промышленности, еще более многообещающа. «Это первое прямое доказательство того, что гормоны, участвующие в половом созревании, повышают вашу чувствительность к статусу и уважению и, соответственно, меняют ваше отношение к рекомендациям на тему здоровья, — рассказывает Йегер. — Меняется не только ваша текущая реакция, но и то, насколько вы усвоите рекомендации и будете следовать им после окончания лечения».

Иначе говоря, теперь мы больше знаем о том, что заставляет подростков отгораживаться и сопротивляться, когда мы пытаемся изменить их привычки, взгляды и способы справляться с трудностями. И эти знания указывают нам, в каком направлении надо двигаться, чтобы сломать стену. «Лишь недавно мы выяснили, как использовать эту восприимчивость с пользой, а не во вред, — говорит Йегер. — Я бы хотел, чтобы это послужило сигналом для взрослых, работающих с детьми». ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Гидд Д. Дивный юный мозг // ВМН, № 8–9, 2015.

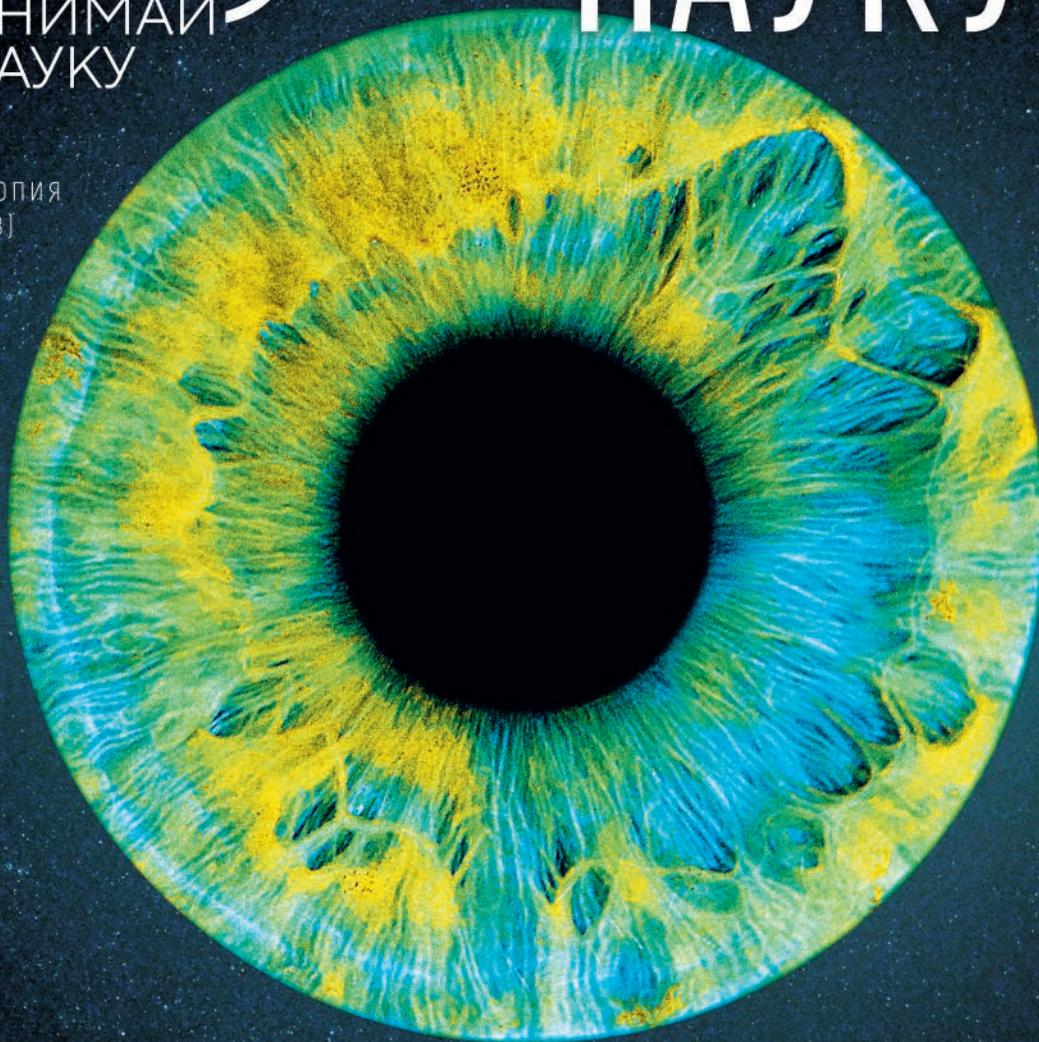


СНИМАЙ
НАУКУ

ФОТО И ВИДЕО КОНКУРС

СНИМАЙ НАУКУ

МИКРОСКОПИЯ
IRIS (ГЛАЗ)



ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ NAUKATV.RU

- ПРИСЫЛАЙ ВИДЕОРАБОТЫ ДО 19 СЕНТЯБРЯ
- СПЕЦНОМИНАЦИЯ «КОСМОС»
- ВЫИГРЫВАЙ ЦЕННЫЕ ПРИЗЫ
- АВТОР САМОЙ УДАЧНОЙ ВИДЕОРАБОТЫ ПОЛУЧИТ ШАНС СТАТЬ ВЕДУЩИМ НА КАНАЛЕ

12+
реклама



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



КАНАЛ
НАУКА



ЖИВАЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



ИСТОРИЯ
ТЕЛЕКАНАЛ



ДОКТОР
ТЕЛЕКАНАЛ



ТЕЛЕКАНАЛ

ИНТЕЛЛЕКТ ЖИВОТНЫХ

Загадка «право- рукости» дельфинов

Изучение двигательных предпочтений дельфинов указало на странность человеческого восприятия

Келли Яаккола





Вправо или влево? Люди незаметно для себя расходятся во мнениях, как интерпретировать кувырок дельфина в трёх измерениях.

ОБ АВТОРЕ

Келли Яаккола (Kelly Jaakkola) — когнитивный психолог и специалист по морским млекопитающим, директор по науке Центра исследования дельфинов на острове Грасси-Ки (архипелаг Флорида-Кис).



Л

юди асимметричны в своих действиях. У большинства из нас лучше получается пользоваться одной рукой, а не другой; балансировать на одной ноге, а не на другой; а у тех, кто часто вращается (например, у гимнастов, танцоров и водолазов), — вращаться в одном направлении, а не в другом.

Мозг тоже работает асимметрично. В популярной психологии долго жила версия этого тезиса, делившая людей на левополушарных (аналитического склада) и правополушарных (творческого склада). Хотя эта популярно-психологическая концепция основана на сомнительных данных, основополагающая идея асимметрии мозговых функций (которую ученые называют латерализацией) общепринята. Например, у людей речь обычно обрабатывается в левом полушарии, а пространственная информация — в правом.

Поскольку каждая сторона мозга контролирует отдельную сторону тела, изучение асимметричных форм поведения может дать ценную информацию об асимметричных функциях мозга. А изучение таких форм поведения у животных поможет лучше понять его эволюцию.

«Леворукость» и «праворукость» без рук

Несомненно, из всех типов латерализации людям больше всего знакомо преобладание одной из рук. Аналогичное явление изучено у животных путем наблюдений, какой рукой обезьяны обычно хватают предметы, какой лапой собаки чаще стучат по контейнеру для получения еды и т.д. Но что делать, если животное не имеет рук (или лап)? Как изучать латерализацию у такого животного, как, например, дельфин?

Оказывается, что асимметрии поведения бывают разные — это не только предпочтение одной конечности (рабочей руки или ведущей ноги), но и сенсорные асимметрии, когда мы лучше справляемся с заданиями в зависимости от используемого глаза или поля зрения, а также вращательные предпочтения, когда мы предпочитаем поворачиваться в одном направлении, а не в другом.

Поскольку разные формы асимметрии могут быть вызваны разными глубинными причинами, нужно изучать как можно больше форм поведения

у различных животных, чтобы лучше разобраться в латерализации функций мозга и ее эволюции.

Неожиданный поворот

Именно здесь скрывается подвох. При сравнении животных необходимо учитывать тот факт, что их общие планы строения и способы движения могут различаться. Например, если животное передвигается в вертикальном положении (как люди и птицы), длинная ось его тела также вертикальна, но если оно передвигается на четырех конечностях, то длинная ось его тела горизонтальна. Это означает, что слово «поворот» может означать совершенно разные движения. Для животного «на четвереньках» поворот — это скручивание длинной оси тела в одну или в другую сторону. Поворот для двуногого существа — это вращение вокруг длинной оси тела, в то время как она остается прямой. А для животного вроде дельфина, движущегося в трехмерном пространстве, возможны оба типа поворота.

Начиная изучать латерализацию у дельфинов, мы внимательно разделили эти два типа вращения, но столкнулись с другой проблемой: наши исследователи не смогли прийти к общему мнению, что считать поворотом «вправо» (или «влево»). После долгих дискуссий (подчас аргументированных) мы осознали, что наткнулись на причуду человеческого восприятия. По всей видимости, люди интерпретируют направление поворота по-разному в зависимости от положения животного.

