

КАК МОЗГ СЛЕДИТ ЗА КИШЕЧНИКОМ

ОПЕРАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВЕСА ВЫЯВИЛИ СВЯЗЬ
МЕЖДУ РАБОТОЙ МОЗГА И ПИЩЕВАРИЕМ

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

12+

www.sci-ru.org

3 2019

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

НЕИДЕАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Почему мы в отличие
от своих человекообразных
сородичей должны сохранять
активность, чтобы быть здоровыми

ПЛЮС

В РИТМЕ ЖИЗНИ

Интервью с российским пионером хрономедицины

КОД ДЛЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Новая математика на службе у крупнейшего в мире ускорителя

БОРЬБА С РАКОМ

Упростить процедуру испытаний спасительных лекарств





4

Темы номера

ЭВОЛЮЦИЯ

Эволюция и тренировки

Герман Понцер

Людям в отличие от их родственников-приматов для здоровья необходим высокий уровень физической активности

БИОЛОГИЯ

Социальная жизнь бабуинов Амбосели 14

Лидия Дэнцурт

Сотрудничество между бабуинами, видимо, помогает им преодолеть последствия тяжелого детства; это может оказаться актуальным и для человеческого здоровья

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Мозг и еда

Брет Стетка

Может ли операция по снижению веса изменить взаимодействия между кишечником и мозгом?



40



50

СОДЕРЖАНИЕ

Март 2019

ИСТОРИЯ РОССИЙСКОЙ НАУКИ

На плечах гигантов

34

Ольга Беленицкая

4

19 февраля 2019 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого-математика академика **Александра Самарского**



ФИЗИКА

Движение без сопротивления

40

Валерий Чумаков

Новые материалы могут уже в ближайшие десятилетия кардинально изменить нашу жизнь: рассказывают члены-корреспонденты РАН **Николай Колачевский** и **Владимир Пудалов**



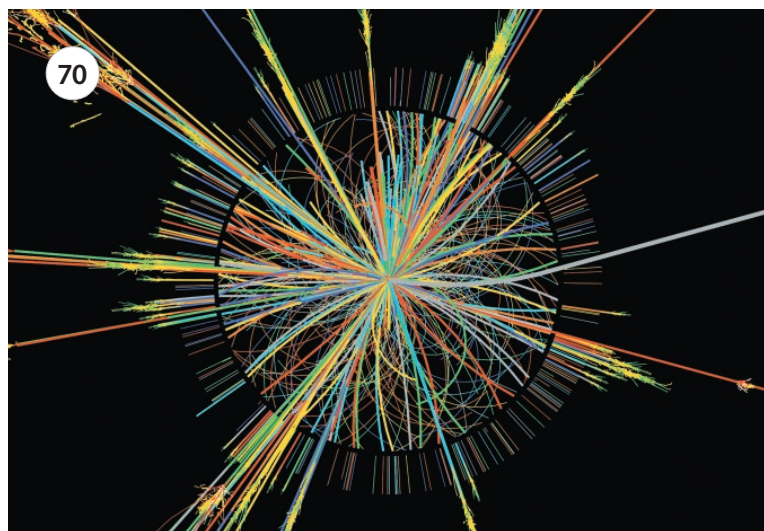
Магнитное поле науки

50

Ольга Беленицкая

26

Как измерить сверхмалые магнитные поля, работать на дрейфующей льдине, проверить теорию относительности, бороться с лженаукой — в интервью с академиком **Евгением Александровым**



70



14

МЕДИЦИНА

В ритме жизни

Наталья Лескова

О значении и важности хронобиологии и хрономедицины — разговор с пионером отмеченных Нобелевской премией исследований заслуженным деятелем науки РФ Семеном Рапопортом

58

АСТРОФИЗИКА

Нейтринные очки для космоса

Наталья Лескова

В эти дни на Байкале происходит историческое событие — запускается крупнейший подводный эксперимент по исследованию нейтрино

64

МАТЕМАТИКА

Код частицы

Мэттью фон Хиппель

Ученые разрабатывают математический аппарат, чтобы выявить новые частицы и явления на самом большом в мире ускорителе элементарных частиц

70

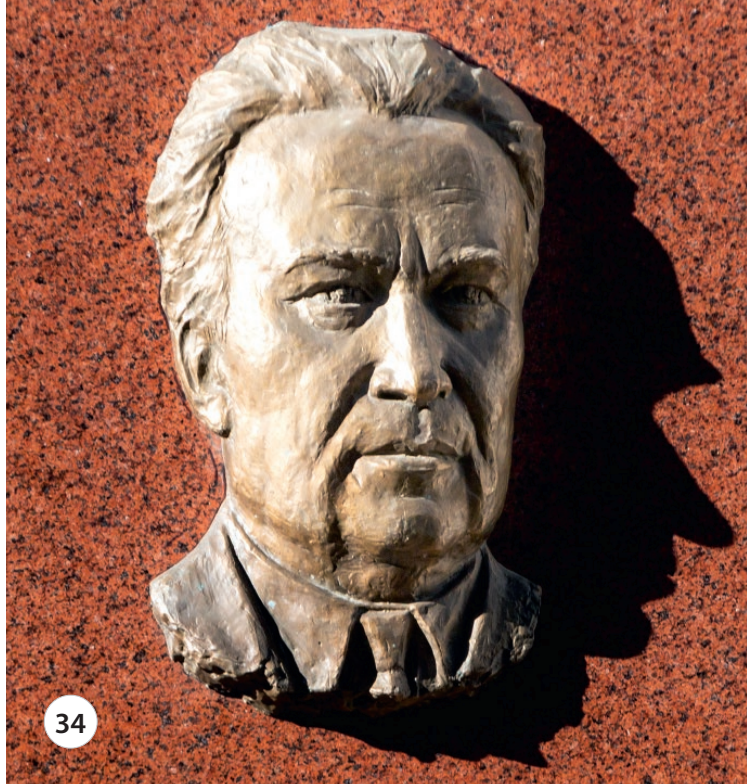
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Последняя надежда

Ричард Концифф

Сможем ли мы удалить достаточно CO₂ из атмосферы, чтобы замедлить или даже повернуть вспять изменение климата?

78



34

МЕДИЦИНА

Право на попытку

Дэвид Фридман

Большинству онкологических больных, никогда не попадающих на испытания новейших препаратов, не удастся это из-за препятствий, стоящих на пути врачей муниципальных больниц

88

ЭКОЛОГИЯ

Термиты и волшебные круги

Лиза Маргонелли

Взаимодействие термитов и растительности объясняет загадочные узоры, наблюдаемые по всему миру

96

Разделы

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

104



78



96

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



РОСАТОМ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



очевидное
невероятное



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

Основатель и первый главный редактор
журнала «В мире науки / Scientific American»
профессор Сергей Петрович Капица



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортв

Главный научный консультант:

президент РАН акад. А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

акад. Е.Б. Александров; д.ф.-м.н. Ж.М. Джилкибаев; член-корр. РАН Н.Н. Колачевский;
член-корр. РАН В.М. Пудалов; д.м.н. С.И. Рапопорт; акад. Б.Н. Четверушкин

Над номером работали:

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

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

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

В.Е. Фортв

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

Адрес редакции:

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

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

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:



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

Заказ № 100

© 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.

Памяти

Жореса Ивановича Алферова



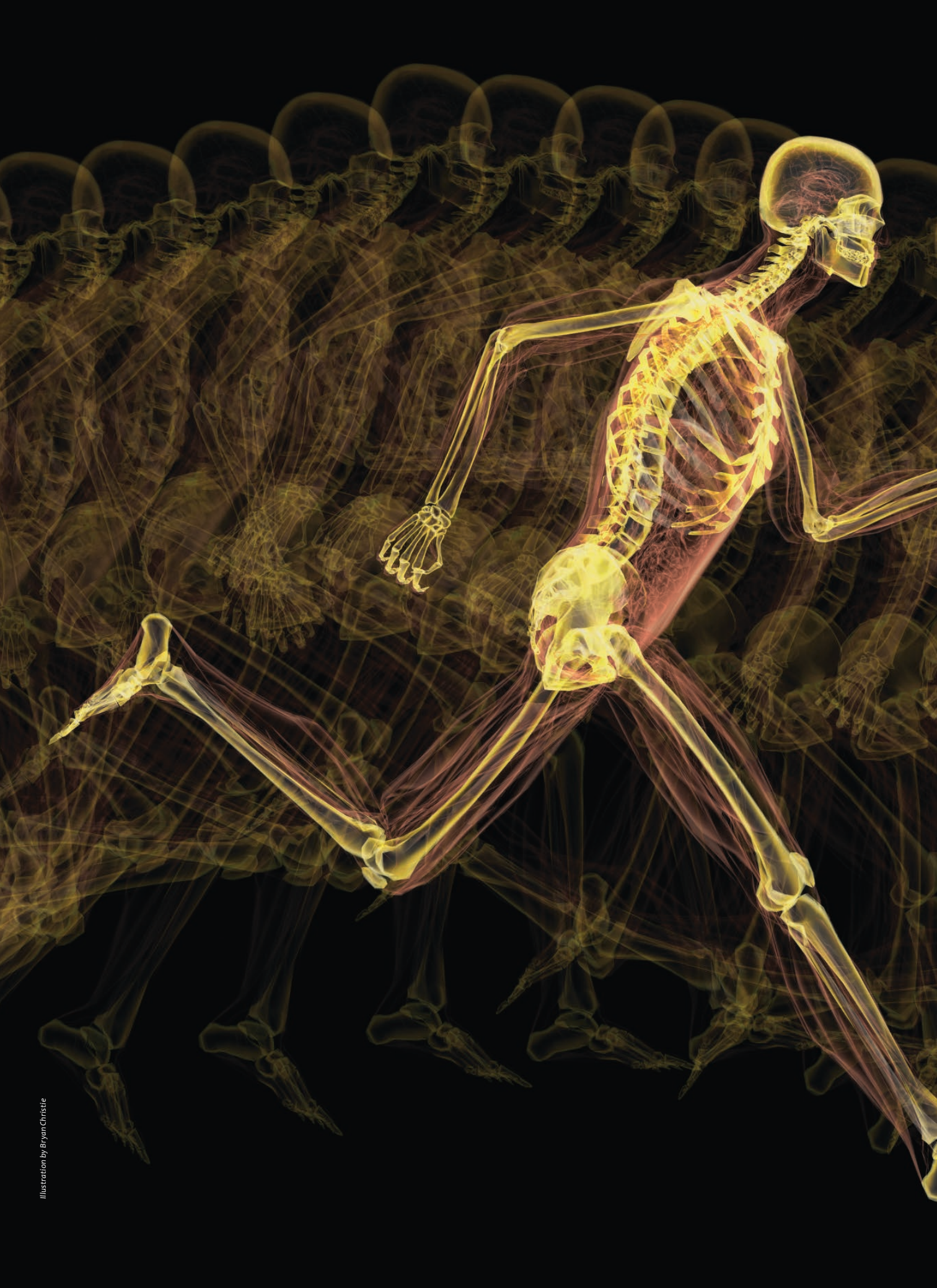
Мы простились с великим ученым, академиком Жоресом Ивановичем Алферовым. Это огромная, невозполнимая утрата и для тех, кто его знал, работал с ним, учился у него, и для всего общества — не стало последовательного и самоотверженного защитника науки и ученых. Комментируя кончину Ж.И. Алферова, президент Российской академии наук А.М. Сергеев сказал, что он был «высшей, самой яркой точкой» российской науки. «Но у меня, — добавил А.М. Сергеев, — сейчас на первый план выходит то, что он был самым пламенным защитником российской науки. Для этого он использовал не только академическую трибуну, но и трибуну Госдумы».


Ж.И. Алферов неоднократно печатался в нашем журнале. Каждая встреча с ним — ярким, умнейшим собеседником — была праздником для нашей редакции, а его интервью всегда вызывали особый интерес и живой отклик у читателей журнала.

В 2013 г. Ж.И. Алферов дал нашему корреспонденту большое и очень откровенное интервью. Фрагмент из него был опубликован (ВМН, № 5, 2013), но значительную часть материала Жорес Иванович из скромности попросил не включать — считал, что там слишком много о нем самом. Мы выполнили его просьбу, взяв из беседы только то, что касается науки. И вот, спустя шесть лет, мы приняли решение напечатать интервью полностью, считая, что не имеем права лишать своих читателей материала, ставшего уникальным. Полная версия интервью с Ж.И. Алферовым будет опубликована в следующем номере нашего журнала.

Мы глубоко скорбим об уходе выдающегося ученого и прекрасного человека и выражаем соболезнования родным и близким Жореса Ивановича Алферова, его коллегам и ученикам. ■

Редакция журнала «В мире науки / Scientific American»





ЭВОЛЮЦИЯ

ЭВОЛЮЦИЯ И ТРЕНИРОВКИ

Людам в отличие от их родственников-приматов
для здоровья необходим высокий уровень
физической активности

Герман Понцер

ОБ АВТОРЕ

Герман Понцер (Herman Pontzer) — специалист по эволюционной антропологии, доцент в Дюкском университете. Он изучает, как в процессе эволюции формировались физиология и здоровье человека.



Около 20 лет назад, в предрассветной сырости дождевого леса Уганды, я наблюдал сквозь полог пышной листвы за группой из восьми шимпанзе, спящих на деревьях. Мы — команда из трех исследователей и двух полевых сотрудников — проснулись часом раньше и, поспешно собрав рюкзаки и натянув резиновые сапоги, при свете налобных фонарей отправились к месту назначения. Теперь, выключив свет, мы стояли молча, погруженные в черный океан леса, поверхность которого находилась на высоте 30 м, и слушали, как шимпанзе пыхтят и ворочаются в своих покрытых листьями гнездах.

Тем летом я, молодой аспирант, изучающий эволюцию человека и других приматов, приехал в Национальный парк Кибале, чтобы оценить, как много времени шимпанзе проводят каждый день, лазая по деревьям. Мне казалось, что энергия, затрачиваемая при подъеме, может быть определяющим фактором в экологии и эволюции шимпанзе, влияющим на анатомию: лазанье должно быть максимально эффективным, чтобы сохранить калории для репродукции и выполнения других важнейших задач. За несколько месяцев до этого, размышляя над планами летних исследований за удобным столом в заснеженном Гарварде, я представлял себе шимпанзе, ведущих героическую борьбу за существование. Но тем летом, когда я вошел в ритм полевой работы, следуя за шимпанзе с рассвета до заката, я пришел к совершенно иному выводу: шимпанзе ленивы. Только недавно я понял, что лень человекообразных обезьян рассказывает нам об эволюции человека.

Людей интересуют другие человекообразные обезьяны, потому что мы видим в них много общего с нами. Дело не только в том, что наша ДНК более

чем на 97% совпадает с ДНК орангутанов, горилл, шимпанзе и бонобо. Человекообразные обезьяны умны, используют орудия, ссорятся и мирятся и незаметно ускользают, чтобы заняться сексом. Некоторые обезьяны могут в борьбе за территорию убивать соседей и охотиться на другие виды. Дети ныши учатся у матерей, играют и борются друг с другом и устраивают истерики. И чем дальше мы заглядываем в палеонтологическую летопись, тем больше наши предки похожи на других человекообразных обезьян. Ни один современный вид не представляет собой идеальную модель прошлого: все меняется со временем. Но ныне живущие человекообразные обезьяны позволяют узнать, откуда мы появились, и понять, как много в нас осталось неизменным с древности.

И все же различия, а не сходства между людьми и другими человекообразными обезьянами проливают свет на механизмы работы нашего тела. Изучение ископаемых останков, исследования в зоопарках и лабораториях по всему миру показывают, насколько радикально изменились наши тела за последние 2 млн лет. Ученые десятки лет знали,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Наши ближайшие родственники среди ныне живущих человекообразных обезьян отличаются низким уровнем физической активности, но лень не сказывается пагубно на их здоровье.
- Человек развивался в процессе эволюции так, что ему необходим намного более высокий уровень физической нагрузки, чтобы быть здоровым.
- Новые исследования показывают, что поскольку анатомия и поведение человека менялись в течение последних 2 млн лет, то менялась и физиология.
- Мы физиологически адаптировались к интенсивным физическим нагрузкам, которые требуются для охоты и собирательства.



Праздное времяпрепровождение. Семейство горных горилл (Руанда) отдыхает. Человекообразные обезьяны остаются здоровыми при низком уровне активности.

что последняя глава нашей эволюции связана с огромными анатомическими и экологическими изменениями, в том числе с увеличением размера мозга, переходом к охоте и питанию мясной пищей, постоянным усложнением каменных орудий и увеличением размера тела. Но исследователи, как правило, предполагали, что эти изменения касались формы и поведения, но не фундаментальной функции клеток. Современные достижения меняют эту точку зрения, показывая, что люди изменились и на физиологическом уровне. В отличие от наших родственников — человекообразных обезьян — в ходе эволюции у человека появилась зависимость от физической активности. Чтобы выжить, нам необходимо двигаться.

Утраченный рай

Обычный распорядок дня шимпанзе в дикой природе напоминает ежедневное расписание полусонных пенсионеров во время круиза по Карибскому морю, хотя и с меньшим количеством организованных занятий. Подъем с зарей, потом завтрак (фрукты). Навевшись досыта, найти местечко, чтобы подремать, может, немножко почиститься.

Примерно через час (никакой спешки!) отправиться на поиски освещаемого солнышком фигового дерева и опять поесть. Возможно, встретиться с друзьями, еще почиститься, опять подремать. Около 17:00 — ранний ужин (фрукты, может, немного листьев), а затем надо найти подходящее дерево для сна, соорудить гнездо и лечь спать. Конечно, иногда бывают и драки, и охота на мелкую обезьяну другого вида, и исступленный хор из пыхтящих звуков и улюлюканья (когда фрукты очень вкусные), и альфа-самец должен выделить время в течение дня, чтобы поколотить несколько жертв или продемонстрировать могущество. Но в целом шимпанзе живут довольно спокойно и расслабленно.

И не только шимпанзе. Орангутаны, гориллы и бонобо тоже ведут кажущийся ленивым образ жизни, от которого предостерегают детские сказки и программы по борьбе с наркотиками в старшей школе. Человекообразные обезьяны тратят на отдых, груминг и еду 8–10 ч в день и спят по 9–10 ч ночью. Шимпанзе и бонобо проходят примерно 3 км в день, а гориллы и орангутаны — и того меньше. А лазанье по деревьям? Тем летом я обнаружил, что шимпанзе покоряют в общей

сложности примерно 100 м в день, что по затрате калорий равно ходьбе на расстояние 1,5 км. Орангутаны лазают по деревьям примерно столько же. А гориллы, несомненно, занимаются альпинизмом еще меньше, хотя это еще предстоит оценить.

Подобный уровень активности у людей привел бы к серьезным проблемам со здоровьем. Если мы проходим в день меньше 10 тыс. шагов, то возрастает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и нарушений обмена веществ. Взрослые американцы обычно проходят примерно 5 тыс. шагов, и это приводит к вызывающему тревогу уровню заболеваемости диабетом II типа (поражает одного из десяти американцев) и болезнями сердца (причина четверти смертей в США). С учетом этих данных человекообразные обезьяны должны находиться в большой беде. Если для сравнения пересчитать хождение и лазанье по деревьям в число шагов в день, то становится видно, что по количеству шагов человекообразные обезьяны редко демонстрируют даже скромные показатели, характерные для людей, ведущих сидячий образ жизни, и никогда не достигают стандартного уровня для человека — 10 тыс. шагов в день.

Следовательно, вся жизнь обезьян связана с сидением и отдыхом. Для людей сидение за столом или перед телевизором в течение длительных периодов чревато повышением риска заболеваний и уменьшением продолжительности жизни, даже для тех, кто занимается физическими упражнениями. Во всем мире отсутствие физической активности наравне с курением считается фактором риска для здоровья, убивающим свыше 5 млн людей ежегодно. У представителей взрослого населения Шотландии, проводивших перед телевизором больше двух часов в день, на 125% возросло число случаев инфарктов или приступов стенокардии. Исследование среди австралийцев показало, что каждый дополнительный час перед телевизором сокращает ожидаемую продолжительность жизни на 22 мин. Я упрощу подсчеты: просмотр всех серий «Игры престолов» подряд в течение 63,5 часов будет стоить вам одного дня жизни на этой планете.

И все же шимпанзе и другие человекообразные обезьяны остаются относительно здоровыми при своем обычно низком уровне физической активности. Даже в неволе они редко болеют диабетом, а артериальное давление не повышается с возрастом. Несмотря на то что у шимпанзе естественный высокий уровень холестерина, их сосуды не утолщаются и не закупориваются. Поэтому у шимпанзе не бывает болезней сердца, подобных человеческим, или инфарктов из-за закупорки коронарных артерий. И шимпанзе остаются худыми. В 2016 г. мы со Стивом Россом (Steve Ross) из зоопарка Линкольн-парка в Чикаго и командой других ученых оценивали уровень метаболизма и состав тела

человекообразных обезьян, живущих в зоопарках на территории США. Результаты оказались ошеломляющими: даже в неволе у горилл и орангутанов доля жировой ткани в среднем составляет от 14 до 23%, а у шимпанзе — меньше 10%, наравне со спортсменами-олимпийцами.

Мы, люди, — странные человекообразные обезьяны, отличающиеся от своих родственников-приматов. Каким-то образом в ходе эволюции у людей появилась потребность в более высоком уровне физической активности для нормального функционирования организма. Сидение часами, груминг и короткий сон днем (или время перед телевизором) превратились из обычной практики в факторы риска для здоровья. Когда и почему мы обменяли тихое существование, характерное для наших родственников-обезьян, на более энергичный стиль жизни? Ископаемые находки помогают собрать обрывки истории воедино.

Разветвление

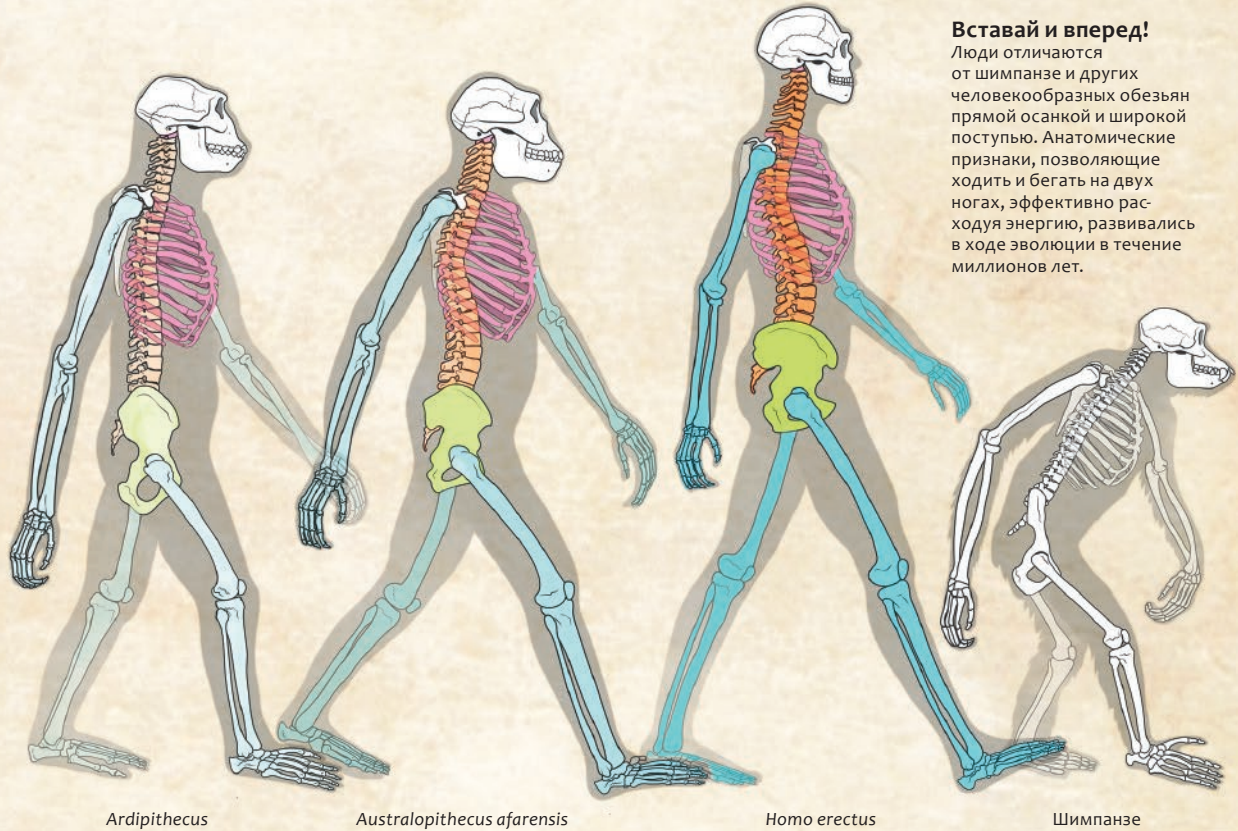
Наша ветвь в родословной приматов — гоминины — отделилась от ветви шимпанзе и бонобо примерно 6 или 7 млн лет назад, почти в конце миоцена. До недавнего времени было обнаружено всего несколько ископаемых останков самых первых представителей гомининов. Затем, в течение 2000-х гг., палеоантропологи, работавшие в Чаде, Кении и Эфиопии, сообщили о находках трех гомининов этого важного периода: *Sahelanthropus*, *Orrorin* и *Ardipithecus*.

Каждый представитель первых гомининов отличался от любых современных человекообразных обезьян целым рядом анатомических деталей черепа, зубов и скелета. Тем не менее за исключением хождения на двух ногах эти виды, по-видимому, вели существование, подобное нынешним человекообразным обезьянам. Их моляры похожи по размеру на моляры шимпанзе, они такие же острые, но с более плотной эмалью, что указывает на смешанную диету из фруктов и другой растительной пищи. У ардипитека — к настоящему времени наиболее известного представителя древних гомининов, найденного в Эфиопии в отложениях возрастом 4,4 млн лет, — были длинные руки с длинными согнутыми пальцами и стопы хватательного типа, свидетельствующие о том, что частично он проводил жизнь на деревьях. Новый биомеханический анализ, который осуществила моя аспирантка из Городского университета Нью-Йорка Элейн Козма (Elaine Kozma), показывает, что у *Ardipithecus* в ходе эволюции появились анатомические изменения таза, дающие возможность передвигаться по земле в вертикальном положении, эффективно расходуя энергию, но не нарушающие способность лазать по деревьям. Нашим древним предкам, несомненно, было удобно в обоих мирах: и на земле, и на деревьях.

Создан для движения

Поскольку в процессе эволюции у гомининов появились анатомические изменения, способствующие прямохождению, они могли передвигаться на большее расстояние с меньшими затратами энергии, и это позволило им занять новые места обитания. С появлением охоты уровень активности

гомининов еще больше увеличился, и им было необходимо еще дальше путешествовать в поисках пищи. Человек физиологически адаптировался к такому физически активному образу жизни настолько, что нам необходимы физические упражнения, чтобы оставаться здоровыми.



Вставай и вперед!

Люди отличаются от шимпанзе и других человекообразных обезьян прямой осанкой и широкой поступью. Анатомические признаки, позволяющие ходить и бегать на двух ногах, эффективно расходую энергию, развивались в ходе эволюции в течение миллионов лет.

Эволюция по частям

Древние предки человека, включая ардипитека и австралопитека, передвигались на двух ногах, но при этом сохраняли адаптации для лазанья по деревьям, питались в основном растительной пищей, как современные человекообразные обезьяны, и жили исключительно в Африке. Уже 1,8 млн лет назад в результате эволюции у представителей рода *Homo* появились современные пропорции тела, пищевые привычки, обусловленные охотой и собирательством, и первые люди расселились из Африки по Евразии.

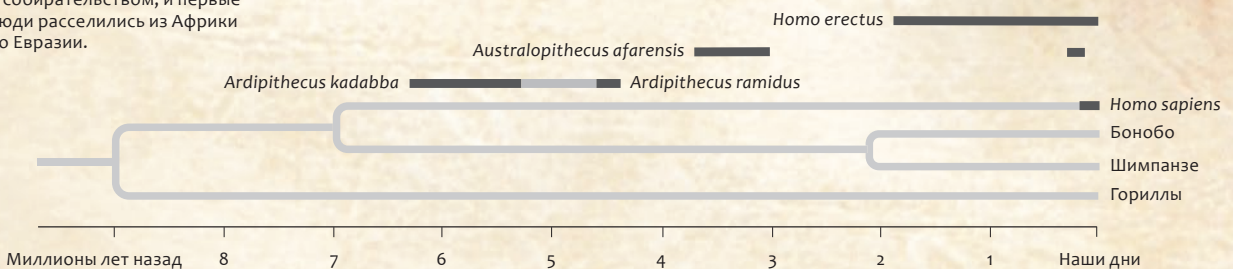


Illustration by Mese Schumacher

В период между 4 и 2 млн лет назад в летописи гомининов доминирует род *Australopithecus*, к настоящему времени насчитывающий по меньшей мере пять видов, включая знаменитую Люси и ее родственников. Анатомические изменения нижней конечности указывают, что австралопитеки были более приспособлены к прямохождению и проводили на земле больше времени по сравнению с более древними видами. У австралопитеков исчезла стопа хватательного типа, большой палец стопы расположен на одной линии с другими пальцами, ноги длиннее, и при этом наблюдается такое же соотношение длины ноги и всего тела, как у ныне живущих людей. Анализ строения таза, который провела Козма, вместе с недавним исследованием окаменелых отпечатков стопы из Лаэтоли в Танзании показывает, что это существо обладало эффективной современной походкой. Длинные руки и пальцы говорят о том, что эти гоминины регулярно забирались на деревья за едой и, возможно, для сна. Исследования следов износа на зубах показывают, что австралопитеки питались преимущественно растительной пищей, так же как древнейшие гоминины и современные человекообразные обезьяны. Исходя из того, что австралопитеки обладали крупными молярами с толстой эмалью, можно считать наиболее вероятным, что их рацион состоял в основном из более жестких и богатых волокнами продуктов, особенно когда предпочитаемая пища была недоступна.

Изменение походки этих древних гомининов в процессе эволюции — прямохождение на двух ногах, широкий шаг — очень важный элемент, указывающий на иной способ передвижения по ландшафту. Способность преодолевать большее расстояние с меньшими затратами энергии, возможно, позволила этим видам расширить среду обитания по сравнению с современными человекообразными обезьянами и процветать в менее продуктивных районах. Произошли и другие примечательные и интересные изменения, такие как утрата крупных острых клыков у самцов, что, по-видимому, отражает изменение социального поведения. Тем не менее растительная диета и сохранившиеся адаптации к лазанию по деревьям говорят о том, что австралопитеки добывали пищу и проводили дни почти так же, как человекообразные обезьяны: каждый день они проходили, вероятно, небольшие расстояния и много времени проводили, отдыхая и переваривая волокнистую растительную пищу. Маловероятно, что им требовалось пройти или они проходили по 10 тыс. шагов в день.

Просмотр «Игры престолов» подряд в течение 63,5 часов будет стоить вам одного дня жизни на этой планете

Примерно 2 млн лет назад начинают появляться явные признаки существования любопытных и умных гомининов, экспериментировавших с новыми идеями и методами. В 2015 г. в Кении, на западном берегу озера Рудольф (Туркана), Соня Харманд (Sonia Harmand) из Университета Стони-Брук с коллегами извлекли из отложений возрастом 3,3 млн лет крупные громоздкие каменные орудия, отдельные из которых весили больше 13,6 кг. За последние 15 лет во время раскопок в Эфиопии и Кении на стоянках возрастом 2,6 млн лет обнаружили каменные орудия вместе с окаменелыми костями животных с характерными выемками и царапинами, свидетельствующими о разделке туш. На стоянках возрастом 1,8 млн лет кости со следами рубки и каменные орудия стали нормой, и не только больные и раненые животные становились жертвами для этих гомининов. Исследования разрубленных костей из ущелья Олдувай в Танзании показывают, что мишенью служили копытные в расцвете сил. Настолько же важно, что около 1,8 млн лет назад гоминины расселились из Африки по Евразии — от предгорий Кавказских гор до дождевых лесов Индонезии. Наши предки преодолели экологический барьер и оказались способны процветать повсюду.

Забудьте истории о тайной встрече в Эдемском саду и о Прометее, раздавшем огонь. Именно манипуляции с камнями и добычей в течение миллиона лет и разработка стратегии охоты и собирательства привели к отделению нашего рода от других человекообразных обезьян, изменившему все безвозвратно. Этот тектонический сдвиг ознаменовал эволюционное появление рода *Homo*.

Пища для размышлений

В экологии и эволюции диета — это судьба. То, чем питается животное, влияет не только на его зубы и пищеварительный тракт, но и на физиологию в целом и образ жизни. Виды эволюционно приспособлены питаться той пищей, которая находится в достаточном количестве поблизости, и не надо отпирываться слишком далеко или быть слишком ловким, чтобы наестся; трава не прячется и не убегает. Питание труднодобываемыми продуктами означает, что надо больше двигаться, и зачастую связано с усовершенствованием когнитивных навыков. Например, питающиеся фруктами паукообразные обезьяны в Центральной и Южной Америке обладают более крупным мозгом и каждый день перемещаются на расстояние в пять раз большее, чем ревуны — любители листьев. Плотоядные животные африканской саванны в день

покрывают в три раза большее расстояние, чем травоядные, на которых они охотятся.

Переход от простого собирательства, свойственного человекообразным обезьянам и древним гомининам, к стратегии охоты и собирательства, характерной для рода *Homo*, имел серьезные последствия: эти социально организованные приматы оказались еще более крепко связаны. Для того чтобы питаться мясом, необходимы кооперация и разделение пищи, и не только потому, что невозможно в одиночку убить или съесть зебру. Мясо трудно добыть, поэтому занятия охотой и собирательством становятся возможны благодаря разделению более предсказуемой растительной пищи. В современных популяциях охотников-собирателей около половины суточной потребности в калориях обеспечивается за счет растений. Недавно проведенные исследования остатков пищи в зубных камнях ископаемых зубов показали, что даже у неандертальцев — искусных охотников, аватары с которыми повсеместно используются приверженцами палеодиеты, бойкотирующими овощи, — был сбалансированный рацион с большим количеством растений, в том числе хлебных злаков.

С появлением охоты и собирательства также была «учреждена» эволюционная премия за интеллект: изобретение технологических приспособлений означало большее количество калорий и большие шансы на воспроизводство. Социальные навыки оказались бесценными, поскольку координация и коммуникация стали неотъемлемой частью стратегии гомининов. В 2018 г. Элисон Брукс (Alison Brooks) из Университета Джорджа Вашингтона, Рик Поттс (Rick Potts) из Национального музея естественной истории при Смитсоновском институте и их коллеги опубликовали данные о находках на стоянке в Олоргежайли в Кении, которые свидетельствуют, что 320 тыс. лет назад когнитивные способности гомининов достигли уровня сложности, близкого к наблюдаемому у современных людей. Ученые обнаружили черные и красные пигменты для творческого выражения и действующие на дальнем расстоянии сети обмена высококачественным материалом для каменных орудий. Возраст этих находок совпадает с датировкой древнейших (на настоящий момент) останков *Homo sapiens*, найденных на стоянке возрастом 300 тыс. лет Джебель-Ирхуд в Марокко, о которых сообщалось в 2017 г.

Более того, чтобы добывать пищу охотой и собирательством, гомининам приходилось больше трудиться. Простое продвижение вверх в пищевой цепочке означает, что пищу труднее найти: в окружающем ландшафте имеется намного больше «растительных» калорий, чем «животных». Охотники-собиратели исключительно активны и обычно проходят в день 9–14 км пешком — от 12 до 18 тыс. шагов. Мы с Дэвидом Рэйкленом (David Raichlen)

из Аризонского университета и Брайаном Вудом (Brian Wood) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе провели исследование популяции охотников-собирателей племени хадза в северной Танзании. Оказалось, что мужчины и женщины этой группы ежедневно испытывают физическую нагрузку, равную обычной еженедельной нагрузке американцев, и перемещаются в день на расстояние в три-пять раз больше, чем любые человекообразные обезьяны. Первые представители нашего рода, не располагавшие техническими изобретениями, такими как лук и стрелы, вероятно, были еще более активны. В знаковой статье 2004 г. Деннис Брамбл (Dennis Bramble) из Университета Юты и Дэниел Либерман (Daniel Lieberman) из Гарвардского университета, указывая на ряд особенностей скелета *Homo erectus*, вероятно, свидетельствующих о выносливости при беге, утверждали, что наш род эволюционно развивался, чтобы преследовать добычу до ее истощения.

Кажется, что продолжавшиеся в течение последних 2 млн лет увеличение размера мозга и усложнение технологии накапливались, подобно растущему снежному кому, катящемуся по склону холма, но представление о существовании какого-то толчка, импульса — это иллюзия. У эволюции великолепная память, но нет планов. В 2015 г. Ли Бергер (Lee Berger) с коллегами из Витватерсрандского университета в ЮАР объявили об открытии сотен останков *Homo naledi* — нового вида, извлеченного из отложений в системе подземных пещер Восходящая звезда в Южной Африке, возраст которого определяется между 335 и 236 тыс. лет. По-видимому, этот вид гомининов (у которых размер мозга лишь на 10% больше мозга австралопитеков, а размер тела такой же, как у первых *Homo*) представляет собой группу внутри нашего рода, «застывшую» в раннем плейстоцене и довольно успешно существовавшую более миллиона лет без постоянного увеличения размера мозга, наблюдающегося у других видов *Homo*. *Homo naledi* — это важное напоминание о том, что эволюция не стремится к чему-то определенному. Наше появление вовсе не было неизбежным.

Акулы саванны

Ни один признак не развивается изолированно: головной мозг должен плотно прилегать к внутренней поверхности черепа, зубы должны крепиться к челюсти; мышцы, нервы и кости должны функционировать гармонично. Поведенческие признаки — не исключение. Когда поведенческая стратегия, такая как охота и собирательство, становится нормой, появляются физиологические адаптации, соответствующие ей и даже зависящие от подобной стратегии.

Рассмотрим, например, ситуацию с синтезом витамина C. Для выработки организмом этого

необходимого витамина у первых млекопитающих в процессе эволюции появился многоступенчатый процесс. Этот каскад, в котором задействовано несколько генов, сохранился у современных грызунов, плотоядных и многих других млекопитающих. Наши предки-приматы десятки миллионов лет назад настолько увлекались питанием фруктами, богатыми витамином С, что синтез его в организме стал излишним. Появилась физиологическая адаптация к поведению: в гене, задействованном на последнем этапе синтеза, накапливались мутации. В результате организм современных приматов-антропоидов, включая людей, не способен синтезировать витамин С, поэтому при отсутствии этого витамина в рационе человек может заболеть цингой и умереть.

Менее очевидный, но близкий к теме пример — эволюция особой формы дыхания, которая называется пассивным дыханием, у нескольких видов акул и скумбриевых (группы, к которой относятся тунец и скумбрия). У данных групп животных в процессе эволюции появилось крайне активное пищевое поведение: они плавают без остановки днем и ночью. Их организм анатомически и физиологически адаптировался, и постоянное движение вперед используется для пассивного заглатывания воды через рот и пропускания через жабры. Такое изменение устранило необходимость активно прокачивать воду через жабры и привело к утрате в ходе эволюции соответствующей жаберной мускулатуры. Подобная утрата экономит энергию, но представители таких видов стали уязвимы к удушью: если они остановятся, то погибнут.

Хотя давно известно, что тренировки полезны для людей, мы только начинаем понимать, каким образом наш организм физиологически адаптировался к физически активному образу жизни, которого требуют занятия охотой и собирательством. Адаптации появились как на уровне практически каждой системы органов, так и на клеточном уровне. Несколько наиболее интересных работ в этой области касаются изменений мозга. Во-первых, в результате эволюции нашего мозга человек стал меньше спать, даже в таких сообществах, где нет искусственного освещения и других современных отвлекающих в ночное время факторов. Люди по всему миру — хадза в африканской саванне, садоводы из племени чимане в дождевых лесах Амазонки или жители Нью-Йорка — спят ночью около семи часов, намного меньше, чем человекообразные обезьяны. Рэйклен с коллегами показали, что наш мозг развивался таким образом, что продолжительная физическая активность

вознаграждается: при выполнении аэробных упражнений, например во время пробежки, синтезируются эндоканнабиноиды — возникает так называемая эйфория бегуна. Дэвид Рэйклен с коллегами даже считают, что физические упражнения способствовали увеличению объема человеческого мозга и что в ходе эволюции у человека появилась потребность в физической активности для нормального развития мозга. Тренировки приводят к высвобождению нейротрофических факторов, обеспечивающих нейрогенез и развитие мозга. Известно также, что упражнения улучшают память и предотвращают снижение когнитивных функций, связанное с возрастом.

Наши механизмы обмена веществ тоже эволюционировали в соответствии с повышением уровня активности. Максимальная физическая работоспособность человека, наш показатель максимального потребления кислорода (VO_{2max}), по меньшей мере в четыре раза выше, чем у шимпанзе. Такое увеличение связано в основном с изменениями

мышц ног, которые на 50% крупнее и в которых намного больше медленных мышечных волокон с высокой выносливостью по сравнению с мышцами нижних конечностей у других человекообразных обезьян. В организме человека также больше эритроцитов, которые переносят

кислород к работающим мышцам. Однако адаптации к тренировкам, по-видимому, происходили и на еще более глубоком уровне и привели к повышению скорости метаболизма в наших клетках и сжигания калорий. Наши совместные исследования с Россом, Рэйкленом и другими учеными показали, что у людей в ходе эволюции увеличилась скорость обмена веществ, предоставляющего топливо для возросшей физической активности и других свойственных человеку «энергозатратных» признаков, включая более крупный мозг.

Все вышеперечисленные свидетельства заставляют по-новому взглянуть на физическую нагрузку. С 1980-х гг., после ажиотажа, вызванного появлением вызывающего потоотделение спандекса, физические упражнения преподносятся как способ снижения веса или как «блюдо» в ассортименте «шведского стола» здорового образа жизни, наподобие маффинов из овсяных отрубей. Но физическая нагрузка — не дополнительный элемент, а необходимый, и снижение веса — это, вероятно, единственный результат, которого не добиться упражнениями. Наш организм развивался так, что ему требуется ежедневная физическая активность, и, следовательно, тренировки не столько заставляют наше тело работать больше, сколько принуждают его работать лучше. Исследования,

Физическая нагрузка — не дополнительный, а необходимый элемент

проводившиеся в моей и других лабораториях, продемонстрировали, что физическая нагрузка мало влияет на ежедневные затраты энергии (охотники-собиратели хадза ежедневно сжигают столько же калорий, сколько и ведущие сидячий образ жизни представители Запада), и это одна из причин, почему тренировки — неподходящий инструмент для снижения веса. Физические упражнения регулируют способ расходования энергии организмом и координируют жизненные функции.

Последние достижения метабомики показали, что работающие мышцы высвобождают сотни молекул сигнальных веществ, и мы только начинаем разбираться, каким дистанционным физиологическим действием они обладают. Продолжительные упражнения уменьшают степень выраженности хронического воспаления, представляющего собой серьезный фактор риска развития болезней сердечно-сосудистой системы. Тренировки понижают характерные для состояния покоя уровни стероидных гормонов — тестостерона, эстрогена и прогестерона, — и этот факт помогает объяснить снижение уровня заболеваемости раком репродуктивных органов среди взрослых, регулярно занимающихся физическими упражнениями. Тренировки могут несколько ослабить утреннее повышение уровня кортизола, гормона стресса. Известно также, что физические нагрузки улучшают чувствительность к инсулину (инсулинорезистентность — механизм, непосредственно связанный с диабетом II типа) и способствуют превращению глюкозы не в запасы жира, а в запасы гликогена в мышцах. Регулярные упражнения повышают эффективность борьбы нашей иммунной системы с инфекцией, особенно когда мы стареем. Даже небольшие нагрузки, например когда вы стоите, а не сидите, заставляют мышцы вырабатывать ферменты, помогающие удалять жиры из циркулирующей крови.

Неудивительно, что в таких популяциях, как племя хадза, не развиваются болезни сердца, диабет или другие заболевания, поражающие население индустриальных стран. Но нам не нужно становиться охотниками-собирающими или бегать на марафонские дистанции, чтобы извлечь пользу из знаний об эволюции. Изучение таких групп, как хадза, чимане и других, показывает, что объем тренировок гораздо важнее интенсивности. Представители этих племен проводят весь день на ногах, от зари до заката, и на физические нагрузки, преимущественно в виде ходьбы, приходится больше двух часов в день. Мы можем последовать их примеру и вместо использования машины ходить пешком или ездить на велосипеде, подниматься по лестницам и изыскивать возможности работать и отдыхать так, чтобы не сидеть. Недавнее исследование, проведенное среди почтовых работников

в Глазго, демонстрирует, как это может выглядеть. Сотрудники почты — не атлеты, но они активно проводили весь день, обрабатывая почту. Те, кто проходил по 15 тыс. шагов или проводил по семь часов в день на ногах (показатели, похожие на наблюдаемые у хадза), обладали более здоровой сердечно-сосудистой системой и не имели нарушений обмена веществ.

Раз уж мы затронули эту тему, то нам многому можно поучиться у таких групп, как хадза. Помимо большого объема тренировок и рациона на основе натуральных продуктов, в жизни представителей таких культур много свежего воздуха, общения с друзьями и семьей, эгалитаризм — это норма, и уровень экономического неравенства низок. Мы не знаем точно, как эти факторы влияют на здоровье охотников-собирающих, но известно, что их отсутствие усугубляет хронический стресс у жителей развитых стран, что, в свою очередь, способствует развитию ожирения и заболеваний.

Нам было бы проще привыкнуть к более активному образу жизни, если бы не приходилось бороться со 180-килограммовой гориллой, сидящей в нашей голове. Как витамин С для наших предков-антропоидов, так и высокая физическая активность была неизбежна в течение последних 2 млн лет эволюции гомининов. Не было ни необходимости в том, чтобы избавиться от древней обезьяноподобной слабости к обжорству и лени, ни давления отбора. Сегодня мы, творцы своей среды обитания, позволяем своей внутренней обезьяне слишком много диктовать, как конструировать современный мир: питаемся легкодоступной пищей, чрезмерно увлекаемся просмотром «Ходячих мертвецов» вместо настоящих прогулок, просиживаем часами за столом, общаясь друг с другом в социальных сетях. Мы восхищаемся, когда видим себя в других человекообразных приматах, но нам следует беспокоиться, если мы видим обезьян в нас. На самом деле мы отличаемся от них больше, чем кажется. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Понцер Г. Парадокс физической активности // ВМН, № 4, 2017.
- The Crown Joules: Energetics, Ecology, and Evolution in Humans and Other Primates. Herman Pontzer in *Evolutionary Anthropology*, Vol. 26, No. 1, pages 12–24; January/February 2017.
- Economy and Endurance in Human Evolution. Herman Pontzer in *Current Biology*, Vol. 27, No. 12, pages R613–R621; June 19, 2017.

БИОЛОГИЯ

СОЦИАЛЬНАЯ БАБУИНОВ

Тесное сотрудничество между бабуинами, видимо, помогает животным преодолеть последствия тяжелого детства, и это может оказаться актуальным и для человеческого здоровья

Лидия Дэнуорт

Группа бабуинов собирается в сумерках в Национальном парке Амбосели в Кении. Здесь исследователи наблюдают за ними, чтобы понять, как социальные аспекты их поведения влияют на здоровье.



ЖИЗНЬ АМБОСЕЛИ



ОБ АВТОРЕ

Лидия Дэнурт (Lydia Denworth) живет в Бруклине и занимается популяризацией науки. Она автор книги «Я слышу твой шепот: глубокое погружение в науку о звуке и языке» (*I Can Hear You Whisper: An Intimate Journey through the Science of Sound and Language*, 2014). Сейчас она работает над книгой о научном рассмотрении феномена дружбы.



В роце хинных деревьев на границе Национального парка Амбосели в южной части Кении только что наступил рассвет.

Группа из 70 бабуинов бодро приступает к утренним делам. Несколько обезьян еще дремлют на верхних ветвях, но большинство уже спускаются одна за другой в пожухлую траву.

Шестилетняя самка Гайавата чистит шерсть своей старшей сестре Ходжи, вычесывая грязь и паразитов. «Словно человек просыпается, принимает душ, чистит зубы и расчесывается, — тихо произносит Киньюа Варутере (Kinyua Warutere), старший специалист по полевой работе в Проекте по изучению бабуинов в Амбосели. — Они будут так общаться, пока не уйдут со стоянки. Матери чистят детей. Друзья чистят друзей».

Некоторые детеныши уже начали играть. Хуавэю, самому маленькому из них, нет еще и двух месяцев. Он выделяется ярким розовым младенческим личиком и заметной черной шерстью, которая скоро пожелтеет, а затем станет серовато-коричневой. Он возится со своим приятелем, и они лупят друг друга по головам, словно котятка.



Однако раз в несколько минут Хуавэй отбегает к своей матери Гайавате и на мгновение прячется под ее рукой, прежде чем продолжить игры.

Судьбой Хуавэя и его товарищей по играм особенно интересуется Сьюзен Альбертс (Susan Alberts), которая наблюдает за ними через бинокль, стоя у заляпанного грязью внедорожника. Альбертс занимается эволюционной биологией в Дюкском университете и выступает соруководителем Проекта по изучению бабуинов в Амбосели. Она исследует их поведение на протяжении 34 лет. Когда в 1971 г. проект был основан приматологами

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Уже около 50 лет ученые из Проекта по изучению бабуинов в Амбосели регистрируют поведение диких животных, используя точные методы наблюдения. Полученные данные показывают, что бабуины, столкнувшиеся с трудностями в раннем возрасте, умирают раньше, чем те, у кого в детстве проблем не было.
- Однако недавно появились сведения, что бабуины могут преодолеть трудности раннего периода жизни, если сформируют прочные связи с другими членами своей группы. Исследователи из Амбосели предполагают, что социальные отношения могут играть важную роль для поддержания физического здоровья.
- Эти новые соображения, возникшие в эволюционной биологии, могут изменить наши представления о том, как устроено здоровье населения и как надо с ним работать. Люди, у которых было трудное детство, как правило, чаще болеют. Могут ли прочные социальные связи спасти этих людей от влияния проблем, пережитых в раннем возрасте?



1



3

Полевой исследователь Лонгида Сиоди (Longida Siodi) с помощью антенны определяет местоположение бабуинов, на которых надеты ошейники с радиомаяками (1). Члены группы Йоды сидят на равнине (2). Сотрудник Рафаэль Мутутуа высматривает бабуина, за которым он будет сегодня наблюдать (3).

скую полосу препятствий», как ее называет Альбертс. От 30% до 50% бабуинов погибают в первый год жизни, в основном от истощения, болезней и хищников. Некоторым особям приходится тяжелее, чем остальным, если, например, они родились в сезон засухи или рано осиротели. В первом таком долгосрочном исследовании, опубликованном в 2016 г., ученые из Амбосели показали, что трудности в раннем детстве резко снижают общую продолжительность жизни — почти в два раза.

Однако недавно исследователи обнаружили источник потенциальной защиты от последствий тяжелого детства — это прочные стабильные социальные отношения с другими бабуинами. Сейчас ученые пытаются выяснить, насколько каждый отдельный бабуин может повлиять на свою судьбу с помощью взаимоотношений. Это важный вопрос не только для обезьян, но и для людей, чье детство прошло в тяжелых условиях.

Бабуины и люди значительно различаются. Однако многое в нашей и их жизни потрясюще похоже — начиная с воздействия окружающей среды в детстве и заканчивая социальными отношениями во взрослом возрасте и структурой смертности. И действительно, когда изучали, от чего зависит здоровье человека, выяснилось, что низкий вес при рождении и плохое питание матерей приводят к целому спектру проблем со здоровьем у детей в старшем возрасте. Кроме того, ретроспективные исследования показали, что ранние психологические травмы из-за насилия или потери родителей также связаны с высоким риском возникновения психологических или медицинских проблем во взрослом возрасте.

У бабуинов жизнь короче (но не намного), и в ней меньше дополнительно влияющих факторов,



2

Джейн (Jeanne Altmann) и Стюартом Альтманнами (Stuart Altmann), их целью было докопаться до эволюционных истоков социального поведения этих животных. В дальнейшем исследователи сфокусировали свое внимание на выяснении долговременных последствий событий раннего детства.

Шансы Хуавэя и его сверстников могут быть неравны. Им еще предстоит преодолеть «дарвинов-



Записи о социальных взаимодействиях членов группы Акации (1). Фекалии одного из бабуинов из группы Йоды, собранные для определения уровня гормонов и иерархической структуры внутри группы (2).

поэтому эти животные могут дать нам замечательную возможность объединить эволюционные и медицинские исследования, чтобы разобраться, откуда возникают наши болезни и как с ними лучше бороться. Как говорит Элизабет Арчи (Elizabeth Archie), заместитель директора в Амбосели и специалист по поведенческой экологии в Университете Нотр-Дам, «то, что мы наблюдаем связь между социальной поддержкой и долголетием у животных, у которых нет ни тех, кто может отвести их в больницу, ни даже самих больниц, означает, что здесь должен быть какой-то фундаментальный биологический процесс». Иначе говоря, быть здоровым — это не только иметь доступ к медицинской помощи.