Чтобы прочувствовать это, сделайте следующее. Сначала встаньте и повернитесь «вправо». Затем лягте лицом вниз на пол и перекатитесь «вправо». У большинства людей в первом случае правое плечо движется в сторону спины, а во втором («горизонтальном») случае правое плечо движется в сторону груди, на переднюю сторону. То есть вы выполнили два диаметрально противоположных



вращения. (И — если вас это интересует — нет, обозначения «по часовой стрелке» и «против часовой стрелки» вместо «вправо» и «влево» вам не помогут. Результаты будут те же самые.)

До этого почти во всех работах по латерализации вращательного движения изучалось по одному виду в одном положении — как, например, повороты человека (вертикальное положение) или выныривание китов (горизонтальное положение). Поэтому проблемы не возникало. Это, однако, означает, что в опубликованных работах используются противоположные системы кодирования для разных животных в зависимости от их положения. Поворот, при котором правая сторона животного движется вперед, обычно называется «влево» / «против часовой стрелки» для людей и птиц, но для дельфинов и китов он же трактуется как «вправо» / «по часовой стрелке». Конечно, раз мы хотели сравнить латерализацию вращения у разных видов, мы должны были прийти к соглашению относительно направлений поворота. Значит, нам была нужна новая система кодирования.

Система, на которой мы сошлись, была навеяна «правилом правой руки», знакомым многим из нас по школьному или университетскому курсу физики. Это правило гласит: если большой палец правой руки указывает направление текущего по проводу тока, то изогнутые пальцы указывают направление силовых линий магнитного поля, окружающего провод. Мы приспособили общую концепцию этой схемы для кодирования поворотов. В ней поворот обозначается как «поворот правой руки» или «поворот левой руки»: если отставленный большой палец исследователя направлен вдоль длинной оси тела животного в сторону его головы, изогнутые пальцы соответствующей руки показывают направление поворота. Это позволило нам быстро и недвусмысленно закодировать вращения/повороты животных независимо от их положений и направлений движения.

Изучение асимметричного поведения дельфинов показало необходимость новой системы кодирования направления вращения

Преимущества свежего взгляда

В некоторых предыдущих научных статьях утверждалось, что дельфины демонстрируют сильные поведенческие асимметрии с преобладанием правой стороны, похожие на человеческую праворукость. В силу этого предполагалось, что левое полушарие у них — ведущее. Но, поскольку в прежних системах кодирования «правый»/«вправо» не всегда означает одно и то же, было неясно, верно ли это утверждение. Чтобы его проверить, мы исследовали у 26 дельфинов разные типы поведенческих асимметрий, таких как: «В каком направлении они плавают по кругу?», «Какой стороной тела они касаются предметов?» и «В каком направлении они крутятся при выныривании?» Тщательно разделив различные типы движения по принципу «поворот левой руки» / «поворот правой руки», мы обнаружили — в противовес предыдущим исследованиям — что у дельфинов нет никакой «праворукости» асимметрии.

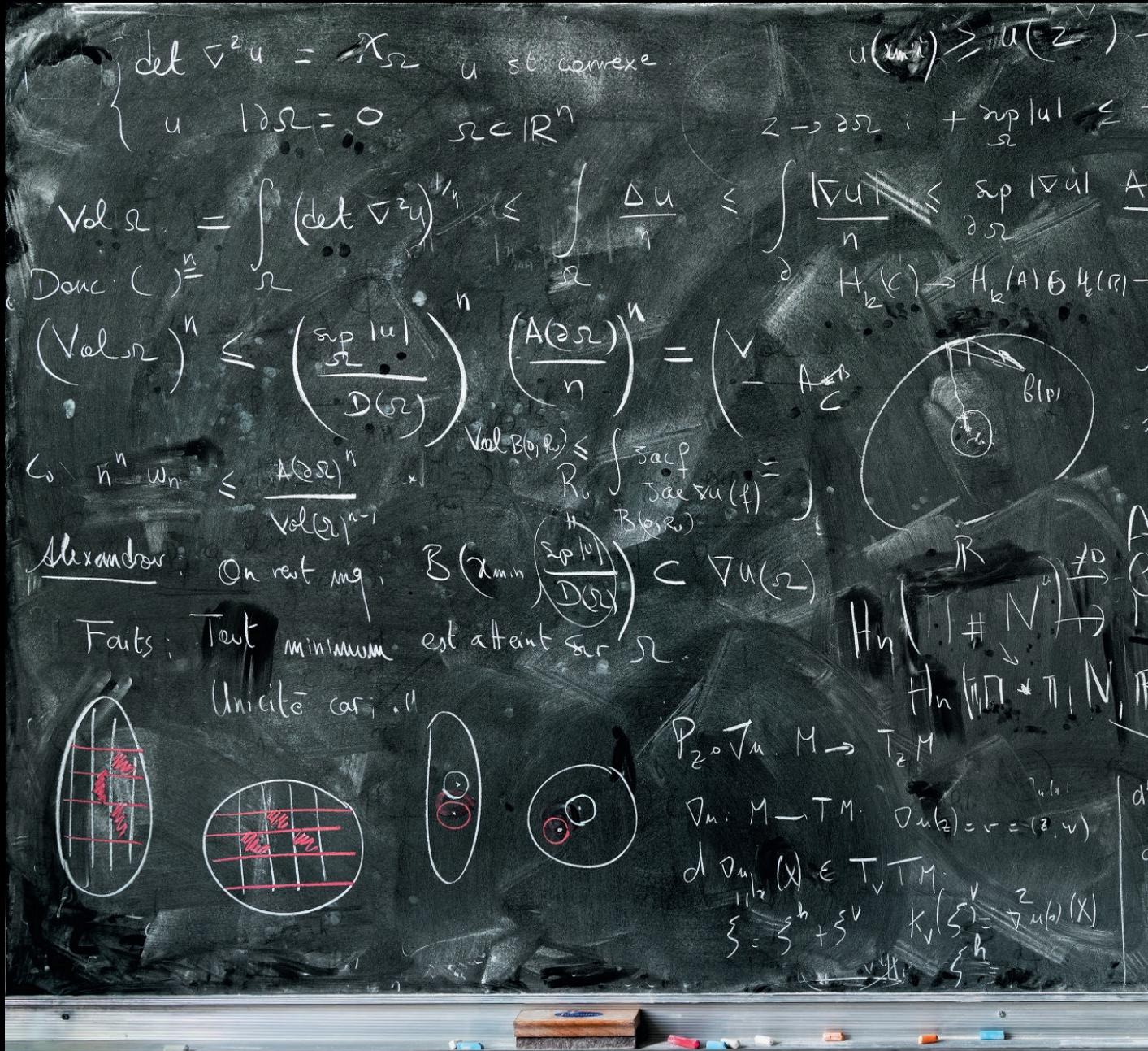
Люди часто думают, что научный прорыв случается тогда, когда мы узнаем что-то новое, чего не знали раньше. Другой вид научного прорыва происходит, когда мы осознаем наличие проблемы в нашем общем взгляде на вещи. В таких случаях взгляд под другим углом может внести ясность. Как однажды подчеркнул писатель-фантаст Айзек Азимов, «самая волнующая фраза, которую можно услышать в науке, та, которая предвещает новые открытия, — не "Эврика!", а "Забавно..."» ■

Перевод: Г.Ф. Куракин

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Кинг Б. Ложь в дикой природе // ВМН, № 11, 2019.