История исследований в Амбосели

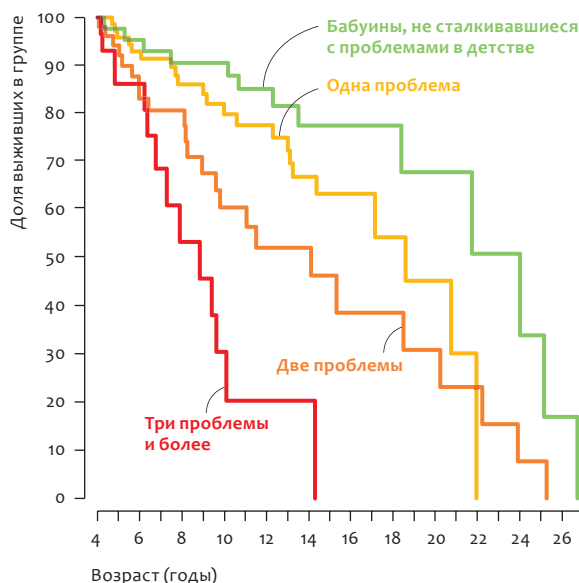
Альтманны впервые приехали в Африку в 1963 г., когда немногие приматологи работали в дикой природе. Они провели несколько месяцев в Кении и Танзании, прежде чем выбрали в качестве места исследований Амбосели. Раскинувшиеся более чем на 350 км² заросли акации и открытые саванны

позволяли удобно наблюдать за тысячами бабуинов, а также за слонами, зебрами и жирафами. После того как Альтманны создали свою полевую станцию в 1971 г., Джейн, которая изначально изучала математику, а в конечном итоге взяла на себя ответственность за весь проект, серьезно задумалась над тем, как получить точные наблюдения. Она разработала методику, согласно которой ученые следуют за отдельными животными в определенном порядке на протяжении определенного времени, тщательно записывая, что делает каждая особь и с кем взаимодействует. В 1974 г. Джейн Альтманн опубликовала статью с описанием метода сбора материала для получения надежных поведенческих данных в естественных условиях обитания. Эта статья стала фактически библией для приматологов.

Альтманн также решила сделать две очень необычные вещи. Во-первых, она обратила внимание на самок тогда, когда господствовало представление, что судьбу животного определяет жесткая конкуренция, и в центре внимания, таким образом, находилась агрессия самцов. Когда мы

Как проблемы в раннем возрасте влияют на выживаемость

Анализ жизни и смерти 196 самок диких бабуинов из Амбосели показал, что проблемы, возникшие в раннем возрасте, суммируются и это имеет далеко идущие последствия, важные для продолжительности жизни. Самки, столкнувшиеся в начале жизни с тремя и более проблемами, например засухой, наличием братьев или сестер близкого возраста или смертью матери, умирают в среднем на десять лет раньше, чем те, у кого было легкое детство.



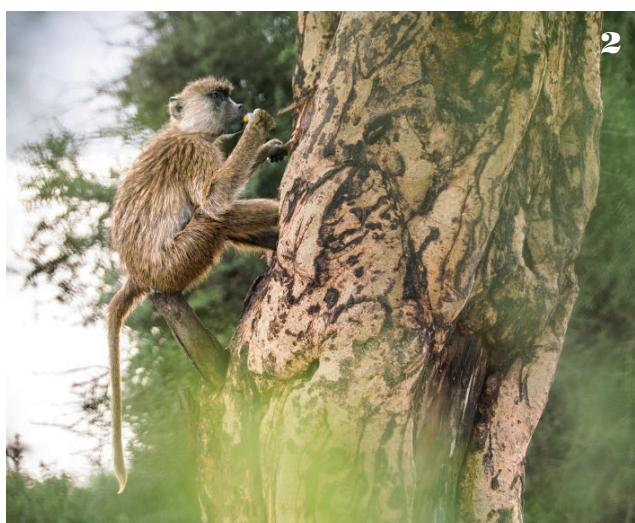
SOURCE: "CUMULATIVE EARLY LIFE ADVERSITY PREDICTS LONGEVITY IN WILD BABOONS," BY JENNY TUNG ET AL., IN NATURE COMMUNICATIONS, VOL. 7, ARTICLE NO. 11867, APRIL 9, 2016. Graphic by Almandra Montanez



В месте наблюдения: Мутутуа и Сиоди наблюдают за группой Акации в сумерках в начале ноября (1). Один из бабуинов из группы Акации кормится на дереве (2).

в 2017 г. встретились в ее кабинете в Принстонском университете, где Альтманн была заслуженным профессором экологии и эволюционной биологии, она сказала, что «в то время иногда явно считалось, иногда просто подразумевалось, что эволюцию вершат самцы». Однако социальная структура бабуинов определяется женскими особями. Самки обычно всю свою жизнь проводят в одной группе, а самцы уходят по мере достижения половой зрелости. «Я чувствовала, что у млекопитающих, особенно у приматов, включая человека, самки не только управляют своей жизнью в той же мере, что и все остальные, но еще и контролируют следующее поколение. Почему же это не имеет отношения к эволюции?» Альтманн понимала, что ей необходимо собирать данные об одной и той же группе животных на протяжении нескольких поколений. Она рассказывала: «Это было настолько очевидно, что результаты не заставили себя ждать. Это была настоящая драма длиной в целую жизнь».

В группе ученых, работающих в Амбосели, тоже можно проследить женскую иерархию, в академическом смысле. Сама Альтманн остается руководителем. Альбертс пришла в Амбосели в 1984 г.,



через год после окончания колледжа. Прежде чем стать руководителем, она была одной из первых аспиранток Альтманн. Арчи и эволюционный биолог из Дюкского университета Дженни Танг (Jenny Tung) были аспирантками Альбертс, а сейчас они занимают должности заместителей руководителя. Вместе они изучают все, начиная от демографической структуры и заканчивая генетикой и описанием микробиома, у шести групп обезьян, за которыми наблюдают. Среди трех кенийских старших

полевых помощников Варутере самый молодой, он работает всего 23 года. Управляющий Рафаэль Мутутуа (Raphael Mututua) и его заместитель Серах Сайялел (Serah Sayialel) начали работать в проекте в 1980-х гг. Даже персонал лагеря, водители и повар, — старожилы.

Здесь отчетливо видны преимущества такой организации. Варутере, Мутутуа и Сайялел узнают каждое животное с первого взгляда, даже если оно бежит или мелькает в кроне дерева. Когда мы наблюдали, как группа бабуинов начинает свой день, Варутере записывал в желтый полевой блокнот все рождения, смерти, видимые повреждения и репродуктивный статус самок, который хорошо определяется по цвету седалищной части и степени набухания. Когда такая перепись была окончена, Варутере приступил к сбору данных, в точности следуя методике, придуманной Альтманн много лет назад. Он наблюдал за отдельными особями в течение десяти минут, записывая все, что они делают (едят, отдыхают, чистят шерсть), с кем контактируют и т.д. Варутере с коллегами обеспечивают равную продолжительность наблюдений за каждым животным.

Умножьте эти утренние данные на два подхода в день, шесть дней в неделю, 52 недели в году и на 48 лет, и в результате вы получите базу данных, почти не имеющую аналогов ни для какой другой дикой популяции. В ней представлено около 1,8 тыс. животных, относящихся к 6,5 поколениям. Но эти записи еще и очень личные. В зашифрованных таблицах рассказаны истории тысяч взаимодействий вроде того, которое мы только что наблюдали между Ходжи, Гайаватой и Хуавэем.

Влияние раннего опыта

Собирая подробности жизни бабуинов более четырех десятилетий, ученые из Амбосели задумались, как можно соотнести их исследования с активно развивающейся областью эпидемиологии, изучающей формирование здоровья в процессе развития организма. С 1980-х гг. набирали силу теории о влиянии раннего опыта на заболевания взрослого возраста. Однако они оставались непроверенными. У людей действительно сложно отличить влияние неблагоприятных факторов в детстве от влияния здорового образа жизни и доступности медицинской помощи.

Идея, что особенности развития могут быть важны, появилась в 1986 г., когда сейчас уже покойный британский эпидемиолог Дэвид Баркер (David Barker) опубликовал серию статей, посвященных связи между воздействиями во внутриутробный период и такими взрослыми заболеваниями, как диабет, гипертония и инфаркт. Помимо многого другого, Баркер показал, что высокий риск возникновения сахарного диабета II типа в 1960-х гг. у взрослых британцев связан с низким весом при



рождении. Как рассказывает антрополог Крис Кузава (Chris Kuzawa) из Северо-Западного университета, Баркер и его коллеги предположили, что нехватка питательных веществ во внутриутробный период в долгосрочной перспективе может приводить к повышенному риску развития у взрослых людей хронических заболеваний, связанных с лишним весом. Похожие выводы следовали и из некоторых трагических естественных экспериментов. Например, в конце Второй мировой войны, зимой 1944–1945 гг., жители Нидерландов, находившиеся в немецкой оккупации, столкнулись с тяжелым голодом, когда перебой на железной дороге перекрыли доступ к продовольствию. Долгосрочное исследование выживших в «голландскую голодную зиму» показало, что недоедание негативно повлияло на сердечно-сосудистую систему, метаболизм и когнитивные функции тех, кто родился во время этого периода.

В свете этих открытий в 1992 г. Баркер и биохимик из Кембриджского университета Николас Хейлс (C. Nicholas Hales) предложили гипотезу экономного фенотипа, согласно которой организм, столкнувшись с тяжелыми условиями на ранних



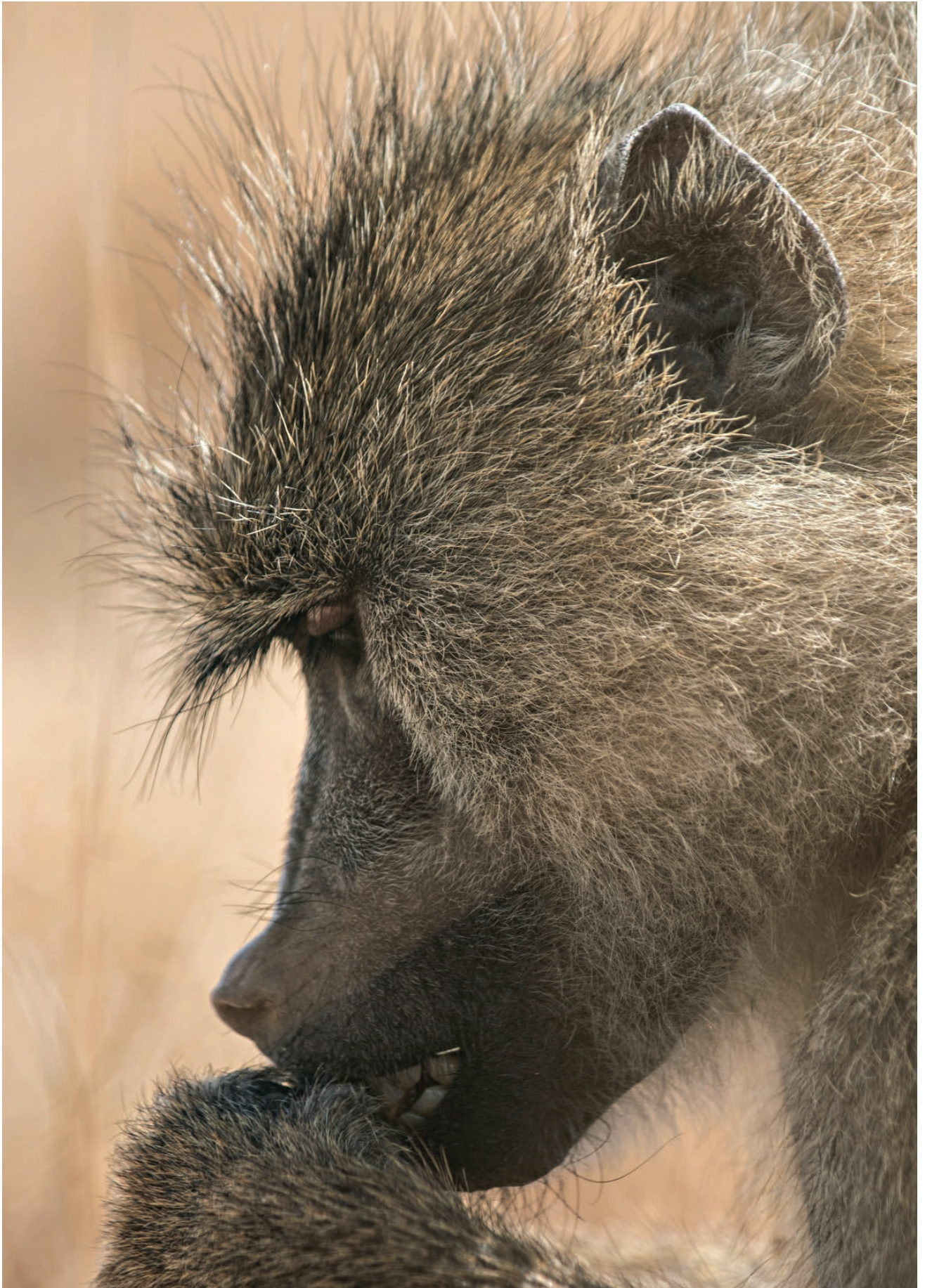
Сотрудники Проекта по изучению бабуинов в Амбосели исследуют животных из групп Акации (1, 3), Йоды (2) и др. Исследования в области эволюции, осуществленные благодаря этим бабуинам, могут быть полезны для здравоохранения.

этапах жизни, может изменить некоторые аспекты развития ради краткосрочного выживания. Например, нехватка питания у плода может повлиять на особенности метаболизма глюкозы. Спустя примерно десять лет ученые обратили внимание, что у некоторых видов, особенно у насекомых, условия, в которых находится организм на ранних этапах развития, предсказывают, в какой среде будет жить взрослая особь. Тогда они пересмотрели свою теорию: адаптация к сложностям на ранних сроках развития лучше готовит организм к таким же условиям во взрослой жизни. При этом особенно отмечается, что несоответствия, например недоедание в раннем периоде и обилие пищи впоследствии, могут служить причиной заболеваний. Такая мысль быстро распространилась в среде специалистов здравоохранения. В недавнем докладе Альбертс говорила о том, что эти модели стали общепринятыми.

Вариабельность адаптивных реакций зависит от так называемой онтогенетической пластично-

сти — способности организма приспосабливаться к среде разными способами. Лучше всего это видно у короткоживущих животных, таких как некоторые виды сибирских полевок. Руководствуясь уровнем материнского мелатонина, который проникает в матку, детеныши, рожденные в начале лета, быстро взрослеют и размножаются, а рожденные в конце лета, когда дни становятся короче, замедляют свое развитие и не размножаются до наступления весны.

Другие исследователи неожиданно наткнулись на долговременные последствия раннего психологического и социального стресса. В 1980-х гг. в калифорнийской клинике, занимающейся проблемами ожирения, работал врач Винсент Фелитти (Vincent Felitti). У него была пациентка, чей лишний вес, по-видимому, был связан с пережитым в детстве сексуальным насилием. Это побудило Фелитти искать связи между проблемами в семье в детском возрасте и болезнями и рискованным поведением во взрослом.



Фелитти объединил усилия сначала с Робертом Андой (Robert Anda), затем с Центрами контроля и профилактики заболеваний и другими организациями. Все вместе в 1995 г. они запустили исследовательский проект «Неблагоприятный детский опыт» (НДО) (*Adverse Childhood Experiences, ACE*). Они выделили семь типов проблем в детстве, среди которых были такие, как семейное и другое насилие, наличие в семье самоубийц или отбывающих тюремное заключение. У более чем 9,5 тыс. взрослых, принявших участие в этом опросе, была выявлена достоверная связь между числом проблем, с которыми сталкивался человек в детстве, и вероятностью того, что он будет употреблять наркотики, совершать попытки самоубийства или демонстрировать иное рискованное поведение. Если человек сталкивался с четырьмя и более проблемами, это усиливало риск в 4–12 раз. В исследовании также выяснилось, что подобный опыт повышает вероятность заболеваний сердца, возникновения раковых опухолей и других биомедицинских проблем.

Альбертс, Танг и их коллеги поняли, что эти идеи можно проверить на бабуинах Амбосели. В 2015 г. группа ученых оценила гипотезу предсказывающей адаптивной реакции с помощью данных, собранных в 2009 г., когда была ужасная засуха, от которой погибли 98% всех антилоп гну в парке. Исследователи обратили внимание на взрослых самок бабуинов, которые родились в прошлые либо влажные, либо засушливые годы. Затем они сравнили их плодовитость в 2009 г., поскольку репродуктивный успех — это основной показатель в эволюционной биологии. Как и ожидалось, в сильную засуху все животные размножались плохо. Но кроме того оказалось, что самки, рожденные в засушливые годы, размножаются не лучше, а даже хуже, чем самки, рожденные в дождливые годы. Это вступило в прямое противоречие с гипотезой предсказывающей адаптивной реакции, согласно которой самки, рожденные в сухой год, должны быть более приспособлены к размножению в засуху. Альбертс с коллегами предполагают, что на самом деле работает почти противоположная модель — ограниченного развития, согласно которой «рождение в скудной среде приводит к нарушениям в любых условиях».

Ученые разработали схему для изучения неблагоприятного детского опыта у бабуинов. Поскольку эти животные размножаются круглый год, то у всех новорожденных разный жизненный опыт. Альбертс говорит, что «все рождаются

в разное время, и мать каждого сталкивается с уникальным набором условий среды». В исследовании 2016 г., опубликованном в журнале *Nature Communications*, проанализированы истории жизни 196 самок и рассмотрено шесть типов проблем, с которыми животные сталкивались в первые четыре года своей жизни: засуха, размер группы (он влияет на конкуренцию и плодовитость), иерархическое положение матери, вовлеченность в социальные взаимодействия, наличие брата или сестры, рожденных в пределах 18 месяцев, и смерть матери.

Результаты получились однозначные. Бабуины с тремя или более типами проблем умирали на десять лет раньше по сравнению с теми, у кого было не более одного типа (медианная продолжительность жизни в группе была 18,5 лет). «Потрясающий эффект, — рассказывала Альбертс. — Он объясняет 12% всей вариативности продолжительности жизни, это очень большое влияние».

Крис Кузава из Северо-Западного университета, руководящий на Филиппинах долговременным исследованием формирования здоровья человека, был рад узнать, что в Амбосели опытным путем проверили модель предсказывающей адаптивной реакции, которую он всегда считал весьма ограниченной. Среда, в которой проходит начало жизни организма, может предсказывать

условия, в которые попадет взрослая особь, только для короткоживущих животных, таких как полевки. В этом случае факторы окружающей среды не изменятся с момента рождения особи до начала ее размножения, поясняет Кузава. Однако для людей, чья продолжительность жизни может достигать 70 лет и даже больше, подобная модель может быть неактуальна. Кузава говорит: «Можно наблюдать, как одну и ту же идею повторяют, не приводя никаких настоящих доказательств». Бабуины, живущие до 30 лет, более сопоставимы с человеком. Поэтому Кузава называет проект в Амбосели «уникальной возможностью для выявления таких долгосрочных эффектов».

Отношения повышают устойчивость

Важно понять, в какой степени более поздние воздействия могут компенсировать людям серьезные трудности в раннем возрасте. Недавние исследования в Амбосели помогают ответить на этот вопрос. Не у каждого бабуина с несчастным детством был печальный конец. На самом деле продолжительность жизни у них различалась достаточно сильно, чтобы предположить, что некоторым

Применение эволюционных подходов в здравоохранении может быть полезно для определения причин заболеваний

животным удается изменить свою судьбу. Исследователи из Амбосели обнаружили, что прочные взаимоотношения помогают животным противостоять разрушительным последствиям тяжелого детства. Например, рождение в засушливый год смягчалось наличием высокоранговой матери. При неблагоприятной обстановке в детстве поведение, связанное с чисткой шерсти, ослабевало между самками, но почти не страдало между животными разных полов, что свидетельствует о наличии некоторого запаса прочности. Ранний опыт влиял на потомков через материнскую линию. Альбертс рассказывает: «Если ваша мать умерла, но у нее не было проблем в детстве, то по сравнению с теми, у кого мать жива, ваша выживаемость снижена, но еще не так критично. Но если ваша мать погибла и она росла в неблагоприятной обстановке, то вам конец».

Такие результаты согласуются с первыми работами в Амбосели, показавшими функциональную значимость социальных связей. В середине 1990-х гг. исследователи пожинали урожай, полученный благодаря долгосрочным наблюдениям, организованным Джейн Альтманн. Они располагали полными (рождение, размножение, смерть) данными примерно для сотни самок. Альтманн и Альбертс объединились с эволюционным биологом Джоан Силк (Joan Silk), которая сейчас работает в Университете штата Аризона, чтобы изучить, как социальные связи могут влиять на репродуктивный успех животного.

Силк год проработала научным сотрудником в Амбосели. Когда в конце 1990-х гг. и начале 2000-х гг. приматологи начали говорить, что у животных есть друзья, она решила проверить, так ли это, и если окажется, что да, определить, какое это имеет значение. Общественное мнение гласило, что в иерархических сообществах обезьян ключевую роль играет доминирование. Силк заинтересовалась появившимися свидетельствами, что у человека социальные отношения связаны со здоровьем. В основополагающей работе, опубликованной в журнале *Science* в 1988 г., социолог Джеймс Хаус (James House) со своими коллегами из Мичиганского университета пришел к выводу, что отсутствие социальных связей так же смертельно опасно, как ожирение и курение.

Итак, Силк, Альбертс и Альтманн обратились к базам данных Амбосели. Альбертс уже разработала то, что они назвали индексом социальности. Этот показатель отражал силу социальных связей на основании расстояния между особями, чистки шерсти и другого социального поведения. В основном ученые оценивали, насколько часто самки дружелюбно взаимодействовали между собой. Затем для каждой определили количество выживших детей. К общему удивлению оказалось, что вовлеченность в социальную жизнь отражает репродуктивный успех лучше, чем иерархическое положение и другие измеренные показатели. Такие,

по словам Силк, ошеломляющие результаты были опубликованы в журнале *Science* в 2003 г.

Для того чтобы убедиться, что их данные не специфичны только для Амбосели, Силк вместе с эволюционными биологами из Пенсильванского университета Робертом Сейфартом (Robert Seyfarth) и уже покойной Дороти Чини (Dorothy Cheney) провела аналогичный анализ данных, полученных при исследовании бабуинов в заказнике Мореми в Ботсване. Сейфарт рассказывает: «Нас поразила схожесть результатов в обоих исследованиях». В 2014 г. последующие исследования, как в Амбосели, так

и в Мореми, показали, что социальные связи влияют не только на размножение, но и на продолжительность жизни.

В целом у бабуинов негативные последствия плохого детства перевешивают положительный эффект от социальных отношений. Однако поскольку социальные связи имеют некоторое защитное влияние на продолжительность жизни, сейчас исследовательская группа в Амбосели выясняет, «может ли дружба спасти вас», как называет это Арчи. И если да, то скорее всего для этого есть биологические причины. «Что при этом происходит на молекулярном и физиологическом уровне? — спрашивает Танг, которая занимается взаимодействием генов и поведения, — Как оно [социальное поведение] проникает под кожу и влияет на работу генома?»

Самый любопытный результат Танг, опубликованный в 2016 г. в журнале *Science*, был получен не на бабуинах, а на группе макак-резусов, содержащихся в неволе. В ее университетской

Поскольку социальные связи имеют некоторое защитное влияние на продолжительность жизни, сейчас исследовательская группа в Амбосели выясняет, как социальное поведение проникает под кожу и влияет на работу генома

лаборатории социальный статус животных изменяют искусственно, создавая и перемешивая группы самок. Когда исследователи проверили клетки разных особей, чтобы понять, насколько они справляются с инфекциями, то обнаружили явные различия в регуляции генов иммунной системы в соответствии с социальным положением животного. Танг объяснила: «Мы считаем, что социальная интеграция и социальная изоляция, возможно, напрямую влияют на работу нашей иммунной системы».

И хотя Танг не может изменять статус животных в группе диких бабуинов, она сейчас ищет схожие закономерности, используя фекалии обезьян, которые собирает в одноразовые стаканчики. Под руководством Арчи группа ученых секвенирует микробиомы в собранных 20 тыс. образцов. Ученые уже обнаружили, что микробиом бабуинов социально структурирован: у животных из одной социальной группы будет схожий набор микроорганизмов. Более того, внутри одной группы животных большее сходство будет среди тех, кто вычесывает шерсть друг другу, чем среди тех, кто так не делает. Как только секвенирование будет закончено, исследователи начнут выяснять, какие аспекты микробиома могут быть связаны со здоровьем животных, выживаемостью и репродуктивным успехом.

Новые идеи об онтогенетической пластичности, возникающие при работе с бабуинами в Амбосели, вызывают не только восхищенное возбуждение, но и споры. Когда ученые опубликовали обзорную статью в 2017 г. в журнале *Evolution, Medicine, & Public Health*, она получила пять комментариев, в том числе от Кузава, усомнившегося в осмысленности понятия «ранний период жизни», которое авторы использовали в отношении всего периода от зачатия до половой зрелости. Другие комментаторы отмечали, что авторы не уделили должного внимания родителям, оказывающим значительное влияние на ранних этапах. А еще некоторые сомневались, что модель, полученная в результате наблюдений за животными, может быть полезной для изучения заболеваний человека.

При этом почти все согласны, что применение эволюционных подходов в здравоохранении может быть полезно для определения причин заболеваний и разработки наилучших методов борьбы с ними. В обзорной статье 2017 г. в журнале *Lancet* отмечалось: «не будет преувеличением предположить, что <...> [это] может иметь революционное значение». Авторы объясняют, что данный подход позволит лучше понять, почему нищета и лишения имеют столь сильное влияние на здоровье и продолжительность жизни. Они подчеркивают, что такие факторы, как вредные привычки, не могут объяснить всего. Ведь, как говорит Альбертс, у бабуинов нет навыков здорового образа жизни.

Позже в то утро в Амбосели мы с Альбертс присели на скалистый холм, откуда видны были пасущиеся внизу бабуины, зебры и гну. Она завершила рассказ о своей работе, рисуя схему в моем блокноте. Это три прямоугольника в одном ряду. На левом она написала ПРВ (проблемы раннего возраста), на среднем — ССВ (социальная структура взрослых), и на правом — В + З (выживаемость и здоровье). Затем Альбертс соединила прямоугольники стрелками слева направо, чтобы показать, что проблемы влияют на социальную структуру, которая в свою очередь влияет на выживаемость. Последние исследования послужили основанием для третьей стрелочки, огибающей социальную структуру и связывающей проблемы в детстве напрямую со здоровьем. Она показывает, как большое количество проблем перевешивает пользу от крепких отношений.