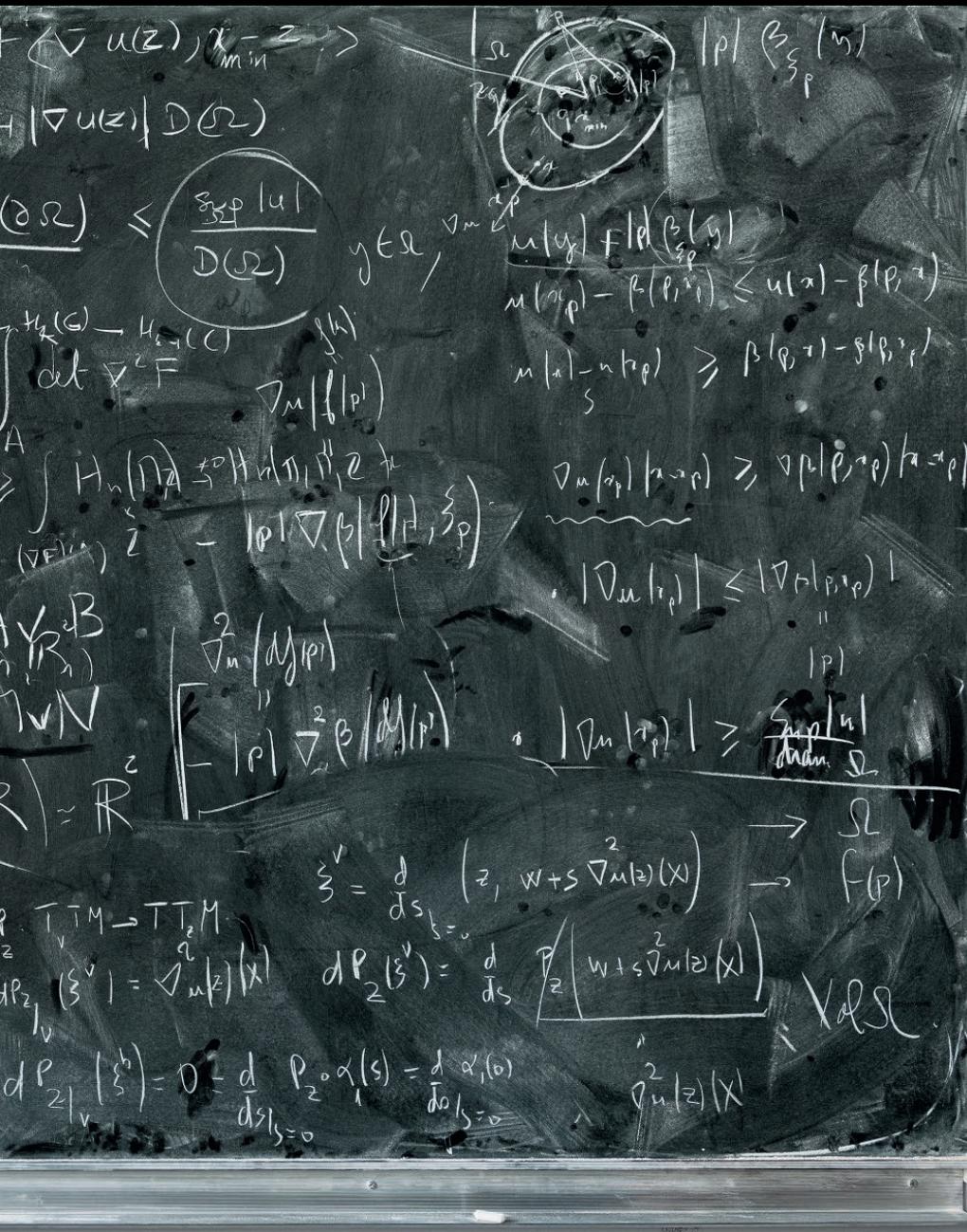
Искусство на мелов



Клара Московиц

Очарование топологии,
геометрии и математических
теорий глазами фотографа

ОИ Доске

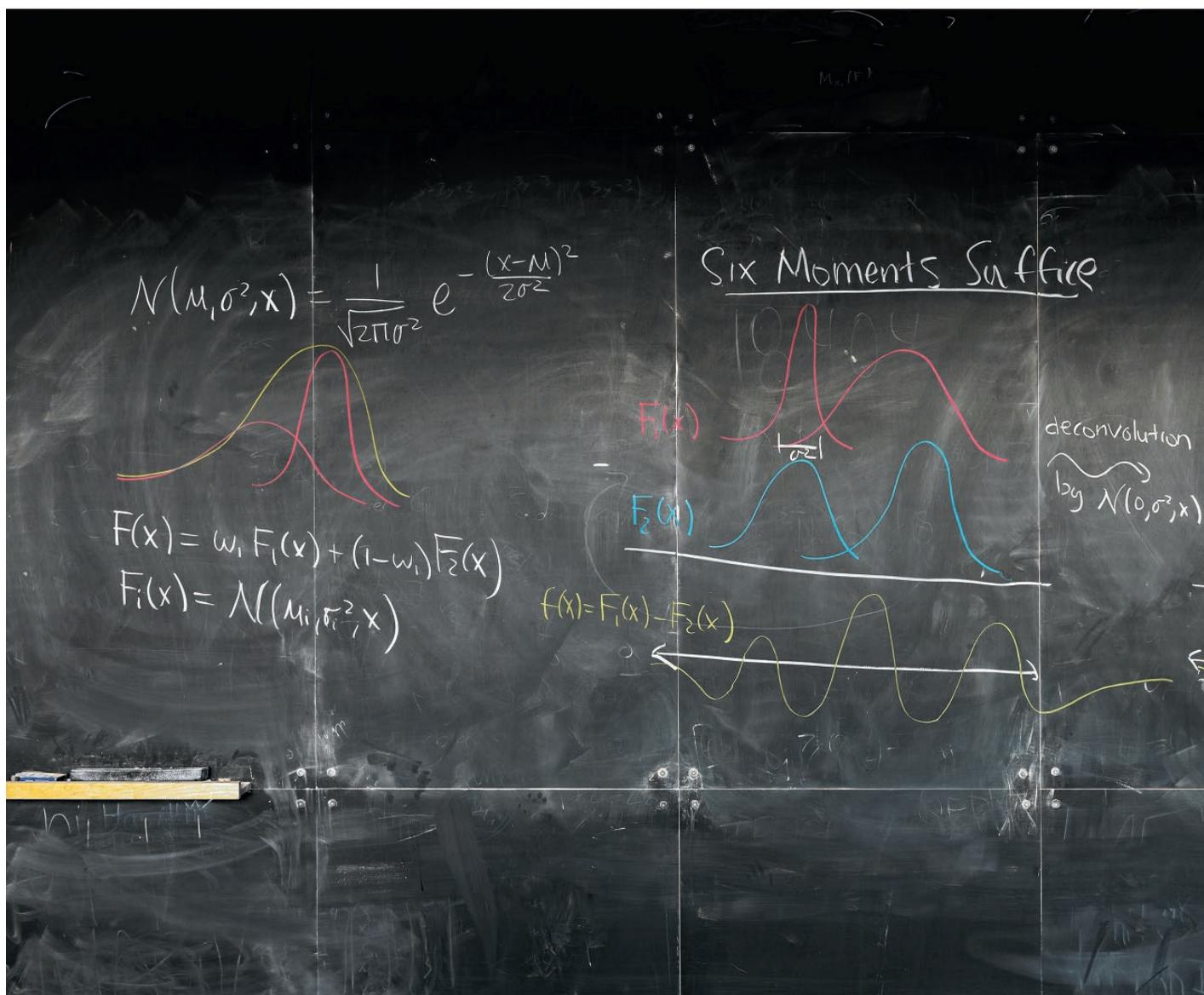


Изопериметрическая задача

Известная еще в Древней Греции как задача Дидоны, она формулируется так: среди всех плоских фигур, имеющих одинаковый периметр, необходимо найти ту, которая обладает наибольшей площадью. Греки знали ответ — это круг. Однако строгое доказательство появилось только в XIX в. Аналогичную задачу можно поставить и в неевклидовой геометрии. Жиль Куртуа (Gilles Courtois), директор отдела исследований Института математики Жюссье — Париж Рив Гош, изучал этот вопрос. «Мы думали, что путь к решению найден, — говорит он, — схема была настолько простой, что мы смогли записать ее на доске». К сожалению, идея себя не оправдала и проект все еще «на стадии разработки».

M

Математика прекрасна, даже когда непостижима. Фотограф Джессика Уинн (Jessica Wynne) поставила себе задачу запечатлеть эту необычайную привлекательность. В 2018 г. она начала фотографировать классные доски математиков по всему миру. «Возможность побывать в других мирах, где-то за пределами привычной области знаний — вот что всегда меня занимало», — говорит Уинн. Не имея представления о математических задачах, описанных на классных досках, она смогла оценить эти формулы с точки зрения эстетики: «Такое чувство, будто смотришь на абстрактную картину. Но к этому добавляется еще больший интерес, ведь там, в этих линиях скрывается по-настоящему глубокий смысл, раскрывается своего рода универсальная правда».



Первая встреча с миром математики произошла во время летнего отпуска на полуострове Кейп-Код, где Уинн подружилась с двумя математиками, отдохнувшими неподалеку. Познакомившись поближе с их исследованиями, она неожиданно для себя обнаружила, что между процессом создания произведения искусства и решением математической задачи есть много общего. «Я была очень удивлена, увидев, насколько творческая у них работа», — говорит она.

Когда Уинн начала путешествовать по разным университетам мира и знакомиться с математиками, она обнаружила, что классные доски ученых разительно отличаются друг от друга. «Некоторые из них были чистыми и аккуратными, а все надписи — тщательно продуманными, — вспоминает она. — А иные были похожи на последствия взрыва бомбы, на что-то невообразимо хаотичное.

ОБ АВТОРЕ

Клара Московиц (Clara Moskowitz) — старший редактор *Scientific American* по тематике физики и космоса.