Такие стрелки очень важны. Очевидно, что неприятности в детстве должны влиять на выживаемость. Но как именно между ними вписываются социальные связи? Насколько они могут сделать вас здоровее? Может ли быть, что более здоровые особи с большей вероятностью вступают в социальные взаимодействия?

Альбертс возвратила мне блокнот со словами: «Я думаю, что все эти стрелки именно такие». Она имела в виду, что каждый элемент влияет на другой так, как она изобразила. Если это верно, то социальные связи способны изменить жизнь особи, которая в детстве столкнулась с бедствиями. Но даже если это не подтвердится, Альбертс убеждена, что бабуины все равно смогут рассказать нам многое о нас самих. Как она говорит, когда у какого-то феномена, волнующего человечество, находятся эволюционные истоки, это очень сильно влияет на то, как мы планируем решать связанные с этим проблемы. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Сапольски Р. Экономическое неравенство отражается на здоровье // *ВМН*, № 1–2, 2019.
- Baboon Metaphysics: The Evolution of a Social Mind. Dorothy L. Cheney and Robert M. Seyfarth. University of Chicago Press, 2007.
- Cumulative Early Life Adversity Predicts Longevity in Wild Baboons. Jenny Tung et al. in *Nature Communications*, Vol. 7, Article No. 11181; April 19, 2016.
- The Challenge of Survival for Wild Infant Baboons. Susan Alberts in *American Scientist*, Vol. 104, No. 6, pages 366–373; November–December 2016.



НЕЙРОБИОЛОГИЯ

МОЗГ И ЕДА

Может ли операция по снижению веса изменить взаимодействия между кишечником и мозгом?

Брет Стетка

ОБ АВТОРЕ

Брет Стетка (Bret Stetka) — писатель из Нью-Йорка и редактор веб-ресурса *Medscape* (принадлежащего *WebMD*). Сотрудничал с *Wired*, *NPR* и *The Atlantic*. Окончил Медицинскую школу Виргинского университета в 2005 г.



Первая тарелка омлета оказалась для Терезы потрясением.

Ей был 41 год, она работала координатором медсестер в медицинском центре Стэнфордского университета, и в дни перед операцией у нее полностью пропал аппетит. Она только пила жидкости и то лишь по рекомендации хирурга. Однако когда к ней вернулся интерес к еде, казалось, что ее отношения с пищей кардинально изменились.

Омлет был первой твердой пищей Терезы за последние четыре недели, он оказался простой, мягкой и маслянистой едой. Неожиданно она получила полное удовлетворение от такого блюда. Исчезло стремление к сладостям и слишком соленым закускам. Ее больше не привлекали картофель фри и пышные десерты, которые она так любила раньше. Желание есть вернулось к ней, но впервые в жизни есть правильно оказалось просто.

Терезе провели рукавную резекцию желудка — одну из множества возможных операций на желудке и кишечнике, способствующих снижению веса. Тереза признает, что после операции, проведенной в 2012 г., главной неожиданностью для нее была не потеря лишних килограммов, а полное изменение вкусовых пристрастий.

Она с детства боролась с лишним весом. Не помогали ни годы приема гормонов, чтобы

забеременеть, ни сама беременность. «Раньше я весила 122 кг, — вспоминает Тереза. — и я просто не могла избавиться от лишнего веса, хотя перепробовала все: любые диеты, множество упражнений». Лишние килограммы мешали ей справляться с малышом. «Я не успевала за своим сыном», — рассказывает Тереза.

Рукавная резекция желудка позволяет уменьшить желудок размером с футбольный мяч до размера банана, то есть примерно до 15% от первоначального. Год спустя, после многих месяцев питания умеренным количеством здоровой пищи, Тереза похудела до 68 кг. «Для меня это даже слишком, — говорит она, — но после операции я действительно стала питаться иначе».

Когда в 1960-х гг. начали выполнять такие операции, врачи считали, что это просто механическое ограничение. Предполагалось, что уменьшенный

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Долгое время врачи считали, что операции для снижения веса помогают пациентам похудеть за счет того, что уменьшается размер желудка, но сейчас обнаружены и другие механизмы.
- У пациентов, которым выполнили такую операцию, значительно повышается активность тех зон мозга, которые взаимодействуют с кишечником.
- Кроме того, хирургическое вмешательство вызывает изменения в микрофлоре пищеварительной системы, что влияет на передачу сигнала от кишечника к мозгу и может способствовать появлению новых, более здоровых пищевых привычек.

желудок не сможет вместить и переработать много еды. Пациенты быстрее насыщаются, едят меньше и поэтому сбрасывают вес.

Отчасти эта идея верна. Но сейчас ученые знают, что все не так просто. Снижение веса у Терезы, по-видимому, было вызвано резкими изменениями диалога между ее кишечником и мозгом. Операция косвенно стимулировала образование новых нервных связей, которые изменили ее пищевые мысли и желания.

Современной науке известно, что аппетит, метаболизм и вес регулируются с помощью сложных взаимодействий между кишечником и мозгом. В этом запутанном процессе играют роль механические воздействия, гормоны, желчные кислоты и даже микробы, живущие в нашем кишечнике. Ученые обнаружили, что операции для снижения веса влияют на всю эту систему и могут ее изменить. Изучение подобных изменений помогает исследователям разобраться, как эти сложные взаимодействия управляют нашим пищевым поведением, пристрастиями в еде и неистовым поиском калорий при голодании. Данная работа позволит также выявить новые мишени для терапии — это могут быть микробы или сам мозг, так что опасная хирургическая процедура останется в прошлом.

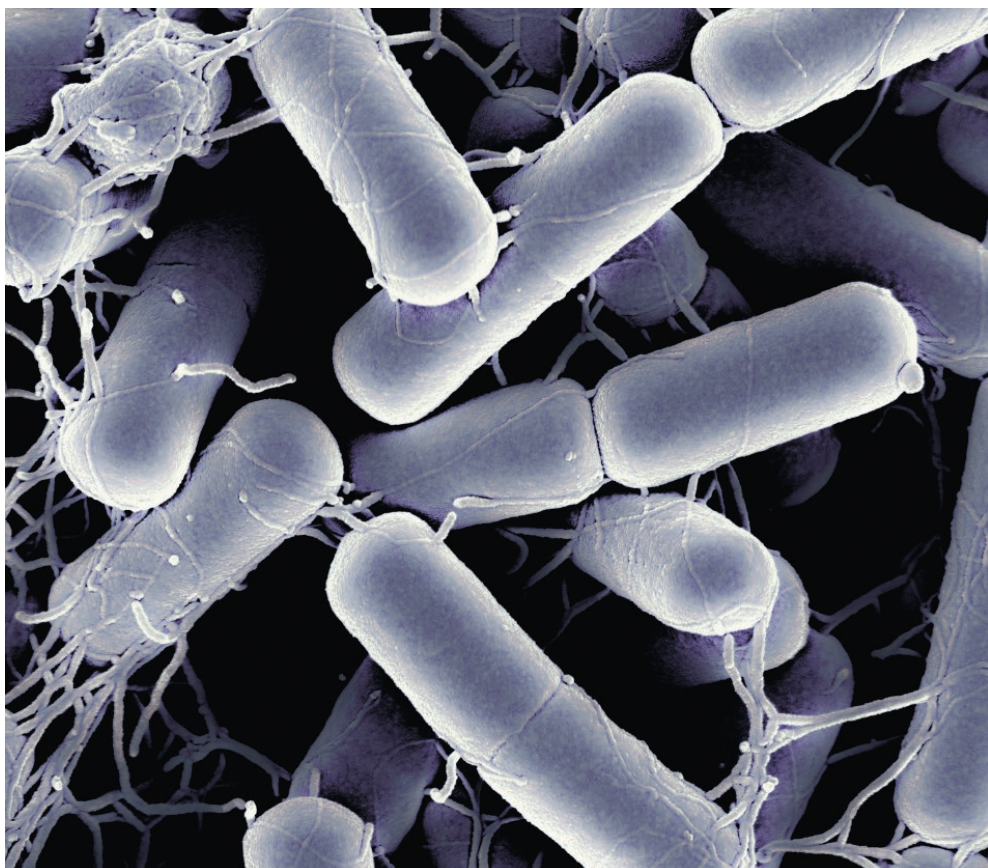
Мозг встречается с кишечником

Нам всем знакомы физические проявления взаимодействия кишечника с мозгом: бабочки, порхающие в животе во время влюбленности, урчание в животе, возникающее, когда надо выступить с речью. Эти проявления возникают из-за того, что мозг посылает нервные и гуморальные сигналы желудочно-кишечному тракту.

И наоборот, кишечник может отправлять сигналы мозгу. На самом деле, у нас в животе расположена нервная сеть, которую иногда называют вторым мозгом. Она помогает контролировать пищеварение и продвижение пищи по нашему девятиметровому желудочно-кишечному тракту. Она напрямую взаимодействует с мозгом с помощью блуждающего нерва, соединяющего мозг со многими жизненно важными органами.

Два основных нервных пути, соединяющих кишечник с мозгом, контролируют аппетит. В обеих

системах задействована маленькая структура головного мозга, которая называется гипоталамусом. Он вырабатывает гормоны, помогающие контролировать многие процессы в организме. Первая система срабатывает при голоде. Желудок выделяет гормон грелин, воздействующий на дугообразное ядро в гипоталамусе. Эта структура



Кишечная микрофлора может играть роль в развитии ожирения. Шунтирование желудка, вероятно, способствует долговременным изменениям в популяциях микробов, находящихся в пищеварительной системе.

в свою очередь выделяет нейропептид Y, который действует как нейромедиатор, возбуждая центры аппетита, расположенные в складчатом наружном слое головного мозга — в коре. Это заставляет нас искать еду. Предвкушая прием пищи, мозг по блуждающему нерву посылает сигнал желудку, чтобы тот готовился к пищеварению. «Это может происходить просто при виде, запахе или мыслях о еде, — рассказывает гастроэнтеролог из Клиники Майо, специалист по проблемам ожирения Андрес Акоста Карденас (Andres Acosta Cardenas). — Наш мозг подготавливает тело к приему пищи».

Второй путь между кишечником и мозгом служит для подавления аппетита. Когда мы едим, жировая ткань, поджелудочная железа и желудочно-кишечный тракт выделяют гормоны, в том числе

лептин и инсулин. Сами по себе эти гормоны выполняют много функций, связанных с пищеварением и обменом веществ. Действуя вместе, они сообщают в другую область гипоталамуса, что мы наелись. Мозг велит нам прекратить прием пищи.

Голод и сытость постоянно сменяют друг друга. Однако связанные с голодом пути взаимодействуют еще и с такими областями, как миндалина, отвечающая за эмоции, и гиппокамп, обеспечивающий память. Поэтому наши ощущения в животе и «заедание» неприятностей в большей степени связаны с настроением или ностальгическими воспоминаниями о бабушкином пироге, чем со временем приема пищи. Благодаря высшим психическим процессам еда обретает контекст. Еда — это часть культуры. Как выразился драматург Бернард Шоу: «Нет любви более искренней, чем любовь к еде».

Существует также наслаждение от сидения за обеденным столом. Еда активирует нашу систему подкрепления, побуждая нас есть ради удовольствия, а не ради удовлетворения потребности в энергии. Многие ученые считают, что именно эта связь между кишечником и мозгом ответственна за появление лишнего веса.

Исследования с использованием методов нейровизуализации подтверждают, что еда, так же как секс, наркотики и азартные игры, может вызывать повышенное выделение дофамина в системе подкрепления в мозге. Этот нейромедиатор обеспечивает сильнейшую мотивацию и может повышать интенсивность приема пищи ради самого процесса, а не ради получения питательных веществ. Исследователи обнаружили, что для крыс сладкая еда даже привлекательнее кокаина. Директор Национального института по изучению злоупотребления наркотиками психиатр Нора Волков (Nora Volkow) подтвердила и для людей то, что и так известно любителям шоколада во всем мире: воздействие пищи на систему подкрепления может быть сильнее чувства сытости и мотивировать нас продолжать есть. Эти открытия указывают на нейробиологическое сходство наркотической зависимости и переедания, хотя вопрос, может ли еда вызывать настоящую зависимость, остается спорным.

Хирургическое решение

Наш мозг и желудок непрерывно взаимодействуют, обмениваясь сообщениями с помощью гормонов и нейромедиаторов. Поэтому прерывание этого диалога, которое должно происходить при операциях для похудения, будет иметь свои последствия.

Исследователи показали, что в первые дни и недели после операций для снижения веса сладкая, жирная и соленая еда становится менее вкусной (именно это обнаружила Тереза). В одном исследовании, опубликованном в 2010 г., нейробиолог из Университета штата Луизиана Ханс-Рудольф Берту (Hans-Rudolf Berthoud) выяснил, что после операции по шунтированию желудка крысы перестали отдавать предпочтение пище с высоким содержанием жиров.

В 1990-х гг. многие исследовательские группы сообщали, что после таких операций пациенты теряют пристрастие к сладкой и соленой пище. Позже, в исследовании 2012 г., проведенном группой ученых из Брауновского университета, было показано, что у взрослых пациентов значительно снизилась тяга к сладостям и фастфуду после операции для снижения веса.

Изменение вкусов и пристрастий может быть вызвано изменениями в выделении нейромедиаторов и чувствительности к ним в процессах взаимодействия мозга и кишечника.

В 2016 г. Берту с коллега-

ми обнаружил, что у мышей на протяжении десяти дней после операции для снижения веса в областях мозга, участвующих во взаимодействии с кишечником, еда вызывала дополнительную нейронную активность по сравнению с тем, что было до операции. В частности, увеличение активности наблюдалось на пути, идущем от чувствительных нейронов желудка в ствол мозга к латеральному парабрахиальному ядру — это, наряду с миндалиной, часть системы подкрепления мозга.

Данной темой занимается биохимик Ричард Палмитер (Richard Palmiter) из Вашингтонского университета. В исследовании, опубликованном в 2013 г. в журнале *Nature*, группа Палмитера использовала сочетание генетических методов

«Ожирение — это заболевание, сопровождающееся изменением связи между кишечником и мозгом. Для персонализированного лечения нам нужно определить, какая часть этой связи работает неправильно у каждого конкретного пациента»

*Андрес Акоста Карденас,
Клиника Майо*

и клеточную стимуляцию, в том числе оптогенетику, позволяющую управлять живой тканью с помощью света, чтобы активировать или выключить определенные нейроны в стволе мозга в пути, идущем к парабрахиальному ядру у мышей. Ученые обнаружили, что активация этого пути сильно снижает потребление пищи. И напротив, при его выключении мозг становится нечувствительным к тому коктейлю гормонов, который обычно сигнализирует о сытости, и мыши продолжают есть.

Исследование Палмитера позволяет заключить, что парабрахиальный путь помогает нам сдерживать свой аппетит. Поскольку именно в этом пути после операции наблюдается необычайная активность, вероятно, именно эта гиперактивность, обнаруженная Берту, обеспечивает после операции пищевую удовлетворенность. По его словам, мозг должен теперь научиться довольствоваться меньшими порциями.

Операция для снижения веса — несомненно, механическое изменение: организм должен приспособиться к меньшему объему. Но тут явно есть и что-то еще. Берту предполагает, что когда после операции в кишечник попадает больше непереваренной пищи, в ответ выделяются гормоны, предупреждающие мозг, что надо меньше есть. И в результате изменяется активность мозга в процессе еды. Если ученый прав, то успешность операции, по крайней мере в краткосрочной перспективе, может быть связана не только с уменьшением размера желудка, но и с изменением взаимодействия между кишечником и мозгом.

Микробный мозг

В сложных взаимодействиях между мозгом и кишечником есть еще один участник, с которым может быть связан эффект от операции для снижения веса. Специалисты считают, что микрофлора — триллионы одноклеточных организмов в нашей пищеварительной системе — влияет на возникновение заболеваний, в том числе на многие заболевания, связанные с мозгом. Считается, что наши сожители и их геном (микробиом) вносят свой вклад в развитие аутизма, рассеянного склероза, депрессии и шизофрении, взаимодействуя с мозгом либо косвенно, через посредничество гормонов и иммунной системы, либо напрямую через блуждающий нерв.

Исследование, проведенное директором Центра контроля веса Массачусетской больницы общего профиля гастроэнтерологом Ли Капланом (Lee Kaplan), позволяет заключить, что микробиом может играть роль в развитии ожирения. В 2013 г. в журнале *Science Translational Medicine* была опубликована работа, в которой Каплан с коллегами переносили кишечную микрофлору от мышей, переживших шунтирование желудка, к тем мышам,

которым этой операции не делали. Животные из прооперированной группы потеряли почти 30% веса, а у грызунов, которым была перенесена микрофлора, вес достоверно снизился на 5%. В контрольной группе, с которой ничего не делали, вес не снизился. То, что грызуны могут похудеть без хирургического вмешательства, просто благодаря переносу микрофлоры от прооперированных животных, позволяет считать, что потеря веса после операции хотя бы отчасти связана с влиянием этих микробных популяций.

В аналогичном исследовании, опубликованном в 2015 г. Фредриком Бекхедом (Fredrik Bäckhed) из Гетеборгского университета, выяснилось, что два типа операций для снижения веса — шунтирование желудка с гастроэюноанастомозом по Ру и вертикальная бандажированная гастропластика — приводят к стойким изменениям микрофлоры у человека. Такие изменения могут быть связаны с несколькими факторами: это и изменение рациона после операции, и уровень кислотности в желудочно-кишечном тракте, и то, что после шунтирования непереваренная пища и желчь (выделяемая печенью пищеварительная жидкость болотно-зеленого цвета) поступают в более нижнюю часть кишечника.

В рамках того же исследования Бекхед с коллегами скармливали мышам образцы микрофлоры, полученные от людей, подвергшихся или не подвергшихся операции. Все грызуны в той или иной степени набирали вес, но мыши, получившие микрофлору от пациентов после операции, набрали на 43% меньше.

Как изменения кишечной микрофлоры могут изменить взаимодействия между кишечником и мозгом и повлиять на вес? Хотя ответ до сих пор неясен, есть несколько многообещающих версий. Определенные популяции микробов могут спровоцировать передачу гормональных и нервных сигналов к мозгу, которые влияют на развитие нервных цепей, задействованных в контроле движений и тревожности. Бекхед предполагает, что микрофлора после операций для снижения веса может похожим образом воздействовать на области мозга, связанные с аппетитом и пищевыми предпочтениями.

Свою роль может сыграть и нейромедиатор серотонин. В нашем организме около 90% серотонина производится в кишечнике, и в 2015 г. исследователи из Калифорнийского технологического института выяснили, что по крайней мере частично этот процесс зависит от микроорганизмов. Изменится микрофлора — изменится выработка серотонина. А это может иметь большое значение, потому что, как показано в многочисленных исследованиях, стимуляция серотониновых рецепторов в мозге позволяет достоверно снизить набор веса у грызунов и у человека.

Исправление связей между кишечником и мозгом

От ожирения страдает более 600 млн человек во всем мире. И замечательно, что благодаря операциям по снижению веса открылись новые пути решения этой проблемы. Некоторые направления позволят обойтись без операции либо оставить ее только для самых крайних случаев. Таким образом, главной мишенью в борьбе с лишним весом может стать связь между мозгом и кишечником.

Например, в 2015 г. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (*FDA*) одобрило использование устройства, стимулирующего блуждающий нерв, чтобы подавить тягу к еде. Хирург имплантирует аппарат, состоящий из электродов и генератора электрических импульсов, в брюшную полость так, чтобы можно было подавать электрическое воздействие на блуждающий нерв. Хотя точно не известно, как это работает, прибор одобрили благодаря исследованиям, в которых пациенты, в течение года получающие лечение с помощью данного устройства, сбросили на 8,5% больше лишнего веса, чем те, у кого такого устройства не было.

Такой подход менее инвазивен, чем операция для снижения веса, но на сегодня стимуляция блуждающего нерва не так эффективна, как многие другие способы лечения ожирения. В то же время некоторые смелые нейрохирурги изучают возможность использования методики, которая называется «глубинная стимуляция мозга». Этот подход одобрен для лечения болезни Паркинсона и обсессивно-компульсивного расстройства и заключается в стимулировании определенных областей мозга с помощью вживленных электродов. Хотя подобные исследования находятся еще в зачаточном состоянии, в качестве возможных мишеней уже исследуются многие зоны мозга, задействованные в контроле аппетита.

Акоста Карденас из Клиники Майо верит, что в будущем лучшим подходом к лечению ожирения будет персонализированный. «Ожирение — это заболевание, сопровождающееся изменением связи между кишечником и мозгом, — говорит он, — но, я думаю, для персонализированного лечения нам нужно определить, какая часть этой связи работает неправильно у каждого конкретного пациента. Чтобы результаты лечения были наилучшими, я пытаюсь выяснить, есть ли у пациента проблемы с микрофлорой, гормонами, или он "заедает" стресс».

В 2015 г. Акоста Карденас с коллегами проверили многочисленные факторы, возможно, связанные с ожирением у более 500 человек с нормальным весом, лишним весом и ожирением. Среди этих факторов были такие, как скорость насыщения, скорость опустошения желудка,

гормональные колебания в ответ на прием пищи и психологические особенности. То, что обнаружил Акоста Карденас, подтверждало идею, что четко выделяются отдельные разновидности ожирения и что идеальное лечение, вероятно, будет уникальным для каждого пациента. Например, в его исследовании у 14% пациентов с ожирением присутствовал поведенческий или эмоциональный компонент, который позволял вместо операции рекомендовать поведенческую терапию. Кроме того, Акоста Карденас прогнозирует, что в будущем станет возможным назначать пробиотики или антибиотики тем пациентам с ожирением, у которых нарушена микрофлора.

На данный момент невозможно с уверенностью сказать, какие изменения в связях между мозгом и кишечником вызвали набор веса у Терезы. Но очевидно, что ей помогла операция, позволив поддерживать желаемый вес 68 кг по крайней мере в течение четырех последующих лет.

Ее ноги теперь не болят. У нее больше энергии. Она может угнаться за сыном. И хотя она признает, что за прошедшие годы к ней вернулись некоторые пищевые пристрастия, они уже не так сильны, как раньше, и лучше поддаются контролю.

«До операции у меня не было самоконтроля. Я не могла удержаться, — вспоминает Тереза. — Теперь, если картофель фри окажется на обеденном столе, я могу съесть немного, не буду себе отказывать. У меня просто нет больше желания есть так, как раньше. Я наверняка не доем половину».

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Conserved Shifts in the Gut Microbiota Due to Gastric Bypass Reduce Host Weight and Adiposity. Alice P. Liou et al. in *Science Translational Medicine*, Vol. 5, No. 178, Article No. 178ra41; March 2013.
- Roux-en-Y Gastric Bypass and Vertical Banded Gastroplasty Induce Long-Term Changes on the Human Gut Microbiome Contributing to Fat Mass Regulation. Valentina Tremaroli et al. in *Cell Metabolism*, Vol. 22, pages 228–238; August 4, 2015.
- Eating in Mice with Gastric Bypass Surgery Causes Exaggerated Activation of Brainstem Anorexia Circuit. Michael B. Mumphrey et al. in *International Journal of Obesity*, Vol. 40, No. 6, pages 921–928; June 2016.
- Microbes on Your Mind. Moheb Costandi; *Scientific American Mind*, July/August 2012.



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ



ВСЕ ПРЕМЬЕРЫ

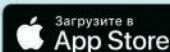
телеканала

«**НАУКА**»

**В ТВОЕМ ТЕЛЕФОНЕ РАНЬШЕ,
ЧЕМ НА ТВ**



Мобильное приложение
МОЯ ПЛАНЕТА



12+



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ



ЖИВАЯ ПЛАНЕТА
ТЕЛЕКАНАЛ



ПЛАНЕТА HD
ТЕЛЕКАНАЛ



ИСТОРИЯ
ТЕЛЕКАНАЛ



ДОКТОР
ТЕЛЕКАНАЛ



ТЕЛЕКАНАЛ



1. Академики А.Н. Тихонов (слева) и А.А. Самарский
2. Академики В.А. Ильин (слева) и А.А. Самарский
3. Слева направо: академики Е.П. Велихов, А.А. Самарский, О.М. Белоцерковский
4. Академик А.А. Самарский
5. А.А. Самарский с женой А.Т. Уразбаевой, А.Н. Тихонов
6. Академики Л.П. Феохтистов (слева) и А.А. Самарский



На плечах ГИГАНТОВ

19 февраля 2019 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого-математика академика Александра Андреевича Самарского. О его вкладе в развитие отечественной науки рассказал научный руководитель Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН академик **Борис Николаевич Четверушкин**.

— **Борис Николаевич, 19 февраля на фасаде здания ИПМ им. М.В. Келдыша появилась новая мемориальная доска, посвященная академику А.А. Самарскому. Расскажите о нем, пожалуйста.**

— Александр Андреевич — это уникальное явление в нашей научной жизни. Он сочетал в себе качества великолепного ученого и замечательного педагога — чего стоит создание молодежных школ по прикладной математике и математическому моделированию! Кроме того, он участник Великой Отечественной войны, кавалер ордена Славы, был тяжело ранен в боях под Москвой.

Влияние Александра Андреевича Самарского велико до сих пор, несмотря на то что его уже нет с нами почти 11 лет. Во-первых, он один из наиболее цитируемых авторов-математиков в нашей стране. Во-вторых, его научная школа продолжает действовать и плодотворно влиять на качество работы нашего института и других научных организаций страны. В-третьих, неопределимо его нравственное влияние на наше поколение, которое мы стараемся передать молодежи.

— **Я прочитала, что Александр Андреевич ушел на фронт добровольцем.**

— Да, в июле 1941 г. после окончания четвертого курса физического факультета Московского университета он ушел добровольцем на фронт, хотя у него было не очень хорошо со зрением. Участвовал в боях при обороне Москвы. Подорвался на mine, получил тяжелое ранение, десять месяцев провел в госпиталях. Часть осколков так и остались у него в теле.

Он рассказывал, как их отряд прорывался из окружения под Вязьмой, что было голодно, кто-то не выдерживал, сдавался немцам, но большинство продолжали сражаться и пробивались к своим. Эти люди выиграли войну. И то, что они были с нами достаточно долго, очень важно для нас.

— **А когда он вернулся к учебе в университете?**

— В 1943 г. А.А. Самарский вернулся в Москву по вызову ректората. Здесь надо назвать его учителя Андрея Николаевича Тихонова — великого ученого, дважды Героя Социалистического Труда. После окончания университета в 1945 г. А.А. Самарский поступил к нему в аспирантуру. Школу Тихонова — Самарского отличало следующее: они шли в математике не от ее внутреннего развития, часто абстрактного, а от реальной задачи. Их знаменитый учебник, написанный в 1951 г., когда Александр Андреевич был еще молодым ученым, кандидатом наук, выдержал очень много изданий именно по этой причине.