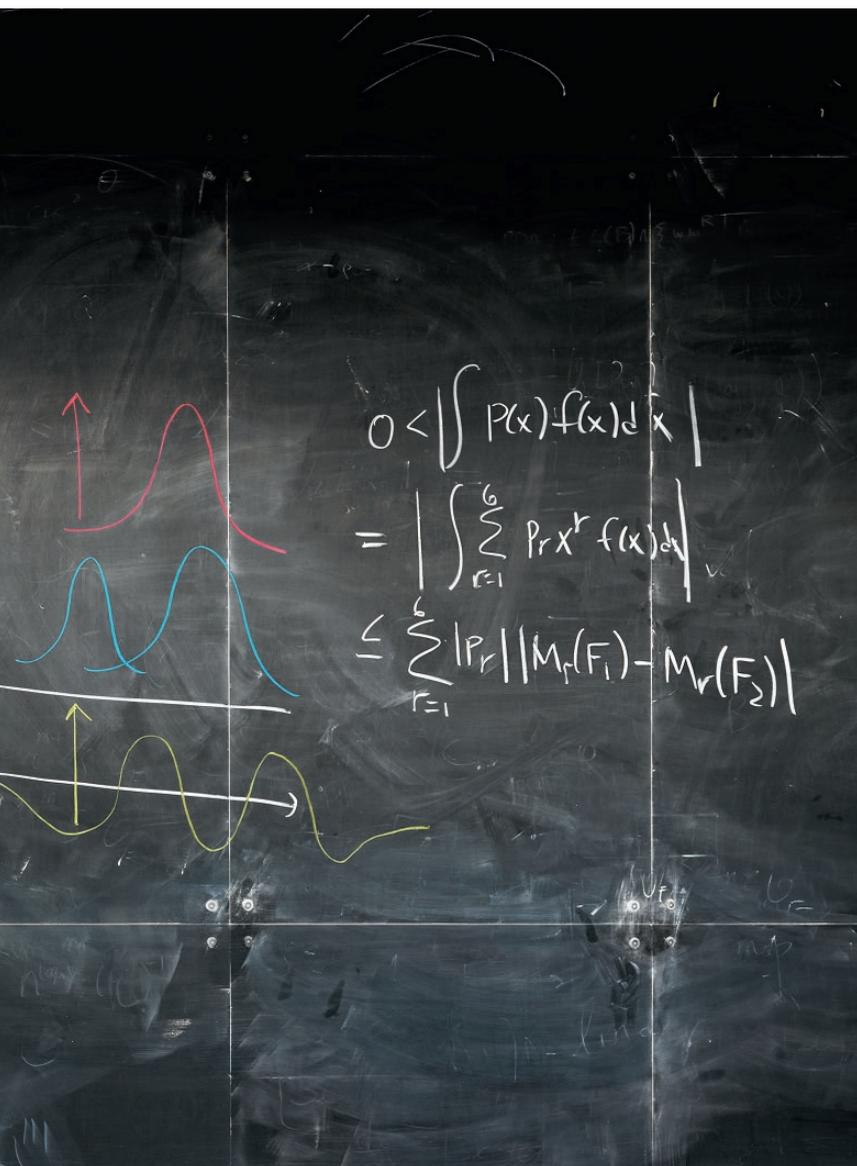


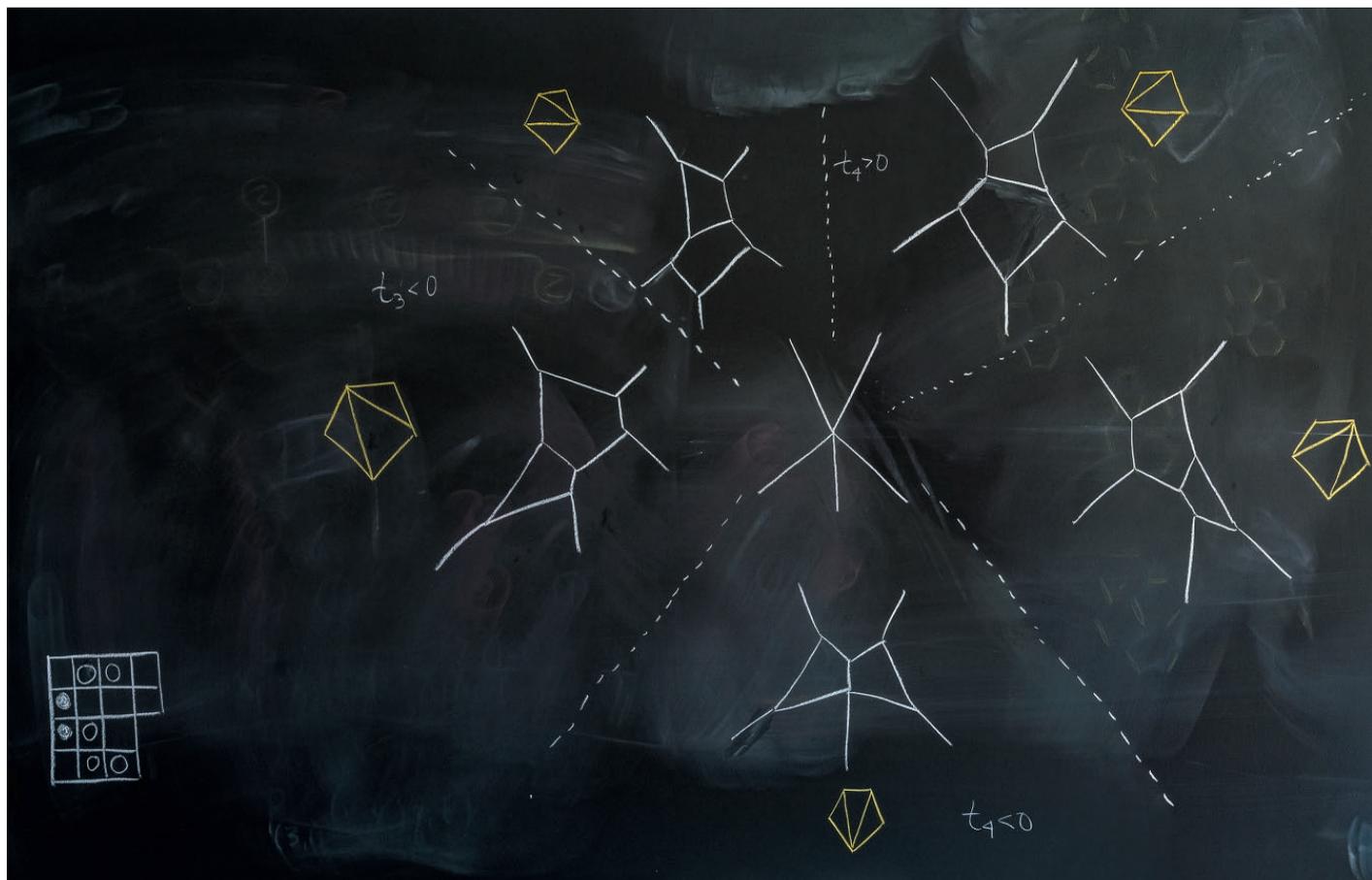
Каждая из этих досок несла на себе отпечаток характера писавшего на ней математика. Доски превратились в портреты ученых».

Многие фотографии Уинн войдут в книгу «Не стирать: математики и их классные доски» (*Do Not Erase: Mathematicians and Their Chalkboards*), которую в июне планирует выпустить издательство *Princeton University Press*. Но и после выхода книги она намерена продолжать свой проект и путешествия, так некстати прерванные пандемией. Среди прочих в ее списке мест, обязательных для посещения и съемки, был математический факультет Кембриджского университета. Однако Уинн узнала, что все их меловые доски были заменены на магнитно-маркерные и интерактивные. «В первую очередь меня привлекает именно аналоговая природа работы на классной доске, — говорит она. — Я заметила, что многие университеты избавляются от старых классных досок, но это лишний раз подтверждает необходимость задокументировать этот процесс».

Смесь нормальных распределений

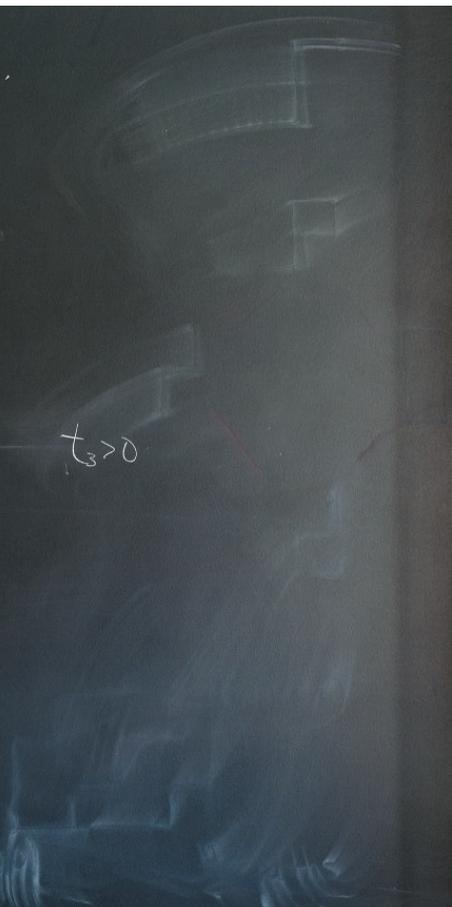
Разнообразные физические измерения (например, рост некоторого количества случайно выбранных женщин) обычно образуют так называемое нормальное распределение, или распределение Гаусса, график которого напоминает гору. Входные данные для алгоритмов машинного обучения часто представляют собой массивы более разнородной информации (например, рост случайно выбранных как мужчин, так и женщин), и важнейшей задачей становится разделение проводимых исследований и вычислений. Анкур Мойтра (Ankur Moitra) из Массачусетского технологического института и его коллеги обнаружили способ разделения кривых, который требует знания только первых шести «моментов» (особых характеристик) входного распределения. «То, что я нарисовал здесь, — ключ к доказательству, изложенному в нашей статье, — говорит Мойтра. — Оказывается, задача разделения исходного распределения на компоненты эквивалентна возможности взять два разных распределения, вычесть их и показать, что полученная в результате функция пересекает ось абсцисс не более шести раз».





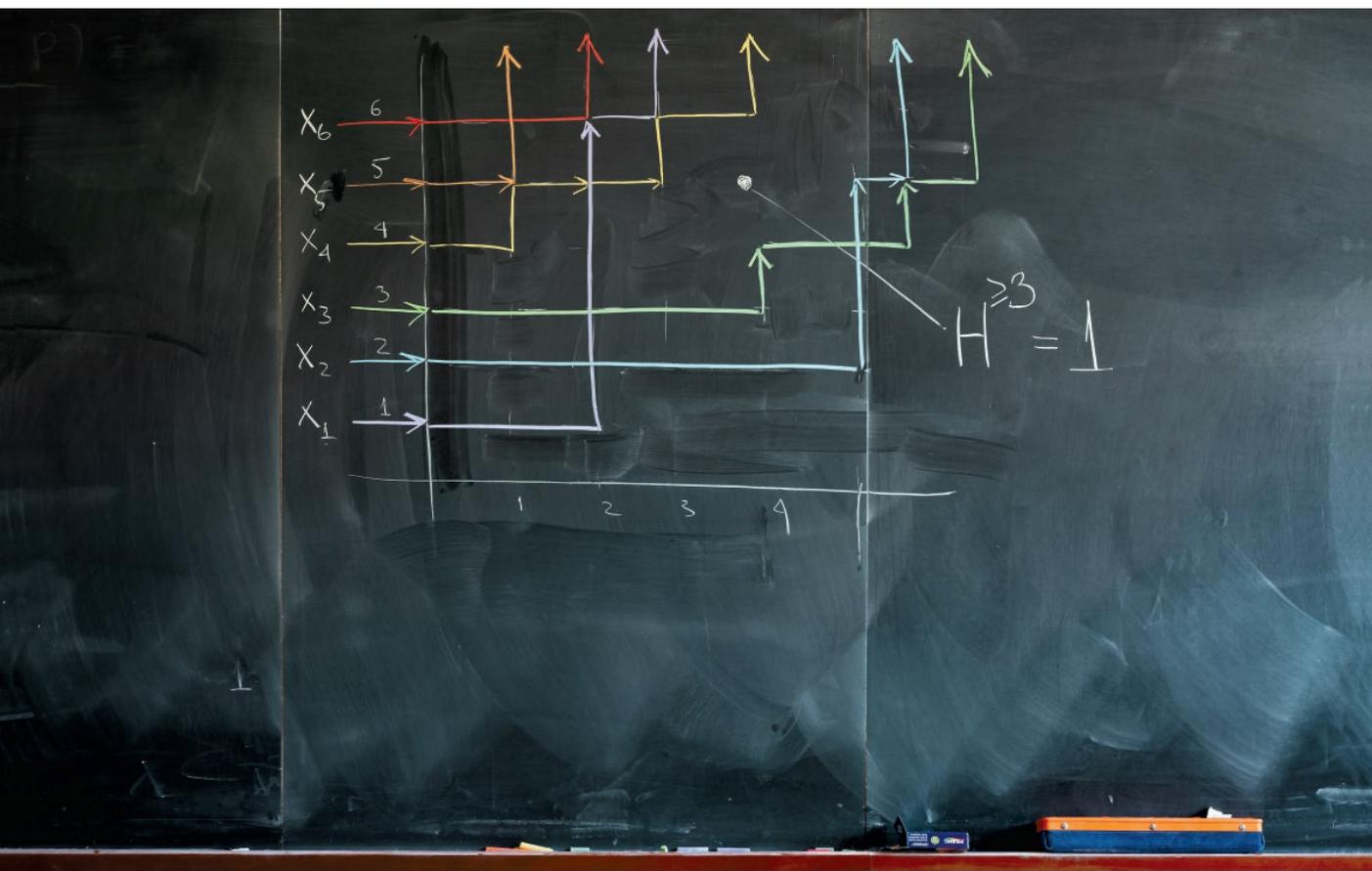
Нелинейные волны

Диаграммы в виде причудливых фигурок представляют собой условные изображения, моментальные снимки эволюции волн. Белые линии — местоположения пиков в конфигурации волн на мелководье в определенный момент времени. «Эти волны обладают интересными свойствами, — объясняет математик из Гарвардского университета Лорен Уильямс (Lauren K. Williams). — Например, две встретившиеся друг с другом волны могут превратиться в одну. Кроме того, эта и другие модели взаимодействия волн могут меняться в зависимости от выбранного момента времени». Уильямс и ее сотрудник Юджи Кодама (Yuji Kodama) из Университета штата Огайо использовали эти диаграммы для изучения решений так называемого уравнения Кадомцева — Петвиашвили (КП), описывающего поведение нелинейных волн. Они обнаружили, что волновые картины определенного класса решений можно классифицировать при помощи принципа триангуляции многоугольника (фигуры желтого цвета на доске). «Если немного изменить параметры решений, эти волновые узоры могут вырождаться и сформировать, например, белый узор, напоминающий морскую звезду, показанный в центре доски», — говорит она. Рисунок в левой нижней части доски Кодама и Уильямс называют «диаграммой го», названной в честь настольной игры го, в которую играют черными и белыми камнями. Ученые используют ее для изучения определенных решений уравнения КП.