В 1963 г., когда нас, третьекурсников, агитировали идти на специализацию в различные научные организации, меня привлек Институт прикладной математики. Перед нами выступил А.А. Самарский. А мы как раз изучали математическую физику на базе их учебника, и для того чтобы решать конкретные задачи, мне это было наиболее близко.

Должен сказать, что роль А.А. Самарского в создании основ современной прикладной математики трудно переоценить. Теория разностных схем, их устойчивость, точность, итерационные методы, консервативность — все это связано с именем Александра Андреевича. Еще важно сказать,

что он уже в конце 1970-х — начале 1980-х гг. понял, что математическое моделирование — это не только узкоспециальное решение важных задач, но и то, что может широко войти в сферы нашей деятельности и быть двигателем научно-технического прогресса. В каком-то смысле он даже опередил время: именно сейчас это становится более реализуемо с учетом появления высокопроизводительных вычислительных систем. Но то, что математическое моделирование, его становление как науки тесно связано с ним, — это несомненно. И его усилия, направленные на организацию соответствующих программ развития математики в нашей стране, исключительно велики.

— **Вы упомянули, что А.А. Самарский был замечательным педагогом.**

— Да, это так. Не могу сказать, что он был блестящим лектором, не в этом дело. Но его энтузиазм, понимание важности проблемы, которой он занимался, бескорыстие — все это зажигало людей. Он организовывал различные математические школы, причем по всему Советскому Союзу. Я считаю, что становление прикладной математики, вычислительной математики в бывших союзных республиках в значительной мере произошло благодаря Александру Андреевичу. Наши коллеги в Литве, Белоруссии, Украине, Грузии, Узбекистане — мы все работали вместе. И с некоторыми (особенно Белоруссией и Узбекистаном) мы и сейчас поддерживаем хорошие отношения. С другими странами — меньше, но я думаю, что зерна, которые посеяны, когда-то дадут свои плоды.

Вообще, его организаторский талант, стремление помочь проявились достаточно рано. Он мне рассказывал, что очень хорошо успевал в школе и по гуманитарным предметам, и по физике и математике, и даже думал стать учителем русского языка. Он в школе помогал отстающим ученикам, и в «Пионерской правде» в 1933 г. была опубликована заметка «Самарский помог». Это было первое официальное упоминание о нем.

— **А когда был создан Институт прикладной математики и для каких целей?**

— Наш институт был учрежден в самом начале 1953 г., в январе, по личному распоряжению Сталина. Собрали несколько групп, которые уже тогда работали над атомной и ракетной проблемами, занимались моделированием этих задач. И была поставлена задача создать инструментарий для расчета этих сложных явлений.

Александр Андреевич рассказывал, как в конце 1940-х — начале 1950-х гг. организовывал работу наших молодых вычислительниц, которые делали вычисления на немецких трофейных арифмометрах «Мерседес». Каждая из них была как бы отдельным процессором, и они передавали друг другу данные, а он сам, как управляющий машиной, их собирал. Девушки даже не знали, что они

считают. Кстати, в Соединенных Штатах тоже происходил этот процесс, параллельно нашему. Мне рассказывали, что точно так же, на арифмометрах, в это время работали и в США.

— **Расскажите, пожалуйста, подробнее о его участии в атомном проекте.**

— В феврале 1948 г. состоялось сверхсекретное совещание у И.В. Курчатова. Встал вопрос о мощности взрыва. Л.Д. Ландау объяснил на примере простой модели, обыкновенного дифференциального уравнения, как рассчитать мощность взрыва. Присутствовавший там А.Н. Тихонов предложил провести прямой численный расчет взрыва на основе полных моделей физических процессов (выделения тепла за счет ядерных реакций и газодинамики). По тем временам это казалось совершенно неподъемным: не было ни теории, ни опыта практического применения вычислительных алгоритмов для решения сложных задач математической физики. Л.Д. Ландау сказал, что в случае успеха это будет научный подвиг.

В конце мая 1948 г. была создана группа под руководством А.Н. Тихонова, на которую была возложена задача расчетов этих изделий. В группу вошел только что окончивший аспирантуру А.А. Самарский, который стал правой рукой Андрея Николаевича. И действительно, во время работы над этим проектом и были созданы основы теории разностных схем. Не только решалась конкретная и нужная задача, но и создавался фундамент для дальнейшего развития науки. Так что роль А.А. Самарского в выполнении этого задания очень большая. Люди делали великое дело и были счастливы осуществлением этой работы.

В 2000 г. Александр Андреевич начал болеть — возраст, ранение. Я навещал его в кунцевской Кремлевской больнице, рассказал, что нам поставили мощную машину и мы начали проводить расчеты. Он очень обрадовался и сказал: «Как бы мне хотелось! Если бы тогда были такие машины!»

Александр Андреевич занимался не только атомным оружием, но и другими военными разработками. И мы продолжаем этим заниматься, это необходимая часть нашей работы.

— **А как его научное наследие работает сейчас?**

— Им написано много замечательных книг, ставших настольными для наших специалистов, по которым обучаются поколения студентов не только в университете и в Московском физико-техническом институте, но и во всех технических вузах. Его классическая книга в соавторстве с А.Н. Тихоновым — «Уравнения математической физики» — до сих пор востребована. Прекрасный учебник: хоть и написан почти 70 лет тому назад, но не устаревает.

Конечно, все развивается, сейчас настал очередной этап революции в прикладной математике, связанный с появлением систем сверхвысокой



- 1. Академик М.Я. Маров
- 2. Академик В.Е. Фортов
- 3. Писатель и журналист В.С. Губарев
- 4. Директор ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
член-корреспондент РАН А.И. Аптекарев
и академик Б.Н. Четверушкин
- 5. Автор мемориальной доски — академик
Российской академии художеств Н.А. Иванов
- 6. Жена А.А. Самарского А.Т. Уразбаева
- 7. Здание Института прикладной математики
им. М.В. Келдыша РАН





Академик Б.Н. Четверушкин

производительности. Но как происходит научное развитие? Сначала была ньютоновская механика, потом появилась теория относительности Альберта Эйнштейна. Однако теория относительности базируется на фундаменте классической механики. Не надо ничего отбрасывать. Не было бы этого — не было бы и дальнейшего развития. Так что влияние наследия А.А. Самарского огромно, оно и сейчас чувствуется. Ну а если через какое-то время появятся новые подходы, они будут в значительной мере основываться на прежних. Без этого фундамента ничего не будет. Как говорил Исаак Ньютон: «Если я и видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов»

— А каким он был человеком?

— Он с большим энтузиазмом относился к созданию молодежных школ. Очень любил молодежные компании, игры, например перетягивание каната, даже сам в них участвовал. Но очень сердился, когда мы прогуливали занятия, здорово нас ругал. У него было такое сочетание строгости и желания общаться. Он с большим удовольствием общался с молодежью, причем на совершенно неформальной основе. Ему было трудно бегать из-за ранения, но когда играли в футбол, он кричал громче всех и критиковал, если кто-то играл плохо, причем в крепких выражениях. Еще он очень любил

играть в шахматы, всех обыгрывал, был очень сильный шахматист. Он во всем был талантлив.

— Борис Николаевич, а что сейчас происходит в вашем институте?

— Сейчас основная деятельность института преломляется сквозь призму современной вычислительной техники, которая очень бурно развивается, я бы сказал, это техника сверхвысокой производительности. Она позволяет вести расчеты и в биологии, и в области космической механики. Кстати, если говорить о космосе, открытие более двух третей комет (за период после распада Советского Союза) произошло в нашем институте. У нас нет телескопов, мы не ведем наблюдения, но к нам стекаются данные, и за счет обработки информации о космическом мусоре, каталогизации, вычислений траектории, положения объекта мы сразу определяем, новый это объект или не новый. У нас есть группа, которая занимается расчетом задач дальнего космоса.

Очень быстро нарастают мощности вычислительных систем. Сейчас происходит революция в прикладной математике, в математическом обеспечении, чтобы иметь возможность использовать эти вычислительные системы. Это очень непростая задача, она ставится во всем мире и пока особенно остро стоит для наших зарубежных коллег — там более мощные машины. Надо сказать, мы здесь не последние, нам нечего стесняться. Мы сейчас развиваем эти работы на основе новых подходов к численным методам, к математическому обеспечению.

У нас много замечательных научных групп, например по вычислительной акустике, мы проводим международные конференции, на которые приезжают все ведущие специалисты, несмотря на санкции. У нас хорошие отношения с немецкими суперкомпьютерными центрами, с ними налажен регулярный обмен визитами.

Мы занимаемся также моделированием различных технологических задач. В эти минуты мой ученик обсуждает на семинаре свою докторскую диссертацию по моделированию задач нефтегазового комплекса.

Еще одно направление — искусственный интеллект. Сейчас все, как мантру, повторяют: «Искусственный интеллект, большие данные...». На самом деле здесь зарыта очень серьезная математика, связанная с функциями распределения, выделением главных переменных. Успех, по нашим понятиям, достигается, когда в обработку данных, которая осуществляется нейросетями, вы вносите физическую, математическую информацию. Мы сейчас этим активно занимаемся, и есть определенные успехи, которые реализуются в виде контрактов с нашими корпорациями и государственными организациями. Так что нашему институту в ближайшее десятилетие есть над чем работать. ■

Беседовала Ольга Беленицкая



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия



Взгляд на науку
с пристрастием

Актуальная информация о науке и технике в России и в мире
Открытия в разных областях фундаментальной и прикладной науки
Новости из научных центров и вузов страны и мира

scientificrussia.ru



ДВИЖЕНИЕ БЕЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Новые материалы могут уже в ближайшие десятилетия кардинально изменить нашу жизнь. Об этом рассказали директор Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) **Николай Николаевич Колачевский** и руководитель Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга **Владимир Моисеевич Пудалов**.

Массивное трехэтажное желто-белое здание, облицованное по-современному керамогранитной плиткой. Внутри — блеск, чистота и запах свежей краски. Здесь, в открытом недавно десятом корпусе ФИАН уже сегодня начинается будущее.

Хорошее на строение

— Центр не производит впечатления новостроя. Здание никак не выделяется из архитектурного стиля, в котором был построен весь комплекс ФИАН в 1951 г.

Н.К.: Здесь был корпус, который у нас больше 30 лет арендовал Институт ядерных исследований (ИЯИ) РАН. Вы правы, это не совсем новое здание. Правильнее сказать, оно реконструированное. Когда-то здесь стояли огромные генераторы Ван де Граафа, на которых в 1960–1970-х гг. проводились важные для того времени исследования. Потом, естественно, все это стало неактуально.

В.П.: В 1970 г. Институт ядерных исследований отпочковался от ФИАН, и этот корпус достался ему «по наследству». Когда для ИЯИ построили в Троицке новые корпуса, это здание стало ему не нужно.

— Ядерщики отдали здание без споров? Жизненный вопрос их не испортил?

Н.К.: Нет. Я вообще полагаю, что если что-то в настоящее время не используется, но может быть



Член-корреспондент РАН Н.Н. Колачевский

приспособлено для науки, эту возможность надо реализовывать. У наших институтов огромное хозяйство, есть во что вдохнуть жизнь.

— Неужели дело обошлось совсем без административного ресурса?

Н.К.: Не совсем, тут огромную роль сыграл лауреат Нобелевской премии академик В.Л. Гинзбург. Организация Центра высокотемпературной сверхпроводимости на базе этого корпуса была целиком его идеей. Без его имени и энергии то, что мы сейчас видим, было бы невозможно.

В.П.: Виталий Лазаревич заразил меня этой идеей 11 лет назад. Помню, я был на даче, и тут он звонит: «Владимир Моисеевич, а давай-ка ты займешься серьезной научной проблемой, которая имеет колоссальное научное и общественное значение: высокотемпературной сверхпроводимостью». С его доводами трудно было не согласиться, и мне пришлось сменить специальность. С тех пор я занимаюсь этим корпусом и проектом. Сам же В.Л. Гинзбург увлекся направлением значительно раньше, он и Нобелевскую премию в 2003 г. получил «за пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей». Он уже тогда понимал, что вопрос высокотемпературных сверхпроводников относится к числу крупнейших научных задач, которые Россия вполне может решить. Умы для этого у нас есть, колоссальных ресурсов не требуется, так почему не взяться? И он начал пробовать идею центра. Несколько раз обращался к В.В. Путину, у которого тогда шел первый президентский срок. Не просто писал, а добивался, чтобы его письма прочитали и рассмотрели. Время было довольно тяжелое, с деньгами у государства было сложно, приоритеты, особенно в науке, не определены. Это сейчас они немного выкристаллизовываются, и то с большим трудом. В рамках нацпроекта хоть примерно стало ясно, какие у нас целевые задачи. А тогда было совершенно непонятно, какую науку мы развиваем — фундаментальную, вузовскую или прикладную. А это все разные ветки. Молодежь при этом металась, потому что никто не понимал, то ли деньги надо идти зарабатывать, то ли статьи писать, то ли в оборонные программы погружаться. Без В.Л. Гинзбурга такой центр не получилось бы реализовать. У него была неиссякаемая энергия. Но ему все равно требовались молодые и увлеченные помощники. Я был помоложе, и он привлек меня.

— Как преемника?

В.П.: Знаете, великих ученых в России было много. Но далеко не все думали о дальнейшем развитии своего института, который рано или поздно они должны будут оставить. Это большая работа, которая отбирает много времени и сил. И не все считали нужным делать так, как поступал Виталий Лазаревич, который прекрасно понимал, что

времени у него осталось мало и он вряд ли сможет присутствовать на открытии центра, для создания которого так много сделал.

Н.К.: Тут ведь еще давит груз времени. У нас был период до начала 1980-х гг., когда в большом количестве, местами с избытком, строились институты. Шло почкование научных идей. Потом начался спад. У руководства страны возникал резонный вопрос: мы так много всего настроили, не знаем, что с этим делать, зачем еще что-то новое создавать? В такой ситуации переубедить, настоять на необходимости капитальных вложений в новое направление мог только очень энергичный человек.

То, что создано благодаря стараниям В.Л. Гинзбурга, — это не просто корпус или лаборатория. Это примерно масштаб института знаменитого немецкого Общества Макса Планка, где идут серьезные исследования в целевом направлении. Только на более современном этапе.

В.П.: Как обычно строятся новые институты и центры? Вначале заказывают проект архитектуры или проектной организации, там рисуют красивые здания, создают причудливые формы, а потом начинают туда «втискивать» приборы и оборудование по принципу «куда что войдет». Здесь все было наоборот. В.Л. Гинзбург согласился с моей идеей о том, что нужно вначале продумать всю технологию, понять, какая будет аппаратура, как и где она будет расположена, как будет двигаться научный продукт. Вплоть до продумывания маршрутов движения людей, чтобы загрязнение от входящих не поступало в «чистые комнаты» и т.д.

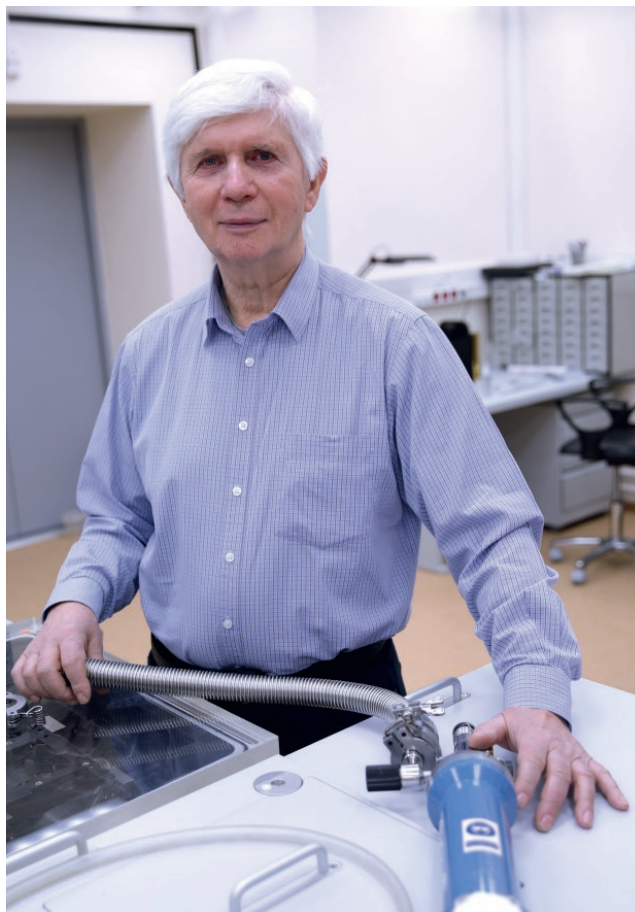
— **То есть прорабатывалась логистика?**

В.П.: Прорабатывалось абсолютно все. Само здание создавалось именно для проведения конкретных научных исследований, для организации полного цикла с огромной инфраструктурой. У нас не стоял вопрос, что разместить или для чего приспособить такое-то помещение. Стоял вопрос, каким должно быть помещение, в котором будет установлена такая-то аппаратура. То есть стратегия была простая: не втискивать науку в архитектуру, а окружать науку архитектурой.

Холодно, тепло, еще теплее

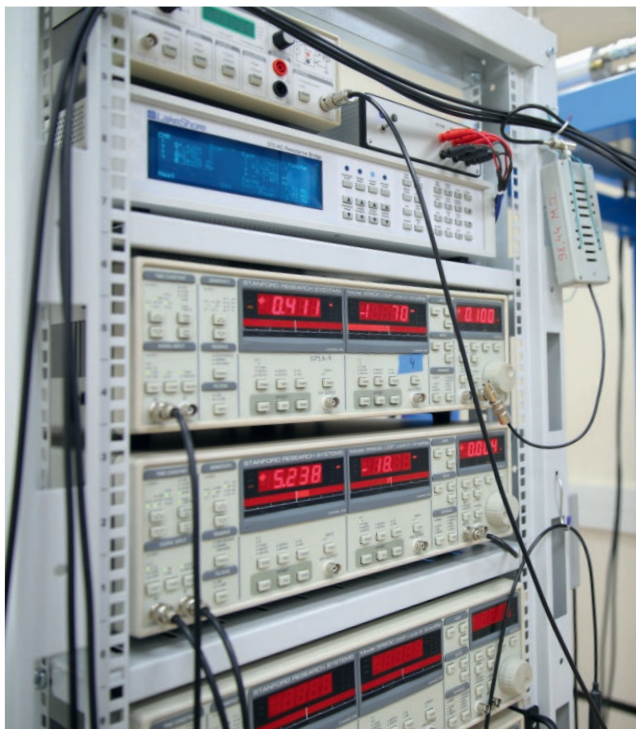
— **Ядерных центров у нас масса: Дубна, Курчатник, Троицк, Протвино... А центров сверхпроводимости до вас в России не было?**

В.П.: Давайте вначале определим, чем сверхпроводимость отличается от сверхпроводимости высокотемпературной. У нас есть просто низкие температуры. Обычно они присутствуют в мясомолочной или рыбной промышленности, это от 0°C до твердой углекислоты, сухого льда: -78°C . В физике низкие температуры — это когда становится жидким гелий-4, примерно четыре



Член-корреспондент РАН В.М. Пудалов

градуса Кельвина (-269°C). Сверхнизкие — это ниже одного градуса Кельвина. Там, при микрокельвинах, потрясающе красивая физика — холодные атомы в атомных ловушках. В 1911 г. голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес обнаружил, что в жидком гелии металлы теряют электрическое сопротивление, оно обращается в ноль. Это явление было названо сверхпроводимостью. Потом в этой области очень много сделали наши соотечественники. В своем письме президенту страны академик В.Я. Гинзбург писал: «Советские и российские физики получили всего шесть Нобелевских премий. И три из них (Л.Д. Ландау, П.Л. Капица и мы с А.А. Абрикосовым) получены за работы в области низких температур, в которой сверхпроводимость — это главное и, если угодно, центральное явление». Было много открытий, различные научные премии шли одна за другой. Наконец, сверхпроводимость вышла из лабораторий, сейчас она используется на больших ускорителях, в токамаках, на строящемся Международном экспериментальном термоядерном реакторе (ITER), других крупных научных установках. Но она работает именно в области низких температур.



За процессом измерений на современных научных установках следят десятки «умных» приборов

— **В жидком гелии, ниже четырех по Кельвину.**

В.П.: Да. А в 1986 г. сотрудники научного подразделения *IBM* Карл Мюллер и Георг Беднорц нашли соединение $La_{2-x}Ba_xCuO_4$, которое переходило в сверхпроводящее состояние при 35 К. За это им уже в 1987 г. была присуждена Нобелевская премия. Это явление получило название «высокотемпературная сверхпроводимость». Дальше пошла настоящая гонка, критическая температура поднималась все выше. В том же 1987 г. было установлено, что оксид иттрия-бария-меди переходит в сверхпроводящее состояние уже при 92 К. То есть он становится сверхпроводником в жидком азоте. Дальше — больше. В 2015 г. было установлено, что обычный сероводород проявляет сверхпроводимость при 203 К (-70° С). Правда, для этого нужно давление 150 ГПа.

— **Это же почти 1,5 млн атмосфер!**

В.П.: На сегодня рекорд — от 215 до 260 К (-13° С). Сверхпроводимость достигается при сжатии сульфидов лантана до 170 ГПа.

— **То есть выше температуры обычного сухого льда?**

В.П.: Да, существенно выше.

— **А при нормальном давлении что-то есть?**

В.П.: Есть, но температуры пока несколько ниже. Из надежно подтвержденных результатов рекордсмен — открытый российским химиком Е.В. Антиповым из МГУ оксид ртути-бария-кальция-меди, у которого критическая температура — 135 К.

Но и это не предел. В сущности, у нас нет фундаментальных физических препятствий для того, чтобы достичь сверхпроводимости при комнатной температуре. И В.Л. Гинзбург обозначил эту проблему как одну из самых приоритетных. Но, конечно, такие высокотемпературные сверхпроводники, помимо прочего, должны быть еще и дешевыми в производстве. Те, которые сейчас существуют, пока дороги. Метр сверхпроводящего кабеля стоит около \$100.

Н.К.: Да, и для них требуются специфические условия. Поэтому сейчас идет активная поисковая работа. Для этого требуется решить целый комплекс материаловедческих задач, чему и служит наш Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов. Центры сверхпроводимости в России были и до нас. В Советском Союзе был создан Институт физики твердого тела, знаменитый Институт физических проблем П.Л. Капицы, куда съезжались исследователи со всей страны, чтобы провести опыты при низких температурах. Они и сейчас остаются очень авторитетными. Но в нашем центре есть своя специфика. Это комплексный подход к проблеме. В комплексном виде программа создания новых сверхпроводников сегодня обозначена, пожалуй, только в США. Там она называется *Material Genome Initiative* («Инициатива генома материалов») и предполагает объединение всей цепочки создания нового материала — от теоретических расчетов до практических испытаний. Это же было задумано с самого начала Виталием Лазаревичем и здесь.

— **Все начинается именно с теоретических расчетов?**

В.П.: Конечно. Расчеты того, как будут укладываться атомы, в какую структуру, какой у них будет спектр колебаний, какой спектр электронов будет в решетке. Теоретические расчеты переходят в синтез материалов. В ФИАН есть группа, которая занимается такими расчетами, а в нашем центре уже есть группа синтеза. Следом вновь созданные материалы поступают на характеристику для проверки, получилось ли у нас то, что нам хотелось получить. Если получилось, дальше материал поступает на физические исследования.

Н.К.: И все это, естественно, делается в международной коллаборации. Группа Владимира Моисеевича установила тесные контакты с учеными из Голландии, Бельгии, Германии, Англии, Швейцарии, Финляндии, США. Мы уверены, что комплекс наших лабораторий привлечет специалистов из-за рубежа и что процесс научного обмена здесь будет очень интенсивным, так как у нас созданы все условия для работы и налажена хорошая инфраструктура. Я много проработал в Германии и скажу, что у нас условия не отличаются.

В.П.: Не согласен. Отличаются. У нас лучше. Центров такого класса, где создана полная цепочка, совсем немного. Они есть в Америке, Китае и в гораздо меньшей степени — в Германии и Японии. Теперь создан и в России. Этим список стран исчерпывается. Когда В.Л. Гинзбург думал о таком центре, одной из главных идей было устранение необходимости краткосрочных поездок наших ученых для проведения измерения или эксперимента то в одном, то в другом месте, потому что в этом случае систематическое исследование провести невозможно, да и часть полученных результатов неизбежно утекает. И дальше они служат развитию исследований в тех лабораториях, где были получены.

Дашь молодежь

— Разве для науки имеет значение, в какой лаборатории сделано открытие?

В.П.: Для большой науки — нет. Но все-таки очень хочется продвигать в тех или иных достижениях приоритет России, а не США или Китая. А для этого надо иметь полную собственную кухню, чтобы у нас готовилась не только начинка для большого пирога, но и весь пирог. И чтобы удовольствие от пирога чувствовалось именно здесь.

Н.К.: В организационном плане вопрос о том, что Россия много вкладывает в международные коллаборации, а получает от этого мало, часто поднимался и в министерстве, и в ФАНО, когда оно существовало, и в академии наук. У нас там хорошие успехи, туда едут наши ученые. В CERN, например, работает большая группа исследователей из ФИАН.

— А вся слава достается Швейцарии. Где открыли бозон Хиггса? В Швейцарии. И никого не волнует, что там работали российские ученые и инженеры, что там стояла российская аппаратура.

Н.К.: Естественно. А нам хотелось бы самим выращивать здесь авторитетные группы, которые привлекут специалистов из-за рубежа. Тем более что в рамках нацпроекта «Наука» предполагается формирование за три года 15 научных центров мирового уровня. Наш центр де-факто и есть зародыш такого научного центра мирового уровня. Понятно, что его надо интенсифицировать, увеличивать кооперацию, делать центром коллективного пользования. А для этого необходимо оборудование коллективного пользования, потому что далеко не все лаборатории могут позволить себе купить многие дорогостоящие приборы. Поэтому, мне кажется, идеология научного центра мирового уровня здесь уже почти воплощена.