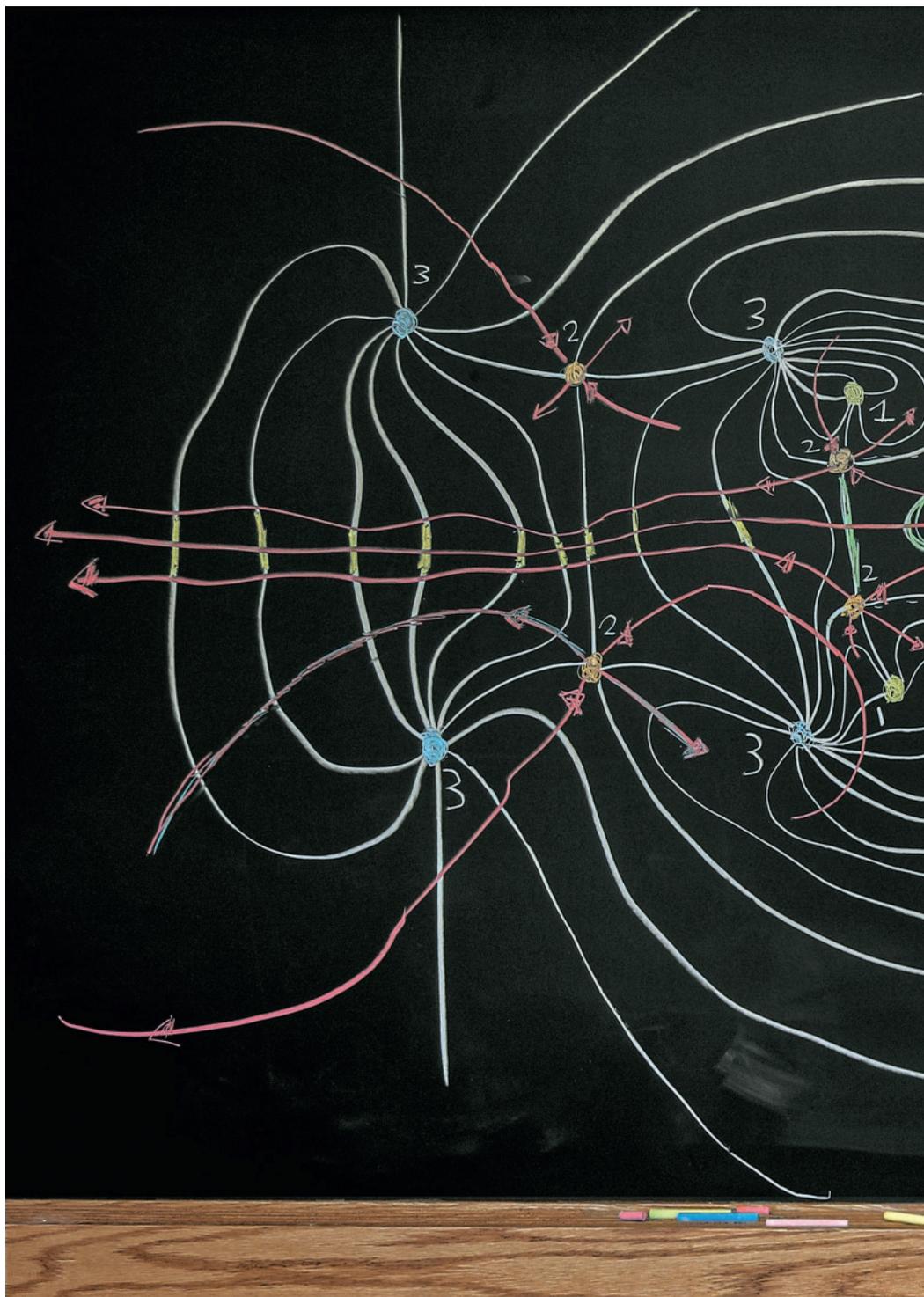
Пешеходы

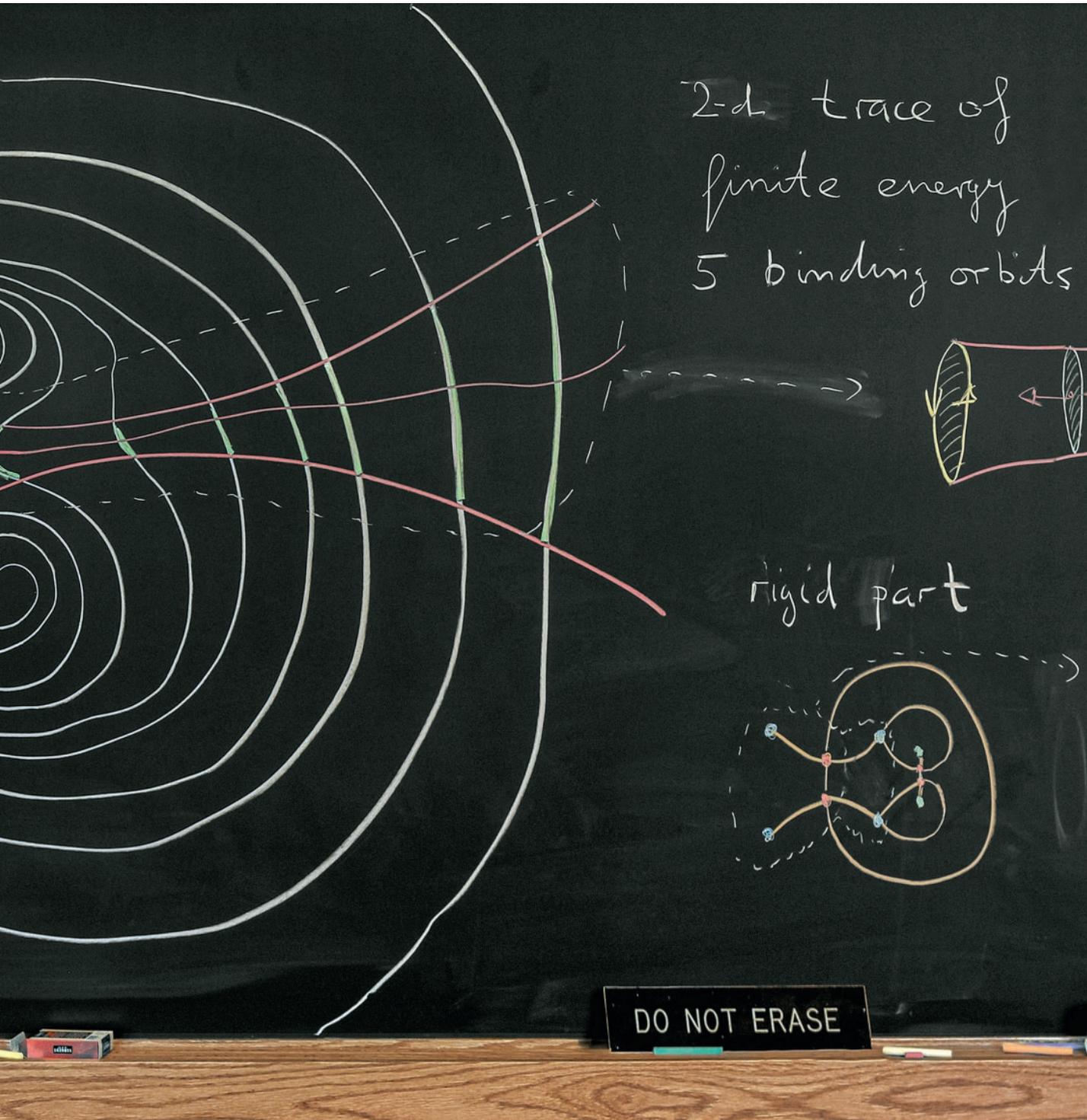
Каждая цветная линия — это путь пешехода по квадратной сетке так называемой вершинной модели. Пути пешеходов не могут пересекаться, поэтому когда двое встречаются, они должны решить, по какому пути пойдет каждый. Решение может быть предвзятым: например, пешеходы, обозначенные более холодными цветами, с большей вероятностью пойдут на восток по сравнению с пешеходами более теплых цветов, которых «тянет» на север. «Несмотря на довольно простую постановку задачи, эта модель тесно связана с рядом важных математических и физических явлений», — говорит Алексей Бородин, математик из МТИ. Эти и подобные модели могут быть расширены и включать намного больше пешеходов различных цветов. «Сочетание обманчивой простоты, скрытой глубины и эффективности математического анализа — вот что привлекает меня в этой системе. А еще мне нравится эстетический фактор», — добавляет Бородин.



Порядок хаоса

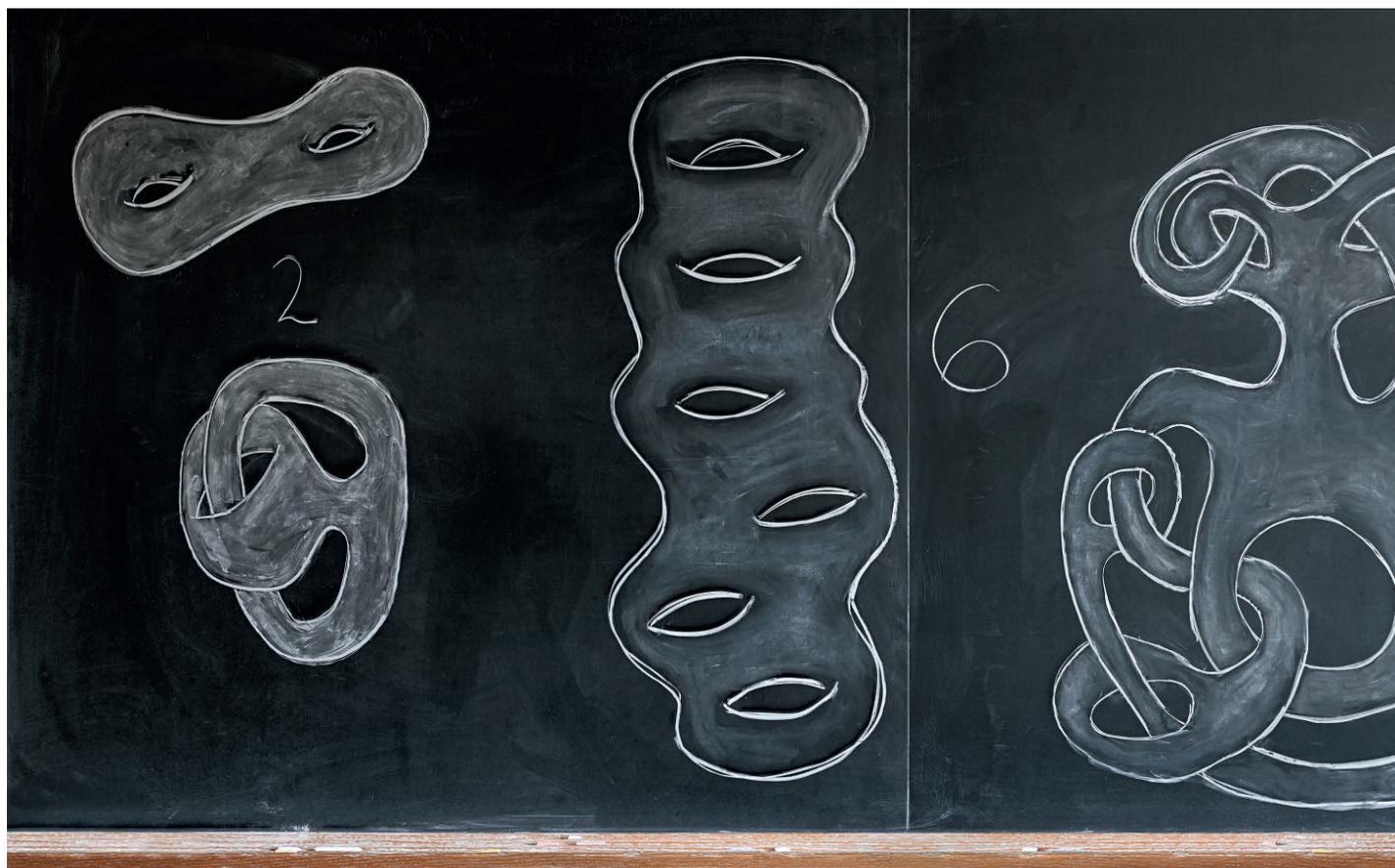
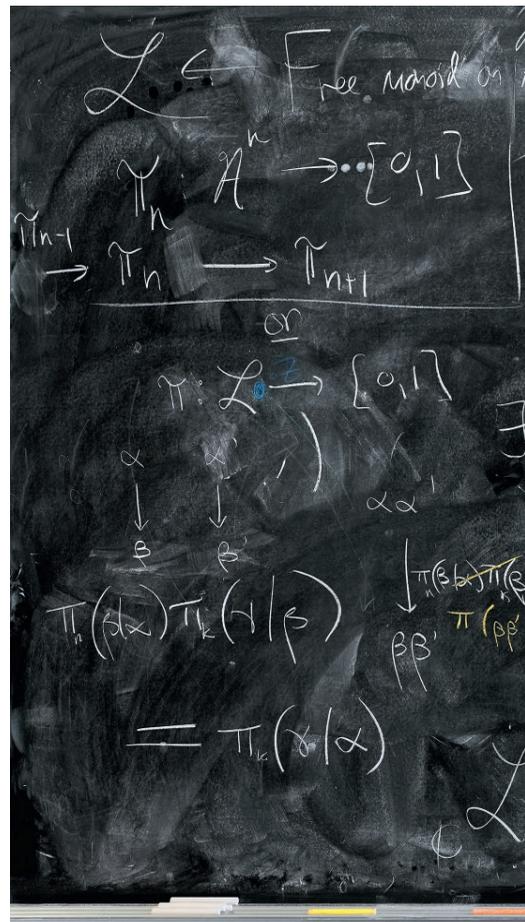
Оказывается, и в хаосе может быть закономерность. В период с 1999 г. по 2003 г. Хельмут Хофер (Helmut Hofer) совместно со своими коллегами из Института перспективных исследований в Принстоне, штат Нью-Джерси, разрабатывали новую теорию для изучения этого порядка — так называемую симплектическую динамику. Классная доска Хофера изображает «слоения конечной энергии» (белые линии) — инструменты для описания хаоса в динамической системе, например в системе трех тел, состоящей из Земли, Луны и движущегося между ними спутника. Эта сложная система связана с изменением положения и импульса спутника, когда он взаимодействует с гравитацией двух других тел. Хофер надеется, что «это понимание хаоса в конечном итоге найдет применение при разработке космических миссий». Например, фактор хаоса, учитывавшийся в более ранних исследованиях, использовался для решения задачи сохранения топлива космического аппарата за счет увеличения времени в пути. Хофер же предполагает, что новая работа может еще больше повысить экономию топлива без увеличения продолжительности миссии.

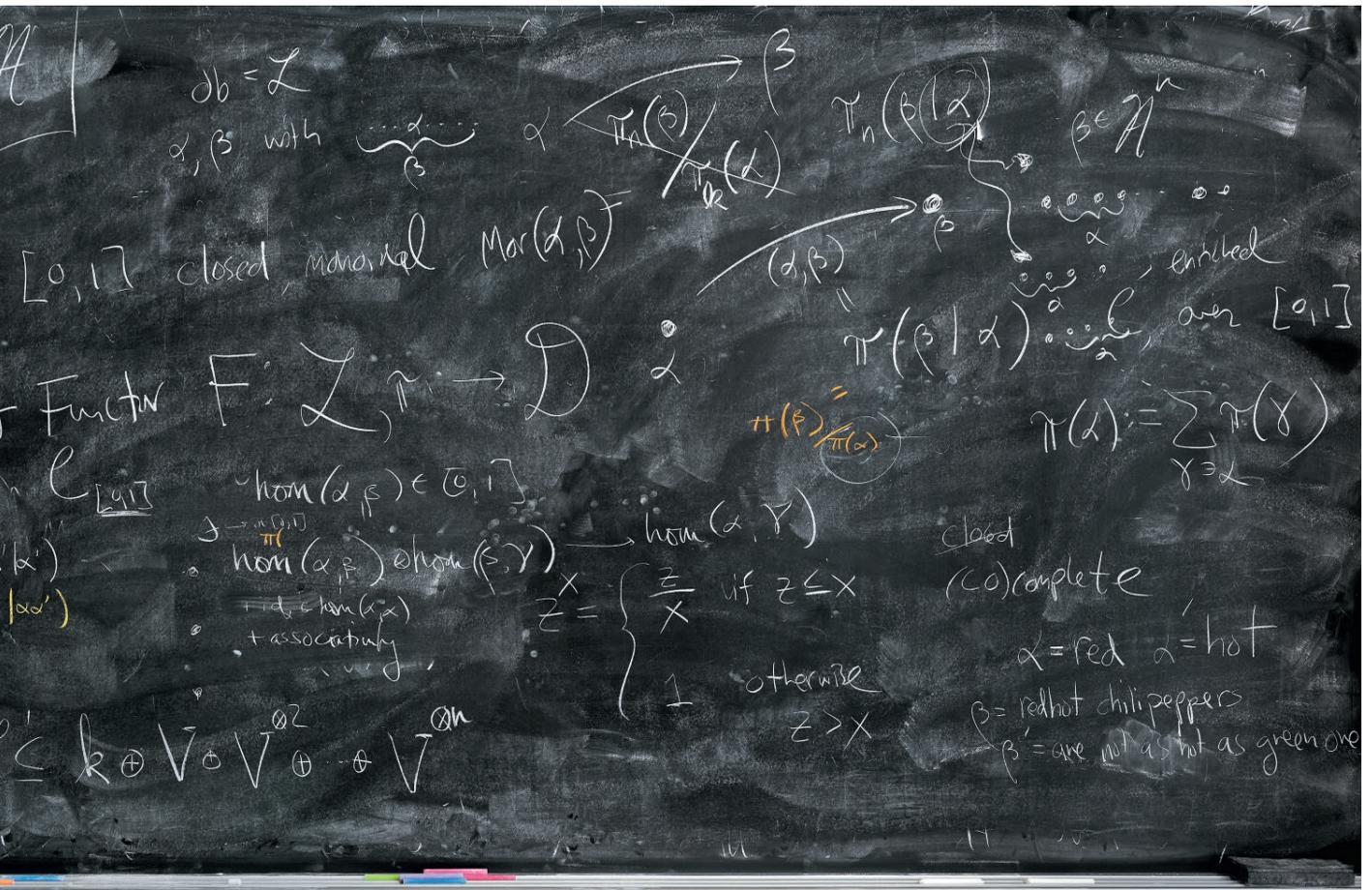




Соответствие форм

Согласно топологии, разделу математики, классифицирующему поверхности по количеству отверстий, содержащихся в них, чашка кофе и пончик имеют «одинаковую» форму. В сущности это означает, что путем непрерывных изменений, сжатий, растяжений и прочих «деформаций» (без разрезов и проделывания новых отверстий) их можно привести к одной и той же фигуре. Математики говорят, что они «топологически идентичны», точно так же как поверхности с меткой «2» и поверхности с меткой «6», изображенные на доске. «Это очень весело», — говорит Нэнси Хингстон (Nancy Hingston), математик из Колледжа Нью-Джерси, занимающаяся исследованием подобных форм в своей работе по дифференциальной геометрии.





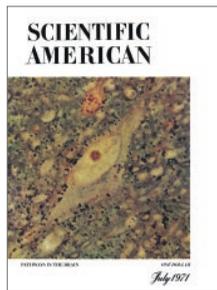
Сотрудничество

Классная доска часто оказывается идеальным инструментом для математического сотрудничества — визуальным, тактильным и даже эмоциональным полем для объединения идей и интуиции двух людей. Математики Джон Терилла (John Terilla) из Куинс-колледжа и Тай-Дэнэй Брэдли (Tai-Danae Bradley) из компании Moonshot Factory пытались понять скрытую математическую структуру, проявляющуюся в естественном языке. «Это был первый раз, когда мы рассуждали о формализации этой структуры, — говорит Терилла. — Мы с Тай работали за доской вместе, и здесь сохранились наши записи. Например, я крупно написал предложение "Существует функтор F [обозначаемый математическим символом \exists]", а строчка ниже "hot (alpha, beta) принадлежит $[0,1]$ " — это уже Тай». Математическая структура естественного языка — вот цель исследований Териллы. «Понять, что происходит, можно, осознав, что скрывается за кулисами, — говорит он. — Нужно подняться на уровень абстракции, чтобы что-то объяснить, подобно тому как путник взбирается на высокий холм, чтобы осмотреться вокруг и разведать дорогу вперед, на неизведанные территории».

Перевод: Д.С. Хованский

ИЗ НАШИХ АРХИВОВ

■ Math Is Beautiful, But Is It Art? Jen Christiansen; Scientific-American.com, January 27, 2015.



ИЮЛЬ 1971

Защита от вирусов. Единственный клинически пригодный способ борьбы с вирусными заболеваниями сегодня — прививка вакциной, стимулирующей в организме образование антител к этому вирусу. Другая возможность — использовать то, что, по всей видимости,

организует передовую линию защиты клетки: интерферон. Наша группа в Институте терапевтических исследований им. Мерка сконцентрировала свое внимание на полиинозиновой-полицитидиловой кислоте. Она показывает широкие потенциальные возможности использования интерферонного механизма. После проведения окончательных тестов, чтобы исключить опасность аутоиммунных расстройств, можно начать осторожные испытания этого вещества на людях для предотвращения вирусных инфекций, таких как простуда.



ИЮЛЬ 1921

Бессмертие для людей. Один опытный хирург искусственным путем более восьми лет сохранял живым вне организма кусочек ткани сердца эмбриона цыпленка. Примечательно, что при надлежащем уходе он будет жить вечно. Смысл этого ясен: «старения» отдельных

клеток не наблюдается. Хотя теоретически мы бессмертны, причина, по которой в действительности это не так, в том, что если какая-нибудь часть организма перестает работать, то нарушается работа других частей, зависящих от нее, и весь механизм разваливается. Но если мы сможем предотвратить такие поломки, мы, возможно, будем оставаться молодыми и энергичными. А вдруг недалеко тот день, когда большинство из нас смогут обоснованно ожидать, что проживут сто лет? А если сотню, почему бы и не тысячу?