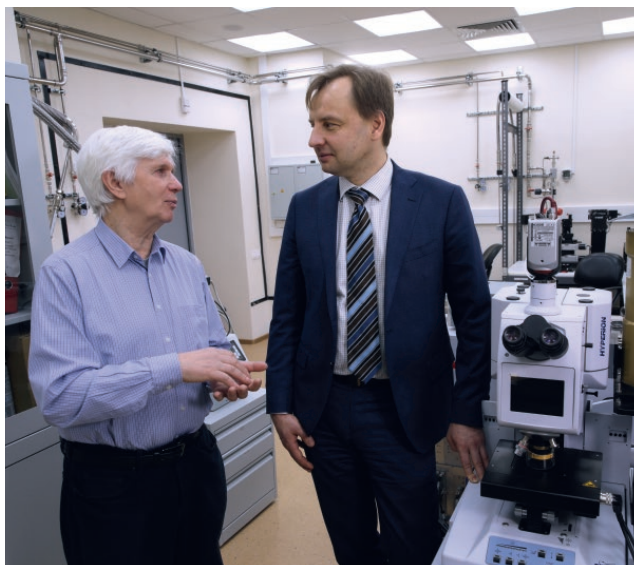
— То есть здесь предполагается создать центр коллективного доступа?

В.П.: Он уже создан, надо просто сделать, чтобы он действовал более интенсивно. Часть установленного оборудования уже работает в режиме коллективного доступа. И остальное заработает. Не все еще настроено, запущено и подключено.

Н.К.: Есть второй вопрос. У нас пока еще не так много идей, светлых голов и серьезных инициативных групп. Их всегда было мало, и не только в России, везде. Даже если ты купишь хорошее оборудование, не значит, что тут же к тебе выстроится очередь. Такие практики уже были в России. Нам предстоит серьезная и кропотливая работа — собрать и вырастить новое поколение настоящих ученых.

— Неужели в нашей стране мало специалистов в области сверхпроводимости и квантовых материалов?

Н.К.: В стране не мало, но набрать уже готовых специалистов, привлечь их, переманить, особенно из-за границы, — задача почти нереализуемая. Есть, конечно, маленький ручеек людей, которые там поработали и возвращаются обратно или съездили за границу, но там им не удалось реализовать научную карьеру, или им там что-то не понравилось и они хотят вернуться. Но это единичные случаи. Все-таки единственный действительно надежный источник нашего будущего — это наши вузы, партнеры, кооперация. И сейчас перед нами стоит задача — сконцентрировать людей и усилия, чтобы молодежь не чувствовала себя здесь одинокой. Когда студент приходит в лабораторию, сидит там один и нет у него никого, кроме научного руководителя, возникает ощущение тоски. Даже если задача интересная. Так устроена



Руководитель Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга В.М. Пудалов и директор ФИАН Н.Н. Колачевский в лаборатории инфракрасной спектроскопии

психология молодых, они в вузах привыкли к тому, что у них группа, друзья, особая среда. В.М. Пудалову удастся создать эту среду. Это большая и сложная работа, требующая серьезных организационных усилий.

В.П.: Не просто серьезных, а огромных, ведь нам нужно заполнить кадровый провал, который образовался с начала 1990-х гг., когда молодежь отказывалась идти в науку. Отток продолжался примерно 15 лет, и теперь для того, чтобы заполнить получившийся дефицит научных кадров, нам потребуется вдвое больше времени — лет 30.

Н.К.: И делать это надо взвешенно. Недостаточно быстро бросить денег и набрать людей. Искать надо по интересам. А у молодых людей эти интересы часто меняются. И тут именно ФИАН предоставляет хорошие возможности. Человек может начать заниматься теоретической физикой или оптикой, или лазерной физикой, или сверхпроводимостью... Потом по каким-то причинам интересы у него смещаются и он, не покидая институт, просто переходит в другую группу. Ему не надо увольняться, что всегда болезненно, искать другое место работы или продолжать заниматься тем, к чему потерял интерес.

Делим на ноль

— Можем ли мы сегодня сказать, что понимаем природу сверхпроводимости?

В.П.: Есть простейшие сверхпроводники, простые металлы, в которых мы прекрасно понимаем природу сверхпроводимости. Но вот теоретически точно рассчитать, что нужно сделать, чтобы поднять критическую температуру до комнатной, — от этого мы еще очень далеки. Однако есть проверенные, прошедшие апробацию идеи, как и в каких направлениях надо двигаться. Полной теории сверхпроводимости еще нет.

Н.К.: Работа в этой области немного напоминает фармацевтику. Там тоже есть примерное представление, по какой ветке идти. Но задача подбора конкретного лекарства под конкретную болезнь конкретного человека пока не решена. Скажем больше: к ее решению даже не приблизились. Тем не менее химики-фармацевты иногда получают неожиданные результаты. Бывает, даже по ошибке: пытаются лечить одну болезнь, а находят что-то совсем другое. Такое часто случается и в материаловедении, когда идет сложный синтез.



Младший научный сотрудник Центра высокотемпературной сверхпроводимости П.И. Безотосный загружает образцы в высоковакуумную установку для измерений фотоэмиссии с угловым разрешением

В.П.: Здесь ситуация до последнего времени была почти полностью непредсказуемой. Хотя новая программа в США, о которой мы говорили, называется предсказательной, я бы не стал пока употреблять это слово.

Н.К.: Дело в том, что если вы пытаетесь рассчитать квантовую систему, количество уравнений, которые надо написать, растет экспоненциально. 100-кубитная система (*кубит — единица информации в квантовом компьютере, аналог бита. — Примеч. ред.*) с помощью современных компьютеров уже вообще никак не описывается. Во Вселенной просто атомов не хватит для процессоров, чтобы ее описать. С другой стороны, 100 кубит — это очень мало, начинаются очень неоднозначные поверхностные эффекты. Поэтому такая задача не может быть решена в лоб, приходится ограничиваться какими-то приближениями.

В.П.: Или угадывать, строить предположения. То есть до сих пор успеха можно было достичь, только двигаясь по пути догадок. Сейчас у ученых появилась руководящая идея. Для простых сверхпроводников, моноэлементных, таких как алюминий, олово, свинец и т.д., уже давно все понятно, можно предсказать и рассчитать. Для бинарных соединений все обчислить не так легко, но можно. Это под силу студенту-старшекурснику или младшему научному сотруднику. Когда вы переходите к тройным или четвертным соединениям, сложность расчетов, как сказал Николай Николаевич, растет экспоненциально и быстро уходит за пределы вычислительных возможностей. А ведь это только одно из направлений, в которых можно двигаться.

— А какие еще есть?

В.П.: Например, существуют направления, где сверхпроводимость возникает на интерфейсе между различными, искусственно созданными структурами, которых нет в природе. Например, на двух монослоях углерода, графеновых слоях, чуть-чуть сдвинутых относительно друг друга. Есть материалы с искусственно созданным спектром, которые не поддаются простому математическому обсчету. Здесь нужна именно догадка.

Н.К.: Недавно у нас на ученом совете один молодой коллега рассказывал про удивительный эффект. Допустим, вы вырастили достаточно сложный кристалл, у которого есть эффект сверхпроводимости. Дальше вы от этого кристалла отщепляете чешуйку, и это свойство пропадает. Или, наоборот, возникает, если его не было.

— Ну, тогда процесс создания нового сверхпроводника очень прост. Берем кристалл и отщепляем от него по чешуйке, пока не появится сверхпроводимость...

В.П.: Сейчас у физиков появилась возможность создавать материалы путем послойной укладки атомов в любом заданном порядке, как они хотят. И тут возникает серьезный вопрос: какие будут

свойства, какое взаимодействие получится в этом новом материале? Задача сложнейшая, но очень интересная.

— Послойная укладка атомов — это что-то типа 3D-принтера?

В.П.: Да, представьте себе такой 3D-принтер, который в сверхвысоком вакууме сначала печатает слой атомов или молекул одного типа, потом по-верх — монослой другого типа, потом третий и т.д. В заданном нами порядке. Сам процесс называется «молекулярно-пучковая эпитаксия».

— Но это фундаментальная наука или прикладная?

В.П.: В основном у нас здесь фундаментальная наука. В том смысле, что конечный продукт, который мы создаем, — это новые материалы. Мы стремимся их делать с новыми, улучшенными свойствами, которых не было раньше. Дальше по цепочке полученные материалы передают уже в прикладные лаборатории, где есть оборудование для производства, например, конкретных кабелей или проводников.

Н.К.: Если говорить про эту лабораторию, здесь, конечно, основная задача — фундаментальная. Нас все время призывают привлекать ресурсы для фундаментальной науки, а это непростое дело. Слава богу, сейчас у нас есть майские указы, начинается программа по дополнительному оборудованию. Ведь даже поддержание всей созданной инфраструктуры влетает в серьезные расходы. Что-то ломается, какие-то детали выходят из строя, а оборудование, естественно, дорогостоящее.

— Какое? Кривоустановки?

В.П.: И кривоустановки. Но это не самое важное и дорогое. Я уже сказал, что здесь реализуется полный цикл создания и исследования новых материалов, а это — твердофазный синтез, боксы, в которых люди в перчатках работают в аргонной атмосфере, соединяют нужные материалы, измельчают их, прессуют, посылают в печь, выращивают кристаллы и т.д. Дальше у нас идут установки для рентгеновских исследований, элементного анализа, определения фазового состава, измерения энергетических спектров электронов. Потом образец поступает к студентам, которые приделывают контакты, загружают десятки установок и на них определяют искомые свойства.

— А где же кривоустановки?

В.П.: В самом конце, «на десерт».

Что век идущий нам готовит

— Давайте немного пофантазируем, как изменится жизнь человека, например, через 50 лет, если все у вас все пойдет хорошо и появятся сверхпроводники, которые будут работать при 30° С.

В.П.: Мне легко фантазировать, я не буду отвечать за то, что будет через 50 лет. Но, конечно, произойдет настоящая революция в энергетике и транспорте.

— **Энергетика понятно, а почему в транспорте?**

В.П.: Казалось бы, авиация и сверхпроводимость — какая связь? А сверхпроводящий самолет — серьезный проект, который рассматривается и реализуется и в Европе, и в США. Россия в нем тоже участвует.

— **Это что, электросамолет?**

В.П.: Не просто электросамолет, каких уже немало, а новый тип электросамолета, у которого вместо керосиновых или газовых турбин будет единый генератор и электромоторы на крыльях.

— **Разве нельзя сделать то же самое без сверхпроводников?**

В.П.: Можно, но эффективность будет на порядки ниже. Это как современный локомотив рядом с паровозом. Сверхпроводящие обмотки позволят достичь фантастических мощностей. Там вообще масса места для сверхпроводимости. Дальше — наземный транспорт. Сейчас вы до Нижнего Новгорода из Москвы, а это около 400 км, добираетесь примерно четыре часа, и это неплохо. Но лучше было бы туда доезжать за полчаса.

— **Есть такая возможность?**

В.П.: Конечно. И в Японии, и в Китае уже существуют поезда на магнитной подвеске, которые развивают скорость свыше 500 км в час. Постоянный магнит на сверхпроводниках легко удержит огромный состав. Я уж не говорю про то, что сверхпроводимость может дать оборонному комплексу. Но главная революция произойдет все-таки в энергетике. Сейчас мы получаем электроэнергию в основном за счет невозобновляемых ресурсов — нефти, газа, угля и т. д.

— **Еще за счет сжигания урана.**

В.П.: Ядерная энергия — это хорошо, но она имеет массу своих минусов. Термоядерная энергетика пока не получается. Но у нас есть еще солнечная энергия.

— **Для эффективной солнечной энергетики нужна хорошая соляризация. А у нас в стране полгода зима.**

В.П.: Правильно. У нас строительство солнечных электростанций не имеет большого экономического смысла. Но ведь есть на планете Земля места, где Солнца не просто много, а очень много. Например, пустыня Сахара. Там на площади в несколько сотен квадратных километров, что будет составлять 1% от территории, можно установить солнечные элементы, мощности которых даже при 20% КПД хватит на то, чтобы удовлетворить потребности всей Европы. Но тут перед нами встает проблема ее передачи. И здесь без сверхпроводящих кабелей не обойтись. Если будет решена проблема сверхпроводимости, которая не требует

дорогостоящей инфраструктуры, тогда эту электроэнергию можно будет дешево и без потерь передать хоть в Европу, хоть в Азию...

— **Хоть в Австралию, хоть в США...**

В.П.: Туда нет смысла, там есть свои подходящие пустыни, например Виктория и Невада. Далее: электроэнергию надо не только добывать, но и экономить.

— **Сэкономил — значит заработал.**

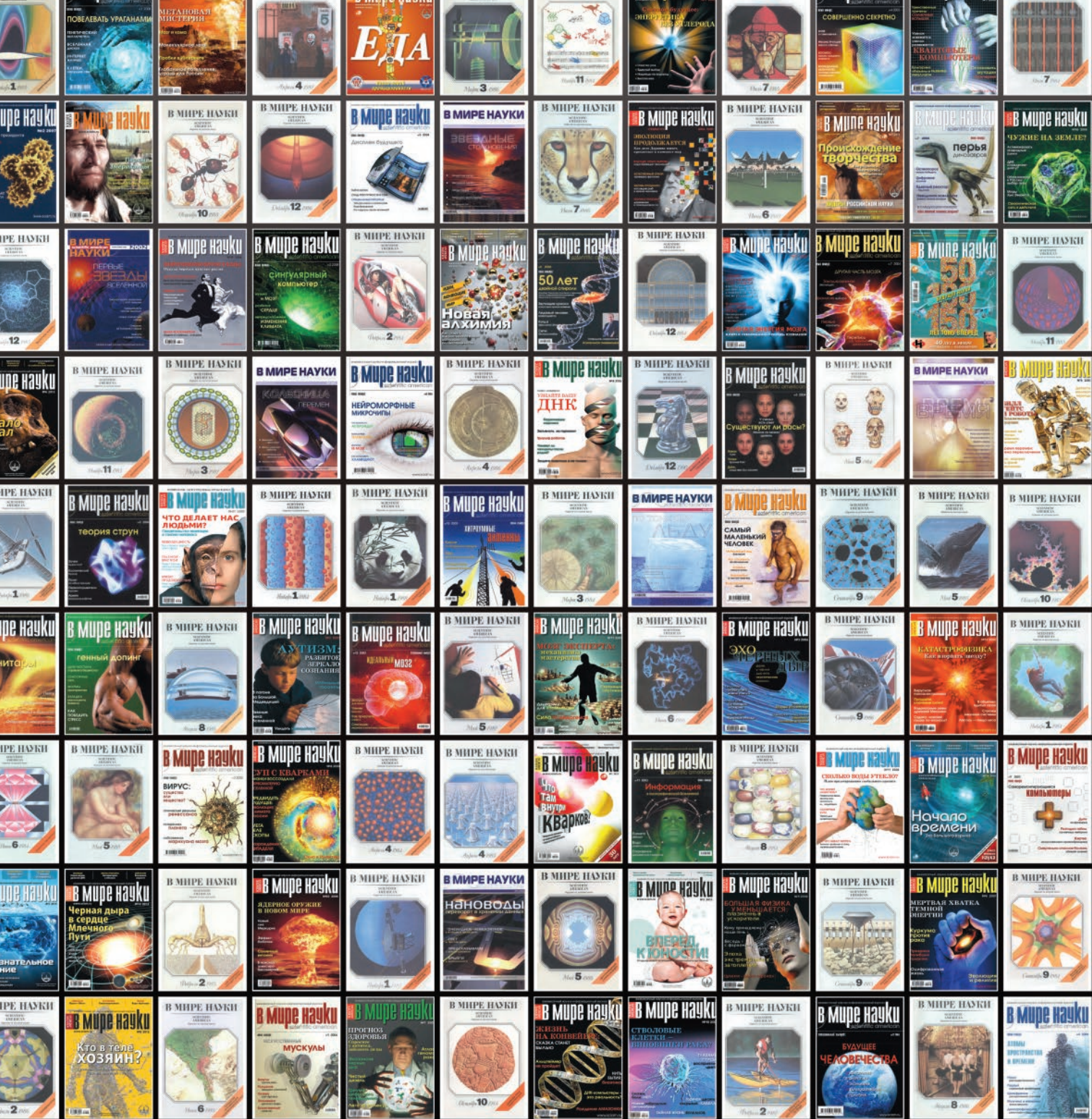
В.П.: Совершенно верно. И здесь у сверхпроводников огромные перспективы. Повышение передаваемой мощности с использованием силовых кабелей из традиционных меди и алюминия в основном решается сегодня за счет увеличения электрического напряжения. Максимально достигнутые значения — 500–800 кВ. Это ограничивает передаваемую мощность на уровне 0,5–1,5 ГВт. При этом требуются особые параметры прокладки линий, особенно в условиях городской среды, возникает ряд экологических проблем: блуждающие токи, разогрев почвы, электромагнитные излучения... Резко увеличить мощность распределительных сетей без изменения напряжения можно, заменив традиционные силовые кабели сверхпроводящими. Наши коллеги из ВНИИ кабельной промышленности уже создали отрезок такого кабеля длиной 220 м. Он установлен и успешно прошел все испытания. Технически возможно проложить по дну океана электроэнергетический кабель из России, например, в Японию, чтобы торговать не нефтью и газом, а электроэнергией — более технологичным продуктом с высокой добавленной стоимостью. Тут много возможностей.

Н.К.: Сверхпроводимость уже сегодня позволяет решить множество проблем. У нас масса генерирующих компаний со своими энергосетями. На их стыке часто возникают сложности. Там нужны устройства, которые обеспечивают безопасное соединение, а в случае аварии оперативно отключают одну сеть и подключают другую. Здесь уже используются сверхпроводниковые токоограничители, переключатели и т. д. Но сегодняшние сверхпроводники, как мы уже говорили, пока слишком сложны и дороги. И одна из наших целей как раз состоит в том, чтобы создать более простые, дешевые и дружелюбные к человеку сверхпроводники.

— **И все-таки через сколько лет нам ждать Нобелевской премии за открытие сверхпроводимости при комнатной температуре?**

В.П.: Некорректный вопрос. Я был бы полным профаном, если бы попытался что-то прогнозировать в этом направлении. Да и сглазить можно. Но скажу одно. Виталий Лазаревич Гинзбург в последние годы, когда уже был прикован к постели, говорил мне: «Я наверняка не доживу до открытия комнатной сверхпроводимости, но вы обязаны это сделать».

Беседовал Валерий Чумаков



Хотите знать о науке больше?

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

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить
и отдельные статьи



ФИЗИКА



Е.Б. Александров у пульта



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ НАУКИ

Как измерить сверхмалые магнитные поля, прожить на дрейфующей льдине два с половиной месяца, проверить теорию относительности, бороться с невежеством и лженаукой — в интервью с выдающимся ученым, физиком-экспериментатором, академиком **Евгением Борисовичем Александровым**, заведующим лабораторией атомной радиоспектроскопии Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, председателем Комиссии по борьбе с лженаукой РАН.



Академик
Е.Б. Александров

— Евгений Борисович, расскажите, пожалуйста, о вашей лаборатории, чем она занимается, когда была создана и для каких целей.

— Я всю жизнь проработал главным образом в Государственном оптическом институте (ГОИ) им. С.И. Вавилова, именно там у меня была лаборатория квантовой магнитометрии. Но когда ГОИ стал финансово тонуть в 1990-е гг., я перешел в Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, с которым всегда был связан. Здесь были знакомые теоретики, которые меня наставляли в моих исканиях. Ж.И. Алферов, в ту пору директор ФТИ им. А.Ф. Иоффе, назначил меня начальником лаборатории. Она сейчас называется «лаборатория радиоспектроскопии атомов», но на самом деле она занимается и атомами, и атомоподобными объектами, такими как центры окраски в кристаллах.

В ГОИ я попал в отдел, которым когда-то управлял С.И. Вавилов, и этот отдел был академического направления, в то время как сам институт был отраслевым и занимался преимущественно оборонными задачами. А у нас в отделе была академическая заводь, и мне предоставляли огромную свободу, что привело меня в полную растерянность. У меня был старший наставник, ученый-оптик П.П. Феофилов, вскоре избранный членом-корреспондентом академии наук, который интересовался новой атомной спектроскопией в духе Альфреда Кастлера, в будущем нобелевского лауреата. И он предложил мне поработать в этом направлении — заняться оптической ориентацией атомов.

Я довольно быстро воспроизвел все, что делали на Западе, но видел — все, что я придумываю,

только что сделано там и я бегу за уходящим поездом. Потом я все-таки нашел свое направление, но впал в «ересь», стал отрицать некие основы квантовой механики. Решил, что я проверю ее на новых объектах, и действительно нашел довольно удивительные феномены, которые предъявил физтеховским теоретикам. Они сначала сказали, что этого не может быть, но потом признали и заодно научили меня настоящей квантовой механике. Оказалось, что я не то чтобы перевернул квантовую механику, но нашел в ней нечто новое. И в дальнейшем это привело к тому, что на меня стали пикировать всякие «изобретатели велосипедов», которые, например, хотели сделать вечный двигатель. Они считали, что я как раз тот человек, который будет им помогать.

— Вы сразу поняли, с чем и кем имеете дело?

— Да, это я навожу мостик к моей борьбе с лженаукой. Так вот, мне удалось сделать оригинальную работу, которая была быстро оценена в качестве кандидатской и докторской диссертаций, поддержана теоретиками Физтеха, и я приобрел некоторую известность. Меня цитировали французские физики во главе с Кастлером, потому что я предложил новый метод измерения сверхмалых магнитных полей. Они были такие малые, что никто в жизни не мог создать такое малое поле, чтобы его измерить, а французы его создали внутри экранов, измерили и написали, что метод измерения придумал молодой человек из Государственного оптического института в Ленинграде.

Тогда обо мне узнали наши военные и стали привлекать к задачам противолодочной обороны, и дальше я уже 30 или 40 лет занимался магнитометрией в приложении к поиску вражеских подводных лодок. Это была трудная задача, потому что область уже была очень «истоптана»: на Западе было множество центров, которые занимались тем же самым. И я видел, что у меня нет никаких новых ресурсов, чтобы сделать намного лучше, чем они, потому что мое изобретение касалось сверхмалых магнитных полей, которые находятся где-то в космосе. А тут речь шла о том, чтобы замечать изменения магнитного поля Земли под действием искажающих объектов, в частности подводных лодок. Но мы все же взялись за эту задачу. У меня были аспиранты, и мы постепенно значительно продвинулись в этой области. Настолько, что обогнали весь мир. Это было связано с тем, что Запад относительно мало занимался магнитной разведкой, в основном для поиска полезных ископаемых, а подводные лодки они искали по шумам. Наши лодки были тогда очень шумные, а американские лодки были тихими, и потому наши поисковики пошли по линии магнитометрии. И вот этой магнитометрией мы занимались лет 30, и до сих пор наши магнитометры остаются, пожалуй, лучшими в мире.

— А какие другие задачи можно решать с помощью магнитометров?

— Прежде всего, это поиск полезных ископаемых. Делалось множество попыток предсказывать землетрясения по поведению магнитного поля. Кроме того, появились другие задачи. Мы занимались измерением естественных магнитных полей Земли, а сейчас появилось огромное количество задач измерения локальных магнитных полей разных мелких объектов, таких как ионы, квантовые точки или аксоны в головном мозге, которые тоже генерируют некие магнитные поля. И для этого нужны совсем другие магнитометры, которые способны разрешать пространственно очень малые структуры. Наши датчики были большие, у нас были газовые колбы размером по 100 мм. Сейчас появились новые задачи, и ими занимается моя лаборатория, которая, в частности, переходит на микроскопические датчики, например на крошечных кристаллах легированных алмазов.

Кроме магнитных полей, подобного рода атомные датчики способны служить датчиками точного времени и, как ни странно, гироскопами. Эти задачи всегда были в поле нашего зрения, но сейчас они пошли уже в виде микродатчиков. Это новая нанофизика, она сейчас приводит к переоценке всех старых решений, мы теперь делаем что-то очень маленькое. И если раньше мы создавали уникальные инструменты, то теперь от нас требуется массовое производство: например, чтобы каждый айфон содержал внутри себя атомный стандарт частоты, атомные часы, — эта задача тоже находится в поле зрения нашей лаборатории.

— В 1989 г. вы проводили испытания магнитометров на дрейфующей льдине в Северном Ледовитом океане в течение двух с половиной месяцев в составе полярной экспедиции. Расскажите об этом, пожалуйста.

— Дело в том, что военные хотели, чтобы мы делали все более и более чувствительные датчики. Они требовали от нас, чтоб мы превзошли западные датчики в сто, тысячу раз. А меня это очень смущало, потому что я подозревал, что их нельзя будет использовать, они будут слишком чувствительными. Иными словами, я предполагал, что шумовая обстановка, особенно на самолете, который летает и ищет эти подводные лодки, будет такая, что чувствительность просто окажется излишней. Но запас чувствительности мы накопили большой, и я решил поставить такую задачу — измерить с помощью наших совершенно уникальных магнитометров, как ведут себя естественные шумы магнитного поля Земли на том уровне чувствительности, на котором они никогда не изучались.

И у меня появилась мысль, что в цивилизованных условиях этого сделать нельзя и что нам надо выехать в область, где нет техногенных источников магнитных шумов. В качестве такого места мы рассмотрели ледяные поля Арктики, где, с одной стороны, отсутствуют волны (а это очень большой источник шумов магнитного поля), потому что скованы льдами, а с другой — нет никакой цивилизации. Кроме того, я считал, что мы можем проверить предельную возможность обнаружения подводных лодок в условиях отсутствия магнитных шумов носителя, то есть самолета. Идея была такая: мы расставим несколько магнитометров на льду и будем писать шумы естественного магнитного поля Земли, а потом пригласим подводную лодку, чтоб она проплыла.

У меня были договоренности с адмиралом В.Н. Чернавным и с академией наук, что все это будет сделано. И наша маленькая группа два с половиной месяца прожила на дрейфующей льдине, далеко от основного лагеря. Нас было четверо: технический директор В.А. Бонч-Бруевич, я и еще два техника из нашего института.

Мы ушли на 2 км от основного лагеря, были в полном безмолвии и одиночестве, писали наши магнитные поля и обнаружили массу удивительных явлений. Мы записывали на таком уровне, на котором никто не фиксировал, и увидели, что магнитное поле обладает совершенно неустраиваемыми шумами в том частотном диапазоне, в котором мы собираемся искать эти подводные лодки. То есть мы поставили предел чувствительности магнитного поля, связанный не с пределом приборов, а с пределом природы земного магнитного поля.

У нас было три магнитометра, расставленных на расстоянии до 1 км, и мы мерили не собственно магнитное поле, а градиент магнитного поля, разницу магнитных полей. Она меряется гораздо



Красное солнце Арктики

точнее, потому что при этом вычитаются магнитные поля, связанные с ионосферой. Ионосфера находится далеко, на расстоянии порядка 100 км, и она примерно одинаково воздействует на два относительно близко расположенных магнитометра, так что в очень малой степени входит в разность их показаний. Поэтому можно с большой точностью заметить появление любого инородного локального возмущения поля. Мы, например, обнаруживали магнитную жизнь в нашем лагере, который был от нас в нескольких километрах.

Но все-таки из запланированного раунду с подводной лодкой ничего не вышло, потому что произошла трагическая история: как раз во время нашего проживания на льдине утонула подводная лодка «Комсомолец» в Северном море. Это была ужасная авария. После этого на все атомные подводные лодки был наложен секвестр. Поэтому мы прописали только шумовую обстановку, чего, впрочем, было совершенно достаточно.

Мы тогда обнаружили новое интересное явление — появление шума, связанного с дрейфом нашей льдины. Она плыла над подводными горами, и от этого у нас менялось магнитное поле. Плыла она хаотическим образом: закрывала одну трещину, отражалась от нее, шла в другую сторону. Такое броуновское движение с общим дрейфом.

— Вы не знали, что находитесь на дрейфующей льдине?

— Нет, мы, конечно, это знали, но этот хаотический характер дрейфа, с временем смены направления порядка минут, был для нас полной неожиданностью. Мы обнаружили это по нашим записям магнитного поля. Вот такое «открытие». Тогда еще не было глобальной системы позиционирования GPS, и я понял, что это способ обнаружения дрейфа льдин — по корреляции шумов магнитного поля, регистрируемого разнесенными датчиками. К сожалению, это открытие закончилось вместе с появлением GPS, просто оно уже оказалось не нужно.

Это была замечательная эпопея. К сожалению, тогда все это было засекречено и мы об этом очень мало написали. Есть только одна статья по результатам исследований, где мы пишем о том, что замечаем дрейф по магнитному полю.

— Как вы там жили?

— Жили по-спартански. Было приблизительно -40°C . Очень холодно, случались сильные метели.

— А страшно было?

— Да нет. Даже когда трескались льдины. Прорываешься, а через твою юрту проходят трещины и плещет вода. Но это все происходило медленно и совсем не пугало. Были очень интересные



Трещина во льду

приключения с самолетами. Они прилетали с провизией для полярников, и когда не могли сесть из-за трещин во льдах, сбрасывали продукты на парашютах. И тогда происходили совершенно удивительные явления. Почему-то частенько эти парашюты обрывались и посылка разбивалась вдребезги. Туда попадались приходило белые медведи — разбирать то, что там оставалось. Потом прислали группу парашютистов, которые стали вместе с посылками прыгать с самолетов и проверять, что происходит. Посылки стали прекрасно спускаться. В итоге выяснилось, что причина была в коррупции. Стропы парашюта подрезали, а продукты разворачивали...



— **Евгений Борисович, то, чем вы занимаетесь, имеет отношение к смене магнитных полюсов Земли?**

— Конечно, имеет. Правда, это не моя область, а геофизики, но я слежу за этими работами. Есть гипотеза, что перемещение магнитных полюсов чревато тем, что при этом меняется и амплитуда магнитного поля — и даже переходит через ноль. Точно известно, что магнитное поле в истории Земли много раз меняло положение полюсов, вплоть до полной реперолюсовки.

— **Зафиксировано то, что при этом происходит?**

— Трудно сказать, что при этом происходило. Ну, например, климат кардинально менялся, и сейчас эти процессы связывают в том числе с изменением магнитных полюсов. Если на Земле не будет магнитного поля, то образуется гораздо больше облаков, потому что из космоса будут выпадать ионизирующие частицы, которые сейчас отклоняются и захватываются магнитным полем. Они будут спускаться ниже ионосферы и провоцировать образование облачного покрова, что может привести, например, к атомной зиме. Может начаться страшное похолодание.

— **А не потепление, как сейчас прогнозируют?**

— Не потепление. Это, вообще говоря, опасно, но не безнадежно, потому что, во-первых, это происходит примерно раз в несколько миллионов или даже в 100 млн лет. И это, конечно, долгий процесс, он тянется сотни лет. Во-вторых, сейчас люди стали гораздо могущественней. Они, например, могут поддержать магнитное поле. Для этого понадобится парочка атомных станций, нужно обмотать проводами Землю (смеется) и запустить магнитное поле. Ну, пока это глубоко неактуально. Это футурологические размышления наших геофизиков. Никто до сих пор надежно не знает,

Участники экспедиции переносят магнитометр (в утепляющей коробке)

откуда берется магнитное поле Земли. Предполагают, что это связано с нашим жидким ядром.

— **Можно сказать, что ученые точно знают, что внутри Земли?**

— Довольно много знаем. Но мы лучше представляем себе, как устроены черные дыры, чем наша Земля. Мы пробурили всего 12 км в глубину, а всякие интересные события начинаются примерно с 50 км.

— **А стоит такая задача?**

— Естественно! Это очень интересно и важно. Сейчас один из марсоходов собирается измерять количество теплового потока на Марсе. Так вот, такие потоки, конечно, измеряются на Земле, потому что она внутри горячая. По количеству тепла, которое выходит наружу, можно судить об устройстве Земли, о том, что происходит внутри. Согласно теперешним моделям, она поддерживается в горячем виде процессами радиоактивного распада, но вообще она сохраняла огромное количество тепла, которое связано с импактной историей ее образования, когда Земли вся слипалась из протооблака, летавшего вокруг Солнца. Но это не моя область.

— **Хочу вас спросить о работе Комиссии по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований РАН. Когда вы поняли, что с этим надо что-то делать?**

— Понял, когда стал заместителем директора Государственного оптического института, потому что мне стали приходиться на рецензию отчеты от наших ведомственных институтов. И тут я поражаюсь, потому что в этих номерных НИИ совершались грандиознейшие открытия, утверждалось, что найдены новые фундаментальные взаимодействия, которые будут обслуживать все

потребности Советского Союза, прежде всего оборонные, разумеется. Вот, например, так называемые торсионные поля. Сначала, впрочем, они назывались спинорными полями. Спинорные, торсионные, аксионные, лептонные — это все слова, заимствованные из словаря «высоколобой» теории, что должно было внушить уважение к этим новым секретным открытиям. Тема поиска новых взаимодействий мне была знакомой. Я знал, что физики во всем мире их ищут, но при этом заведомо знают, что искомые поправки должны быть безмерно малы. Некоторые из этих поправок прямо вытекают из общей теории относительности, в том числе поле кручения («торсионное поле») вокруг вращающейся массы. Но упомянутые поправки до такой степени малы, что их невозможно не то что употребить, а обнаружить. Однако в этих отчетах писалось, что новые взаимодействия отнюдь не малы, а скорее всемогущи. Говорилось, что новыми лучами (они же частицы, они же поля) мы будем сшибать вражеские ракеты, уничтожать живую силу противника... После чтения этих отчетов я написал министру, что всех авторов надо гнать с работы и лишать ученых степеней.

— **Сколько врагов вы, наверное, приобрели!**

— Как физик я хорошо представлял себе, какие силы возможны, а какие нет. Есть четыре фундаментальных взаимодействия, а все, что ищется заново, должно быть бесконечно слабым, если вообще есть. До сих пор ничего не обнаружено. Ищут, потому что физике всегда интересны границы, где отказывают старые законы. Сейчас, например, все время опровергают эйнштейновскую теорию относительности. Несколько лет назад, замученный потоком ее опровержений, поступающих в Комиссию по борьбе с лженаукой, я уговорил физиков Курчатовского института поставить прямой эксперимент по измерению скорости света от релятивистского источника. (А уговорить было не просто, потому что для профессионалов в области ускорителей частиц справедливость теории относительности — такая же будничная очевидность, как справедливость таблицы умножения.) Речь шла о проверке второго постулата теории относительности — о независимости скорости света от скорости источника. Мы измеряли скорость света от электронного сгустка в синхротроне, летящего со скоростью, практически неотличимой от скорости света. По классической механике Ньютона можно было ожидать, что фотон, испущенный в направлении движения сгустка, будет иметь удвоенную скорость света — скорость света плюс скорость движения источника. Но, как и постулировал Эйнштейн, скорость фотонов оказалась в точности световой. Впрочем, боюсь, борцов с Эйнштейном это не убедит: число честолюбцев, мечтающих опровергнуть гения, не убывает. Большинство ниспровергателей уверены, что

доказательная база теории относительности сводится к опытам Альберта Майкельсона вековой давности. На самом деле эта теория несравненно сильнее подтверждена своими следствиями — например, ядерной энергетикой и ядерным оружием.

— **Какова сейчас ситуация: растет или, наоборот, уменьшается число псевдоученых?**

— Мы научили власти скептически относиться ко всем этим обещаниям. Договорились с Советом безопасности РФ, что они будут присылать все такого рода проекты к нам в Комиссию по борьбе с лженаукой. Мошенники перестроились, они коммерциализуются. Постепенно из военной области торсионные поля стали переселяться в сельское хозяйство: якобы повышали лактацию коров. Проникли в медицину, где будто бы излечивали от СПИДа. Не так давно их пытались продать в Англию в качестве способа разведки нефти. Англичане написали нам письмо, и мы объяснили, что за этим стоит.

Сейчас на нас подают в суд гомеопаты, которых мы уличаем в лженаучности.

— **Бывают ситуации, когда люди искреннее заблуждаются?**

— Полно таких! Но их очень часто берут в союзники мошенники-негодяи, которые умеют входить в контакт с чиновниками. А с чиновниками по-всякому бывает.

— **В иностранных академиях наук тоже есть комиссии по борьбе с лженаукой?**

— Да, есть. Это актуально во всем мире, но нигде и никогда не было государственной поддержки этого дела, как у нас. Достаточно вспомнить из нашего прошлого, скажем, Т.Д. Лысенко, или из недавних — В.И. Петрика.

Но у нас все-таки есть некоторые завоевания. К нам стали прислушиваться, мы постоянно получаем заявки от Администрации Президента РФ с предложением проверить очередное замечательное «открытие».

— **Как вам кажется, от лженауки больше опасности для самой науки или для общества?**

— Общество у нас, по-моему, в последнее время ввергнуто в средневековье с помощью телевидения. Эти бесконечные битвы экстрасенсов и пр. С точки зрения комиссии, не должно быть никакой государственной сертификации ни целителей, ни экстрасенсов, ни прочих магов. Единственное, что должно делать государство, — расследовать криминальную сторону, связанную с этим бизнесом. И, главное, необходим категорический запрет государственной пропаганды и рекламы этих услуг, которая сейчас есть во всех газетах. Понятное дело, с сельскими бабушками вы справиться не сможете, да и гадалки будут существовать всегда. С невежеством можно бороться только просветительством. ■

Беседовала Ольга Беленицкая

Всё, всем, всегда ДОСТУПНО



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

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

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

www.sciam.ru



Google play



**В мире
науки**

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал



В РИТМЕ ЖИЗНИ

Нобелевская премия по физиологии и медицине за 2017 г. досталась американским генетикам, объяснившим на молекулярно-биологическом уровне механизм функционирования циркадианных (суточных) ритмов. Один из пионеров такого рода исследований — наш соотечественник, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ **Семен Исаакович Рапопорт**, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова. О том, что такое хронобиология и хрономедицина, в чем их важность для всех и каждого, — этот разговор.



Доктор медицинских наук,
профессор С.И. Рапопорт

— Семен Исаакович, правда ли, что хронобиология и хрономедицина — направление, которым ваша исследовательская группа начала заниматься чуть ли не первой в мире?

— Это не совсем так. До нас вопросом хронобиологии занимались довольно много и в нашей стране, и за рубежом. Это известные физиологи и патофизиологи, крупные ученые, профессора Н.А. Агаджанян, В.А. Фролов, Ю.А. Романов. Но к клинической медицине это не имело прямого отношения. Это была именно хронобиология — наука, изучающая процессы, которые происходят в определенной ритмике, и они к этой ритмике привязаны.

— Иначе говоря, все живое подвержено неким ритмам?

— И живое, и неживое. Скажем, смена дня и ночи или времен года. Ритмика — это универсальный процесс, и ему подвержено все. А хронобиология — это то, что изучает ритмические процессы у животных и растений. Этими вопросами ученые занимались, проводили конференции, делали попытки создать структуру, которая координировала бы это научное направление. Было понимание, что это важная проблема.

— А как получилось, что вы, гастроэнтеролог, увлеклись хронобиологией?

— Практически сразу после окончания института я был принят на работу к академику В.Х. Василенко, которому Минздрав СССР поручил возродить гастроэнтерологию, исчезнувшую после Великой Отечественной войны.

— Но ведь В.Х. Василенко был кардиологом?

— Да, он был лучшим кардиологом страны, а может и мира. Кстати, он был личным врачом Мао Цзэдуна. Владимир Харитонович был универсалом, его организаторский талант и высокая ответственность были гарантией успеха. Создали специальную научную группу, и я оказался в ее составе. Считаю это счастливым билетом в своей жизни, поскольку в результате я стал, во-первых, учеником В.Х. Василенко, во-вторых, гастроэнтерологом. Это интереснейшая, необъятная специальность. Я постигал ее шаг за шагом и чем больше понимал, тем больше у меня возникало вопросов.

— Что же это были за вопросы?

— В те годы одной из центральных проблем была язвенная болезнь. Она и сейчас остается весьма острой, но раньше это была настоящая беда. А язвенная болезнь имеет свои особенности — ей присущи сезонные обострения. Спрашиваешь у пациента, как он себя чувствует в зависимости от времени года, и если есть сезонность — для меня это уже диагноз.

Я спрашивал, откуда эта сезонность, и у В.Х. Василенко, и у профессора А.С. Логинова, именем которого сейчас назван Институт гастроэнтерологии. Но никто объяснить этого не мог.

Я начал искать в литературе, узнавать, что такое биоритмы. И однажды нашел кандидатскую диссертацию 1953 г. Ф.И. Комарова. Она называлась «Особенности ночной секреции у больных язвенной болезнью». Так для меня впервые зазвучал

вопрос суточной ритмики у пациентов. Оказалось, что ночью у всех язвенников происходит избыточное выделение соляной кислоты и что многие другие болезни имеют сезонный характер обострений. И тут я впервые подумал: вот бы сделать целое направление в медицине, посвященное этой ритмике.

— Хрономедицина?

— Да, и это было тогда совершенно новое слово. С этой идеей я обратился к Б.В. Петровскому, который был тогда министром здравоохранения. Он попросил написать докладную. Потом предложил заслушать меня на ученом совете Минздрава СССР. Далее было рекомендовано обратиться в Академию медицинских наук. Вышло соответствующее постановление. И уже тогда я позвонил Ф.И. Комарову, автору той работы. Он в то время был уже академиком, генерал-полковником медицинской службы, начальником Военно-медицинского управления Советской армии. Это было выше министра здравоохранения. К тому же он заведовал кафедрой госпитальной терапии Первого медицинского института. Он меня внимательно выслушал и говорит: «Давайте этим заниматься».

Федор Иванович всегда был человеком слова. Если он что-то говорил, то всегда делал. Решили, что надо создавать такое направление в стране. Для этого АМН СССР сформировала академическую группу Ф.И. Комарова. Это был 1982 г. Дело пошло довольно энергично.

— А что вы делали? Больных консультировали? Проводили эксперименты?

— Конечно, были и исследования, и пациенты. Меня в первую очередь интересовала язвенная болезнь с точки зрения биоритмов. Мы стали выяснять, как развиваются клинические проявления и как это зависит от сезона и времени суток. То есть нас интересовали и сезонность, и околосуточные ритмы.

Потом мы создали проблемную комиссию Академии медицинских наук «Хронобиология и хрономедицина», которую возглавил Ф.И. Комаров, а заместителями стали Ю.А. Романов и я. Впоследствии я много лет, вплоть до последнего времени, ею руководил. Сейчас ее возглавил мой ученик профессор С.М. Чибисов. Так, по сути, было создано новое направление. Дальнейшие события показали, что это был правильный и необходимый шаг.

Наверное, надо сказать, что Ф.И. Комаров жив, ему 98 лет и, пожалуй, это старейший здравствующий академик. Причем он академик многих академий мира. Очень уважаемый человек, который пользуется почетом во многих странах. В 1941 г. он был тяжело ранен, ушел на гражданскую службу и поступил в Военно-медицинскую академию в Ленинграде. С этого и началась его медицинская деятельность.

— Семен Исаакович, какие удалось сделать важные выводы, работая в направлении развития новой науки — хрономедицины?

— Главный вывод состоит в том, что это универсальный процесс. Все ритмично. Ритмы есть разные — ультрадианные, инфрадианные, циркадианные. Это главные три ритма, которые присутствуют у всех живых организмов. И нам сегодня совершенно ясно, что многие, если не все, болезни тесно связаны с ритмикой.

— А какие конкретно?

— Перечислять можно бесконечно. Практически все болезни, в том числе и кардиологические — убийцы человечества номер один: гипертоническая, ишемическая болезни сердца, — тесно связаны с нарушениями ритмов (десинхронозом). Мы знаем, когда человеку может стать плохо. И мы можем предупредить обострение. Это профилактика, которая всегда лучше лечения. И второе: мы знаем, когда лучше начинает работать лекарство. Это означает, что можно дать его один раз, но в нужное время, даже в меньшей дозе, чем обычно. Это называется «хронотерапия».

— Все это индивидуально подбирается?

— Конечно. Тут важен суточный мониторинг состояния больного — контроль давления, ЭКГ. Все это сейчас делается элементарно. В результате мы даем, скажем, половину суточной дозы в определенное время. Этого будет достаточно, чтобы предупредить разного рода неприятности: подъем артериального давления, инфаркт миокарда, приступ ишемической болезни. Ну а если говорить о желудочно-кишечном тракте, то весь процесс пищеварения ритмичен. Поэтому здесь знание законов хронобиологии бесценно. Когда мы стали давать разным больным лекарство в строго определенное время, положительная динамика была налицо.

— Но я никогда не слышала, чтобы в каких-либо больницах применялись подобные схемы лечения.

— Вы правы: внедрить такой подход непросто. Куда проще всем давать лекарства по одной схеме, три раза в день. Много лет я выступаю на различных конференциях и говорю, что это центральная проблема, которую мы подняли еще в 1980-е гг. Ее нельзя недооценивать. Повсеместно нужна хронотерапия, и тогда мы будем меньше и легче болеть.

— То есть внедрить в массовое здравоохранение эту методику не удалось?

— Я бы сказал так: постепенно дело сдвигается с мертвой точки. Сейчас хрономедицинские подходы начали внедрять на Севере, где стало понятно, что без этого осваивать данные земли невозможно. Мы очень убедительно описали эту проблему в вышедшей в 2018 г. монографии «Хронобиология и хрономедицина» под редакцией С.М. Чибисова, С.И. Рапопорта и М.Л. Благодрава.

— **Почему именно на Севере это столь важно?**

— Потому что там сутки, лето и зима другие по своей протяженности, надо все время приспосабливаться в плане и работы, и вообще жизни. Там почти всегда темно. Происходит десинхроноз, приводящий к самым разным расстройствам со стороны здоровья. Все мы знаем, например, про вахтовый метод работы. Как вы думаете, он полезный?

— **Думаю, не безвредный.**

— Очень вредный. Могу сказать, что злокачественные опухоли возникают чаще в три раза при вахтовом методе работы. У медсестер, которые работают в ночную смену, заболеваемость, в том числе раком, много выше, чем у тех, кто работает днем. Это о чем-то говорит? Значит, надо смотреть этих больных, проводить профилактику, давать дополнительный отпуск. Надо предупреждать возможные осложнения.

— **А как их предупреждать?**

— Какое-то время назад центральной проблемой для Швеции были сезонные депрессии. А я был знаком с ведущим психиатром Швеции. Зимой, в декабре, день длится три-четыре часа, и этого достаточно для развития тяжелой формы депрессии. В течение недели больные с депрессией ходили на два, три часа к нему в клинику, в помещение с освещенностью в 2,5 тыс. люксов. Это очень яркий свет. Неделя такого лечения значительно облегчала состояние пациентов или предупреждала возникновение депрессии.

— **Но и у нас зимой короткий световой день и длинная ночь.**

— Совершенно верно. У нас была идея создать такой кабинет светотерапии, но, к сожалению, сорвалось по ряду технических причин.

— **А может быть, можно самим зажигать свет поярче?**

— Конечно можно. Это, в том числе, профилактика депрессии. Но вот что еще важно: в зависимости от светового дня меняется выработка мелатонина, одного из главных веществ, регулирующего нашу ритмику. Мелатонин определяет многое в нашей жизни — самочувствие, сон, выносливость. В течение дня его вырабатывается мало, а начиная с 11 вечера — много.

— **То есть он вырабатывается ночью?**

— Не просто ночью, а в темноте, когда мы спим. Поэтому, если человек работает ночью, у него включен свет, происходит сбой, десинхроноз, он нарушает работу биологических часов. Можно сказать, эти

часы ломаются. Ночной сон в темноте определяет качество здоровья, восприятие организмом различных заболеваний. Примерно к 70 годам вырабатываемое количество мелатонина становится в два раза меньше, чем нужно. Заметно снижается уровень продукции мелатонина. Вот почему пожилые люди так мало и плохо спят, а младенцы, наоборот, спят по 20 часов в сутки.

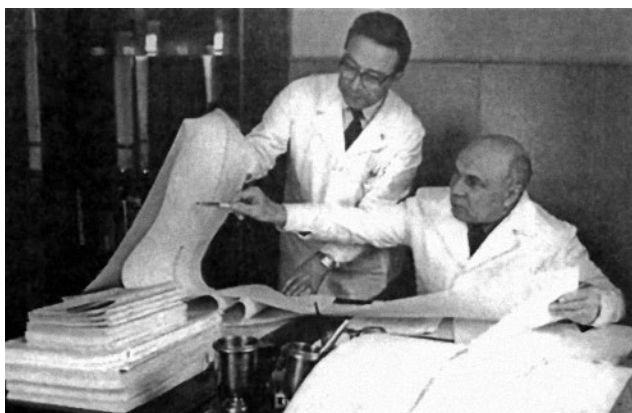
— **Правильно ли я понимаю, что мелатонин — это наш главный адаптирующий гормон?**

— Совершенно верно, это наш главный адаптоген. Если его недостаточно, страдает весь организм.

— **И что делать, если у человека вырабатывается недостаточно мелатонина?**

— Сейчас существует множество препаратов на основе мелатонина. Они свободно продаются в аптеках. Доза там небольшая, абсолютно безвредная. Принимать их надо на ночь, как раз около 11 часов. Это заметно повышает качество сна и, соответственно, влияет на наши самочувствие и работоспособность. Надо сказать, когда мы начали работать, этих препаратов вообще не было. Сейчас есть импортные и отечественные препараты. Они недороги, всем доступны. И сейчас наша большая мечта — внедрить мелатонин в клинику в массовом порядке. Наши эксперименты показали: если включать мелатонин в схему комплексного лечения при различных заболеваниях, это значительно повышает эффективность терапии. Повторюсь — это наш главный адаптоген. Мы начали добавлять в список лекарств, назначаемых при язвенной или гипертонической болезни, небольшую дозу мелатонина. Эффект был поразительный. Первый доклад по лечению язвенной болезни мелатонином мы сделали в 1997 г. в Париже на Первом съезде хронобиологов. Это произвело большое впечатление на всех присутствующих. К нам подходили, спрашивали, поздравляли. С тех пор этим заинтересовался весь мир. Только вот заинтересовать всех наших врачей и медицинских чиновников пока не удается... Но мы назначаем нашим пациентам мелатонин, и своим ученикам я об этом рассказываю. Никаких противопоказаний нет, а показания практически все.

— **У меня есть такой препарат на основе мелатонина. Я всегда беру его в командировки, во время которых меняются часовые пояса. Там на упаковке даже изображен летящий самолет.**



Академики С.И. Рапопорт и Ф.И. Комаров



Академик Ф.И. Комаров
с дочерью Натальей
Федоровной

— Совершенно верно. Для людей, которые часто отправляются в командировки, такие препараты незаменимы. Меняется суточный ритм, он вступает в противофазу, и надо восстановить суточную продукцию мелатонина, так называемую циркадианную ритмику. Люди, которые принимают такие меры, лучше себя чувствуют, у них выше выносливость. Мы проводили соответствующие исследования, и выяснилось: если человек перелетает из нашей страны в Соединенные Штаты, ему нужно около месяца, чтобы прийти в норму. А если использовать мелатонин, для адаптации достаточно двух-трех дней.

— Семен Исаакович, я вижу, что в вашей новой книге «Хронобиология и хрономедицина» есть целый большой раздел «Биоритмы и космос». Какая связь?

— Самая тесная. Как мы знаем, существуют магнитные бури, которые влияют на наши здоровье и самочувствие. Оказывается, есть экзогенные ритмы, которые меняют продукцию мелатонина и всю ритмику организма человека в зависимости от этих факторов. Мы проанализировали работу скорой помощи Москвы с точки зрения того, что происходит с Солнцем. Оказалось, в неспокойное время инфарктов миокарда на 10–15% больше, чем обычно. А когда мы начали применять мелатонин, количество таких случаев значительно уменьшилось. Убедительно?

Сейчас идет речь о том, что люди хотят создавать поселения на Луне. Потом собираются колонизировать Марс. Так вот, если это когда-нибудь произойдет, биоритмику это сломает во всех отношениях. Это вам не полет в США или во Владивосток. Суточный ритм там будет совершенно другой. Если использовать хрономедицину, мы сделаем полет

значительно легче. Человек, собирающийся покорять космос, должен быть адаптивен к тем изменениям, которые обязательно будут с ним происходить, когда он покинет родную планету.

— Семен Исаакович, в позапрошлом году Нобелевскую премию по биологии и медицине получили зарубежные ученые за исследование биологических часов. А ведь вы этим занимаетесь уже много лет. Не обидно?

— Ну что вы! Наоборот, я очень рад, что наши зарубежные коллеги смогли показать всему миру важность этих работ. Тем более что они вышли на принципиально новый уровень — генетический. Мы этим не занимались. Хотя около десяти лет назад я хотел создать такую лабораторию в МГУ, подключить генетиков. Не вышло. Но я очень горд, что Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова стал действительно первым, где работа в этом направлении ведется уже многие годы. И ведется успешно. Спасибо нашему ректору — академику П.В. Глыбочко.

— Какими вам видятся перспективы развития хрономедицины в нашей стране?