Весомая слава. Со всеми почестями 25 июня мадам Кюри отплыла на «Олимпике», который перевозил и ее драгоценный грамм радия. Бюро стандартов США вручило ей красивый ящичек из красного дерева, облицованный свинцом и сталью. Небольшой по размерам, он весит 60 кг. Внутри находятся окруженные сталью несколько небольших свинцовых ячеек, в каждую помещена

стеклянная пробирка с образцами солей радия. На крышке золотая пластина с гравировкой: «Подарено президентом Соединенных Штатов от имени женщин Америки мадам Марии Склодовской-Кюри в знак признания ее исключительного служения науке и человечеству в деле открытия радия. Белый дом, 20 мая 1921 г.».



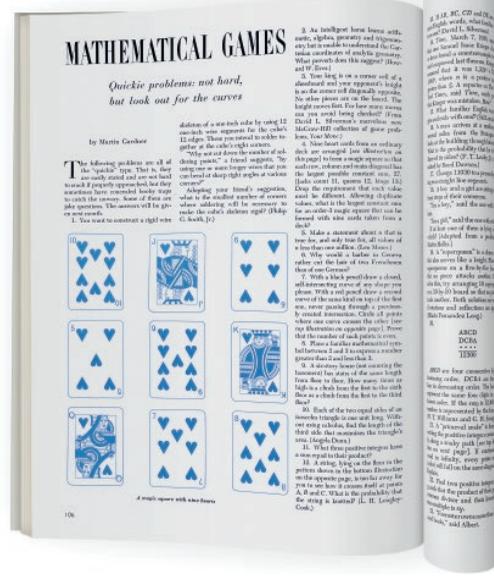
ИЮЛЬ 1871

Польза матанализа. Все метафизики и педагоги согласны с тем, что математический анализ задействует больше умственных механизмов, чем любая другая область обучения. Признавая этот факт, профессора должны рассматривать свое учреждение как гимна-

стический зал для ума, предоставляющий ему возможность упражняться, чтобы он смог исполнить свое высшее предназначение. Польза от решения задач матанализа, как и от всех остальных разделов чистой математики, — в том, что, оперируя абстрактными идеями, они готовят разум к успешному применению для решения глубоких и сложных вопросов реальной жизни.

Свой газ. В одном из особняков Пенсильвании природный газ питает люстры и камин в каждой комнате. На кухне представлен широкий и полный ассортимент газовых приборов. Ничего другого кроме газа в этом доме для отопления и освещения не используется. Скважина, укрытая небольшой постройкой, находится на заднем дворе, достаточно далеко от особняка; ее глубина — около 150 м, она облицована железной трубой и снабжена предохранительным клапаном.

Карточная задача, предложенная Мартином Гарднером в его ежемесячной колонке «Математические игры» в июле 1971 г.: «Девять карт червовой масти образуют магического квадрата, так что каждые строка, столбец и главная диагональ имеют одну и ту же максимальную возможную сумму: 27. (Валеты приравниваются к 11, дамы — к 12, короли — к 13.) Если разрешить одинаковые карты (разной масти), какова будет самая большая сумма, одинаковая в каждой строке, столбце и главной диагонали, образованная девятью картами одной колоды?»



Editor in Chief:

Copy Director:

Creative Director:

Managing Editor:

Chief Features Editor:

Chief News Editor:

Chief Opinion Editor:

Senior Editors:

Associate Editors:

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

Editors Emeriti:

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

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

Art Director: Jason Mischka

Senior Graphics Editor: Jen Christiansen

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Vice President, Commercial: Andrew Douglas

Publisher and Vice President: Jeremy A. Abbate

© 2021 by Scientific American, Inc.

В мире науки

SCIENTIFIC AMERICAN

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

в почтовых отделениях по каталогам:

«Роспечать», подписной индекс:
 81736 — для физических лиц,
 19559 — для юридических лиц;
 «Почта России», подписной индекс:
 16575 — для физических лиц,
 11406 — для юридических лиц;
 «Пресса России», подписной индекс: 45724,
www.akc.ru

по РФ и странам СНГ:

ООО «Урал-Пресс»,
www.ural-press.ru
 СНГ, страны Балтии и далее зарубежье:
 ЗАО «МК-Периодика»,
www.periodicals.ru
 РФ, СНГ, Латвия:
 ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,
www.akc.ru

Читайте в следующем номере

Смертоносное царство

Грибы, убивающие 1,6 млн человек ежегодно, становятся одними из самых опасных микроорганизмов на планете — и мы не знаем, как их остановить.

Наша жажда

Как вода стала движущей силой человеческой истории и эволюции.

По-настоящему живые ископаемые

После 100 млн лет, проведенных в донном осадке, микроорганизмы очнулись и начали размножаться.

Жизнь: издание улучшенное и дополненное

Натуральный белок — основа жизни. Но теперь специалисты научились создавать искусственные, что привело к появлению новой вакцины от COVID-19 и способно совершить революцию в биологии.

Новый способ сталкивать частицы

Чтобы достичь следующего рубежа фундаментальной физики, ученые должны разработать самые мощные ускорители частиц.



Электрический мозг

Воздействуя на мозг с помощью электродов, можно выявить расположение осознанных переживаний.

Ковер альтернатив

Для существования в мире с биосферой потребуются построить общества и взаимоотношения,



сконцентрированные на поддержании жизни — как людей, так и других биологических видов.

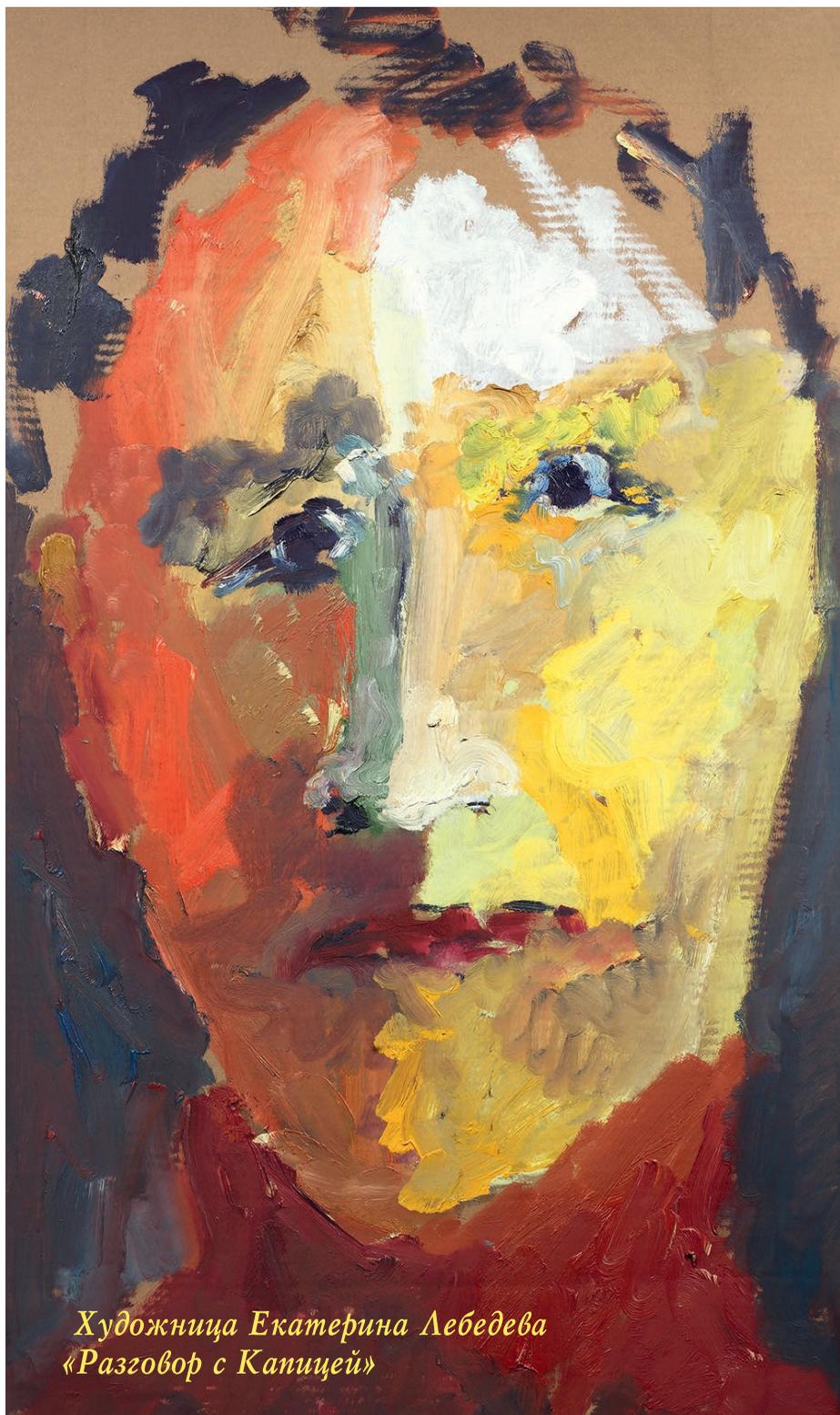
Как грязь могла бы помочь спасти планету

Методы сельского хозяйства, удерживающие CO₂ в почве или возвращающие его туда, ограничат как эрозию, так и изменение климата.



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия



*Художница Екатерина Лебедева
«Разговор с Капицей»*



Взгляд на науку с пристрастием

Актуальная информация
о науке и технике в России
и в мире

Открытия в разных
областях фундаментальной
и прикладной науки

Новости из научных
центров и вузов страны
и мира

scientificrussia.ru