— Думаю, перспективы неплохие. Не так давно прошел III Всероссийский съезд по хронобиологии и хрономедицине, собралось много специалистов, прозвучало множество интересных докладов. Это означает, что многие понимают, насколько важно развивать это направление. А я всегда считал и считаю, что это одно из важнейших и перспективных направлений в медицине, которое без больших затрат и сложных исследований может сделать нас всех здоровее и счастливее. ■

Беседовала Наталья Лескова

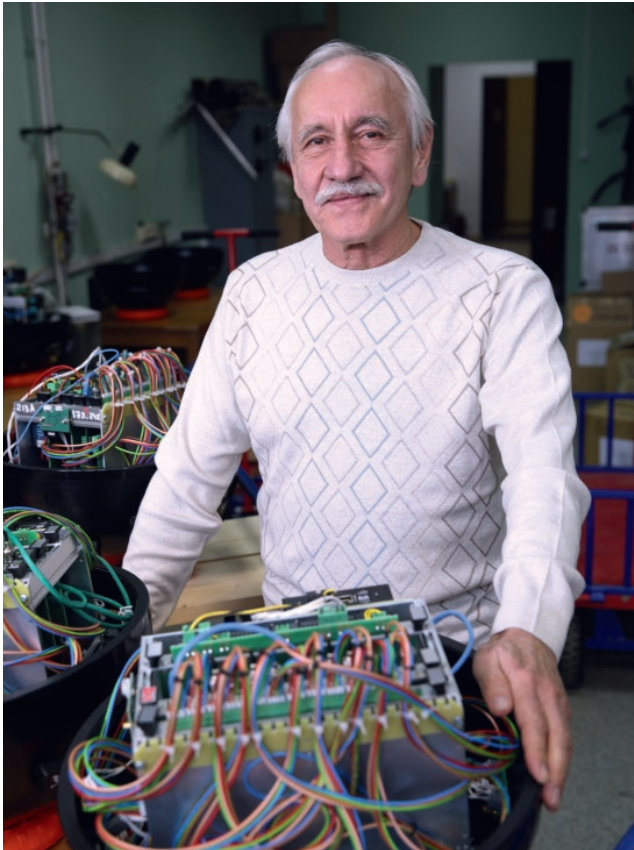
ЦЕНТРИННЫЕ ОЧКИ ДЛЯ КОСМОСА





Слева:
установка гирлянды
оптических модулей.
Вверху:
фотография лагеря
с высоты птичьего полета.

В эти дни на Байкале происходит историческое событие — запускается крупнейший подводный эксперимент по исследованию нейтрино, который специалисты называют окном в космос. О том, чем уникален этот эксперимент и каких от него стоит ожидать сюрпризов, — наш разговор с **Жаном Магисовичем Джилкибаевым**, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории нейтринной астрофизики высоких энергий Института ядерных исследований РАН.



Доктор физико-математических наук Ж.М. Джилкибаев

— **Жан Магисович, как я понимаю, вы всю свою научную жизнь работаете в этой лаборатории?**

— Да, практически сразу после института я пришел сюда стажером, потом стал аспирантом. Всю жизнь работаю в этом институте, а в байкальском эксперименте с 1981 г., то есть почти 40 лет.

Наш Институт ядерных исследований, что понятно уже по названию, изучает проблемы ядерной физики, элементарных частиц, есть также подразделения, которые занимаются астрофизикой, связанной с изучением нейтрино. Наша лаборатория нейтринной астрофизики высоких энергий как раз специализируется на такой работе. Нейтрино — это элементарная частица, которая слабо взаимодействует с веществом, но активно образуется в ядерных процессах и благодаря своим характеристикам позволяет исследовать космос.

— **Почему именно нейтрино так удобно для исследования космоса?**

— Дело в том, что нейтрино рождается во всех высокоэнергичных процессах: это взрывы сверхновых, слияние нейтронных звезд и черных дыр, процессы в активных ядрах галактик. Но самое удивительное, что, рождаясь, оно практически не взаимодействует, а сразу улетает в пространство и летит, не отклоняясь и не поглощаясь, и таким образом приносит нам информацию о тех

процессах, которые происходят в разных объектах во Вселенной. Никакая другая частица не обладает такими характеристиками. Но есть и трудности: нейтрино очень сложно зарегистрировать, нужна большая масса вещества, большая мишень, чтобы нейтрино вступило во взаимодействие и по его результату можно было бы судить о том, какие характеристики оно имело — энергию, направление и т.д.

— **Сегодня такие мишени научились создавать?**

— Еще в 60-х гг. прошлого века советским физиком академиком М.А. Марковым был предложен метод регистрации нейтрино в больших водных объемах, в озерах или в океане. Чем это хорошо? Водный объем в естественной среде практически безграничен: не нужно строить шахты, производить выработки, как это делается сегодня в подземных экспериментах. Марков предложил регистрировать черенковское излучение мюонов, которые образуются в результате взаимодействия нейтрино. Этот изящный метод стал развиваться. Первый международный проект, который был предложен, — *DUMAND (Deep Underwater Muon And Neutrino Detector)* в Соединенных Штатах. Это была довольно широкая коллаборация, в которой участвовали в том числе физики из Советского Союза. Он предполагал строительство установки объемом порядка кубического километра около Гавайских островов, в океане. Кубический километр воды — это как раз та масса мишени, которая достаточно для регистрации нейтрино.

— **Насколько я знаю, ваш байкальский эксперимент тоже был в числе первых?**

— Наш байкальский эксперимент был предложен позже. Сначала мы успешно участвовали в эксперименте *DUMAND*, но когда произошли известные события в Афганистане, правительство США сказало своим физикам буквально следующее: «Мы, конечно, не вмешиваемся в ваши дела, вы свободные люди, но вы должны понимать, что если русские будут участвовать в эксперименте, то вы финансирования не получите». И наше участие пришлось свернуть.

— **Вмешалась политика...**

— Да, именно так. И тогда другой наш выдающийся физик, академик А.Е. Чудаков, предложил использовать Байкал как полигон для пилотного эксперимента.

— **Почему именно Байкал?**

— По ряду причин. Во-первых, это самый большой водоем пресной, прозрачной воды. Прозрачность Байкала уникальна для озер. Во-вторых, это самое глубокое озеро в мире. И еще одно свойство Байкала, которое очень помогает в такого рода экспериментах, — там имеется лед. С ледовой платформы можно легко монтировать всю установку, причем делать все соединения насухо, не под водой, в глубине, а на поверхности льда, потом

опускать установку под воду на нужную глубину. Это дешево и надежно. Этот метод мы реализовали на Байкале. В 1981 г. начались эксперименты, тогда же была образована лаборатория нейтринной астрофизики высоких энергий, ее возглавил член-корреспондент РАН Г.В. Домогацкий, который трудится на этом посту по сей день.

Начались исследования Байкала. Первые десять лет мы хотели понять и изучить, что же собой представляет Байкал, можно ли здесь реализовать эксперимент. Оказалось, можно. В 1993 г. мы начали монтировать первую установку для первого в мире глубоководного эксперимента. Установка называлась НТ-200, то есть нейтринный телескоп, содержащий примерно 200 оптических модулей. Телескоп этот мы строили в тяжелые для нашей страны годы — с 1993 по 1998 г. Мы успели подготовить оптический модуль и всю необходимую аппаратуру и в 1998 г. запустили в эксплуатацию первый в мире нейтринный телескоп.

— Получается, в прошлом году вы отметили 20-летний юбилей с начала его работы?

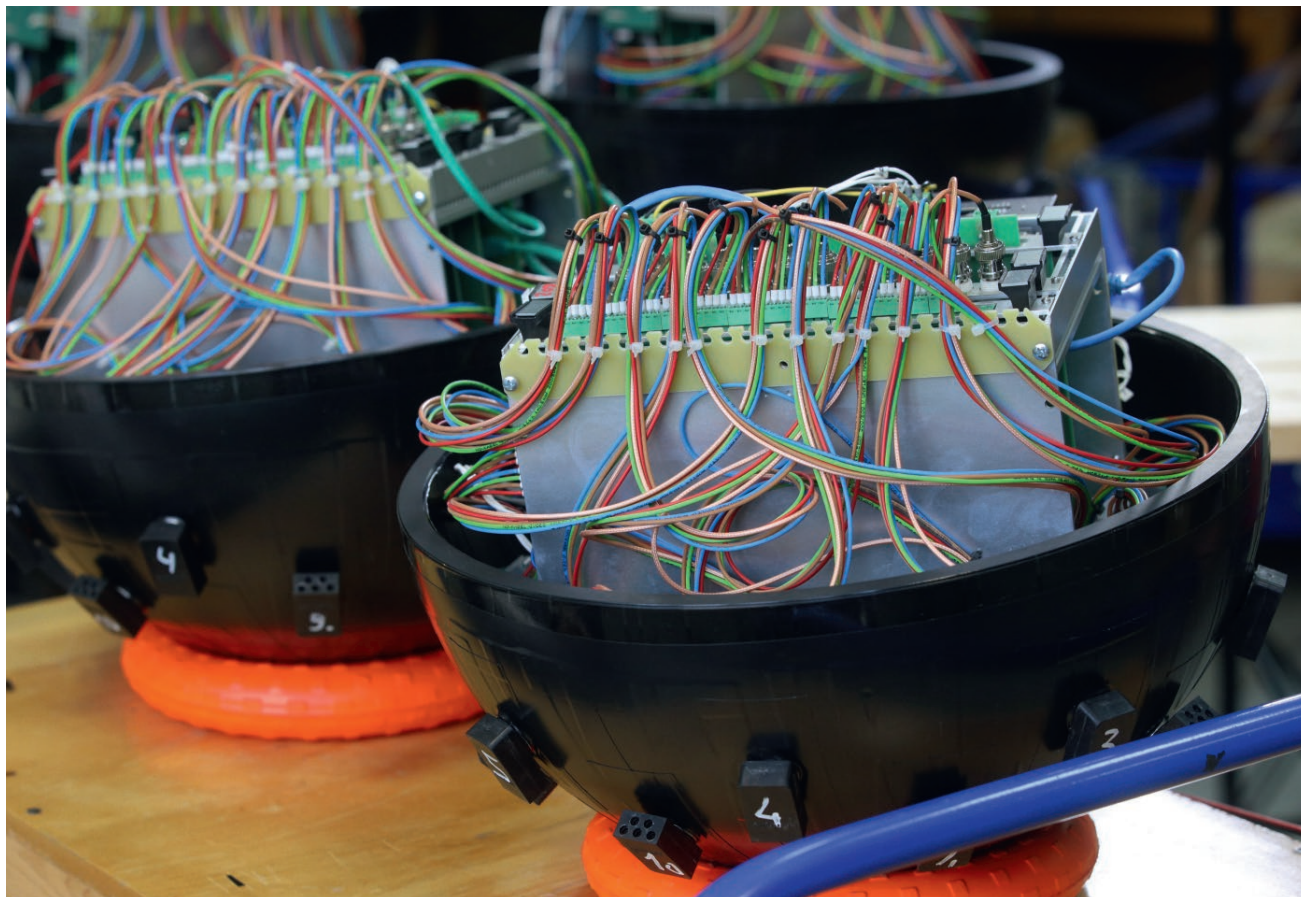
— Да, но это был первый шаг, позволивший нам проверить все методы, которые мы использовали, оценить фоновые условия, разработать способы отбора событий. Однако установка оказалась

маленькой. Она имела размер значительно меньше кубического километра, необходимого для регистрации нейтрино астрофизической природы. Поэтому следующий шаг — создание километрового детектора на Байкале. К 2011 г. мы разработали проект и приступили к созданию этой установки совместно с учеными из Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Сейчас мы находимся на стадии создания детектора и уже к 2021 г. должны построить установку, которая будет регистрировать астрофизические нейтрино — то, что представляет для нас наибольший интерес.

— Все это дает только фундаментальные знания или имеет практический выход?

— Сейчас говорить о практическом выходе трудно, однако уже на этом этапе можно вести такие важные практические исследования, как, например, сканирование Земли. Это дает возможность определять ее состав, видеть полезные ископаемые, отслеживать экологическую обстановку. Такая сеть нейтринных детекторов может иметь важное прикладное значение.

— Мы находимся, как я понимаю, в производственном цеху, где создаются важные части этой установки. А что это за «головы», набитые электронными «мозгами», находятся рядом с вами?



Глубоководные модули управления работой телескопа



Вид ледового лагеря во время зимней экспедиции ИЯИ РАН на озеро Байкал

— Нужно пояснить, как устроен нейтринный телескоп и чем он отличается от оптического. Нейтринный телескоп — это набор приборов, которые регистрируют свет. И по этому свету, который регистрируется под водой, мы определяем, откуда пришла частица, ее энергию и прочие характеристики. Основной ключевой элемент — большой фотоэлектронный умножитель, информация с которого должна идти дальше, где-то аккумулироваться, оцифровываться и передаваться на берег. И вот в этих шарах, которые вы сравнили с головами, как раз находится электронное оборудование, собирающее данные с каждого фотоумножителя и определяющее форму сигнала, чтобы потом его оцифровать и передать на берег по подводному кабелю. Так что ваше сравнение с электронным мозгом вполне обоснованно.

— Такие шары под водой, видимо, закрыты?

— Конечно, они будут герметично закрыты, мало того — из них откачивается воздух, чтобы они плотно прижимались друг к другу. А здесь находятся выходы, куда подсоединяются кабели оптических модулей. Это базовый элемент во всей этой установке, и весь эксперимент зависит от того, как работают эти приборы. Здесь же у нас находится опытный стенд, на котором мы проводим долговременное тестирование установки. Наша установка состоит из нескольких подустановок — независимых детекторов меньшего объема. У телескопа будет 12 таких детекторов. В настоящее время на Байкале функционируют три детектора, и каждый последующий год мы планируем делать еще по два. На этом стенде происходит тестирование всей этой сложной электроники на надежность, и если что-то не работает, заменяется. Сейчас тестирование закончено, мы начали паковать электронику для отправки на Байкал.

— Я вижу, у вас уже стоят наготове металлические емкости. Сидите на чемоданах?

— Да, у нас уже практически все готово, мы немного спешим, потому что Байкал замерз, а это значит — шлагбаум поднялся, мы можем выезжать.

— Как вы будете их доставлять, самолетом?

— Автотранспортом. На берегу озера есть город Байкальск, и там у нас находится база, куда мы завозим все наше оборудование, а потом уже или по льду, или по железной дороге доставляем его в береговой центр и начинаем развертывание.

— На какую глубину вы будете все это опускать?

— Глубина Байкала в этом месте — 1366 м. Она формируется иловыми осадками, поэтому там очень ровное, практически плоское дно. Водолазы у нас опускаются только до 30 м, на первом шаге. Если что-то нужно отремонтировать, мы поднимаем установку. Водолаз заньривает, цепляет гирлянду, состоящую из таких «голов», потом мы ее при помощи лебедок поднимаем на поверхность, ремонтируем и снова монтируем. А чтобы на глубине установка не качалась, мы ставим специальные якоря.

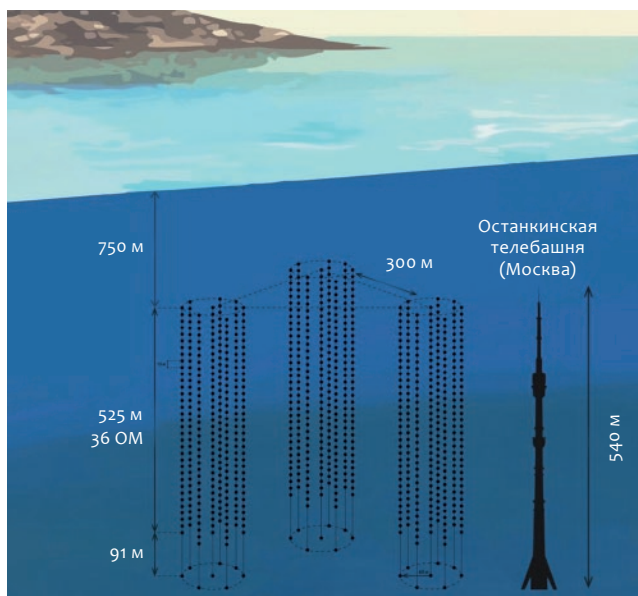
— Не обростает ли она микроорганизмами?

— Нет, вода в Байкале очень чистая. Кстати, это еще одна из наших важных прикладных задач — мониторинг экологического состояния Байкала, наблюдение за его подводными обитателями. По этой части мы активно сотрудничаем с биологами и экологами.

— На какие вопросы вы хотите получить ответ в первую очередь? Что вас больше всего интересует в этом эксперименте?



Монтаж гирлянды оптических модулей первого в мире глубоководного нейтринного телескопа NT-200 на Байкале



Конфигурация нейтринного телескопа Baikal-GVD в 2018 г. Нейтринный телескоп включает в себя три кластера, содержащих в общей сложности 864 фотодетекторов.

— Мы хотим выделить первое астрофизическое событие — найти в массиве всех этих данных событие, которое указывает на то, что это нейтрино пришло из космоса. Ведь известно, что у нас имеется фон и наша атмосфера тоже производит нейтрино благодаря тому, что космические лучи взаимодействуют с атмосферой. Такие нейтрино уже давно регистрируются, но нам важно научиться их дифференцировать. Увидеть настоящие космические события в нашем байкальском эксперименте — все равно что открыть окошко в космос.

— **Но ведь уже существует аналогичный вашему международный эксперимент IceCube на Южном полюсе.**

— Да, там оборудование вморожено в лед. Они, по существу, прошли тот же путь, что и мы, и хотя начинали позже нас на год или два, установку смогли поставить раньше. Запустили ее сразу после того, как прекратил работу эксперимент DUMAND, о котором я уже упоминал. Там возникли проблемы — затекало оборудование, кабели. И Конгресс США прекратил его финансирование, зато открыл финансирование эксперимента на Южном полюсе, и это оказалось весьма продуктивным, потому что лед очень прозрачный на глубине начиная с 1 тыс. м.

— **И там удалось зарегистрировать космические нейтрино?**

— Да, это произошло в 2013 г., когда у них объем в установке достиг кубического километра. Конечно, им сложнее проводить эксперимент, чем нам, поскольку вода и лед — это разные типы среды. Но каждый год они регистрируют по шесть-восемь нейтрино астрофизической природы. При этом

у них есть одна особенность: они не могут точно локализовать источник на небе, потому что во льду сильное рассеяние света.

— **А вы сможете?**

— А мы сможем. Мы будем знать с большой точностью, откуда пришла та или иная частица. Наши главные надежды связаны с тем, что наш эксперимент будет решать задачи нейтринной астрономии. Мы собираемся постепенно улучшать угловое разрешение и получать новые результаты. Знание, откуда пришло нейтрино, невероятно важно, оно дает нам новую информацию о природе разных объектов во Вселенной, которую нельзя получить другими способами. В настоящее время уже получены первые результаты исследований астрофизических объектов и протекающих в них процессов с помощью гравитационных антенн и детекторов электромагнитного излучения практически во всем диапазоне длин волн. Если исследования подобного рода будут дополнены регистрацией нейтрино, то будет реализован эффективный комплексный научный подход, мультимессенджер исследования, как сейчас модно говорить, что позволит существенно расширить горизонты наших знаний.

— **Если помните, главный герой фантастического романа Станислава Лема «Солярис» Крис Кельвин рассматривает в микроскоп кровь Хари, которая ему постоянно является, и выясняет, что она состоит из нейтрино. Насколько фантастична идея таких существ, «замешенных» на нейтрино?**

— Она грандиозно фантастична. Как я уже сказал, нейтрино практически не взаимодействуют с веществом, их нельзя удержать, поэтому они проходят весь космос, пронизывая, по существу, Вселенную и нас с вами. Вот мы сейчас сидим, а нейтрино бесконечно бегут сквозь нас, и мы этого никак не замечаем.

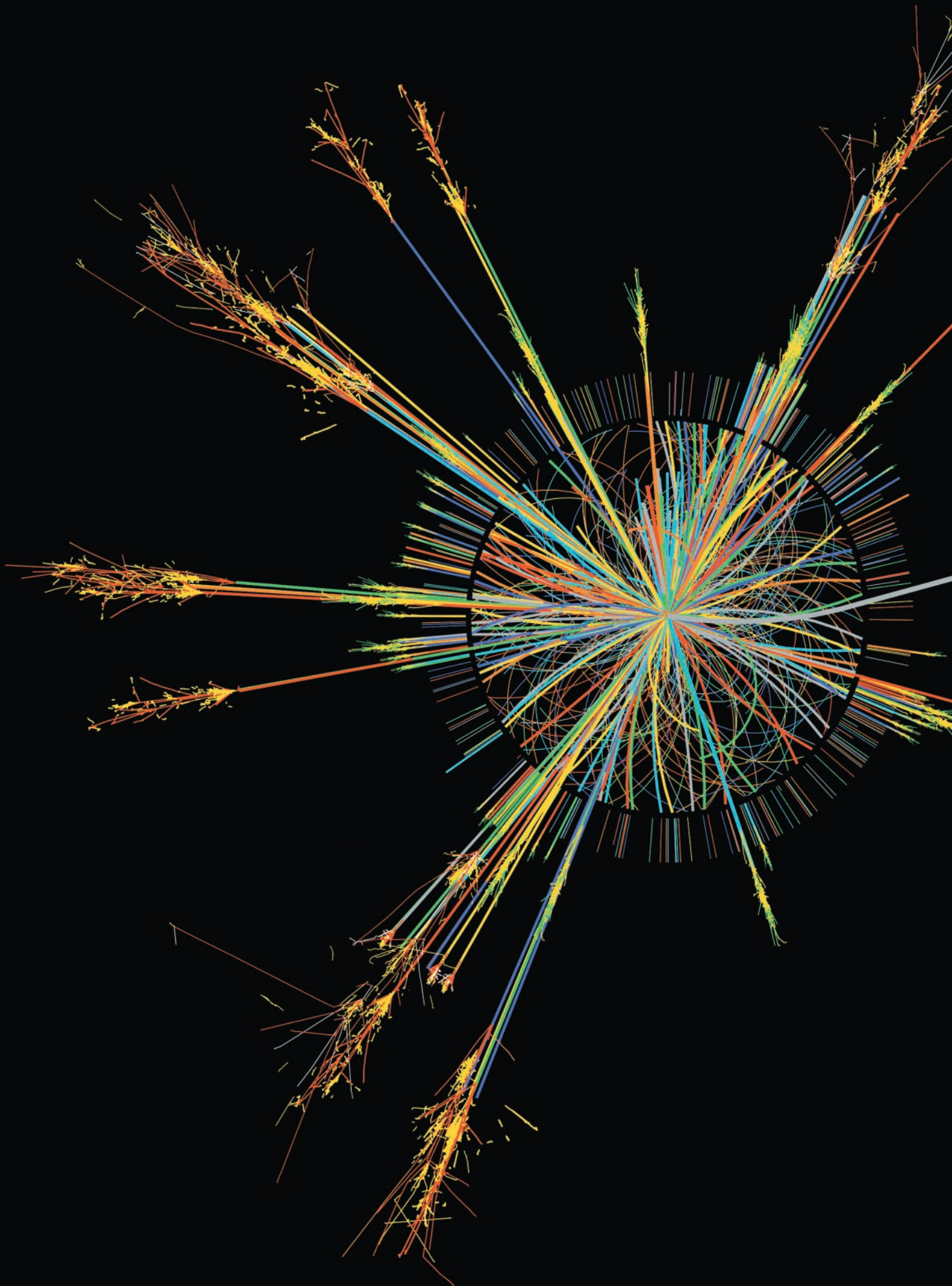
— **Будем надеяться, когда-нибудь мы узнаем что-то такое, что нас сильно удивит.**

— Да, мы на это надеемся, ведь это будет принципиально новый взгляд на космос, новое окно в астрофизический мир. Вот простой пример: если бы вы обладали нейтринным зрением, то видели бы Солнце круглые сутки, потому что Земля прозрачна. При этом мы бы не видели друг друга, и это очень плохо, потому что мы не нашли бы своих любимых, мы бы погибли. Но, с другой стороны, мир бы приобрел совсем другие очертания, изменился бы до неузнаваемости.

— **Может быть, когда-нибудь удастся создать нейтринные очки?**

— В принципе, наш байкальский телескоп — это и есть такие огромные нейтринные очки, с помощью которых мы будем пронзать космос совершенно другим, новым взглядом. ■

Беседовала **Наталья Лескова**



МАТЕМАТИКА

КОД ЧАСТИЦЫ

Ученые разрабатывают математический аппарат, чтобы выявить новые частицы и явления на самом большом в мире ускорителе элементарных частиц

Мэттью фон Хиппель

Большой адронный коллайдер (БАК) — самая большая машина из когда-либо созданных человеком. Объединив ресурсы более чем 100 стран, он разгоняет протоны до скорости всего на миллионную долю процента меньше скорости света. Когда протоны сталкиваются, они разваливаются на составляющие их компоненты (кварки и глюоны — частицы, которые «склеивают» кварки в единое целое) и образуют частицы, которых там раньше не было. Именно так в 2012 г. на Большом адронном коллайдере впервые был зарегистрирован бозон Хиггса, последняя недостающая частица, предсказанная Стандартной моделью физики элементарных частиц. Сейчас физики надеются, что БАК обнаружит нечто по-настоящему новое — частицы, которых нет в их нынешней теории, могущие, например, объяснить загадку темной материи или дать ответы на другие вопросы. Ради такого открытия ученые должны тщательно изучить 30 петабайт данных, которые ускоритель выдает в год, чтобы выявить мельчайшие расхождения с результатами, рассчитанными с помощью Стандартной модели. Конечно, все эти усилия окажутся бесполезными, если мы не знаем, что предсказывает Стандартная модель.

ОБ АВТОРЕ

Мэттью фон Хиппель (Matthew von Hippel) — постдок в Международной академии им. Нильса Бора в Копенгагене. Увлёкся амплитудами рассеяния с тех пор, как, будучи студентом-старшекурсником, в поисках задания на лето случайно забрел в кабинет своего научного руководителя. Он также занимается популяризацией науки с тех пор, как вступил в дискуссию с научным редактором журнала *Ars Technica* по вопросу определения термина «теория». Его блог можно найти по адресу: <https://4gravitons.wordpress.com>



Вопросы, которые мы хотим задать БАК, формулируются в виде вероятностей. Какова вероятность того, что два протона отразятся друг от друга? Как часто будет образовываться бозон Хиггса? Ученые рассчитывают эти вероятности с помощью «амплитуд рассеяния», формул, которые говорят нам, какова вероятность того, что частицы «рассеются» (то есть отлетят) друг от друга определенным образом.

Я вхожу в группу физиков и математиков, которые работают над тем, чтобы ускорить эти вычисления и найти более хитрые трюки, чем старые трудоемкие методы, оставленные нам в наследство нашими предшественниками в науке. Мы называем себя амплитудологами.

Амплитудологи прослеживают истоки нашей области до работ двух физиков, Стивена Парке (Stephen Parke) и Томаша Тейлора (Tomasz Taylor). В 1986 г. они вывели простую формулу, которая описывает столкновения любого числа глюонов, упрощающую то, что обычно занимало страницы тщательных вычислений для каждого конкретного случая. Эта область исследований практически умерла в 1990-х — начале 2000 гг., когда большое количество новых методов открыло надежду на упрощение широкого круга вычислений в физике элементарных частиц. В настоящее время амплитудология находится в самом расцвете: в конференции «Амплитуды-2018» приняли участие 160 человек, а за неделю до этого 100 человек посетили летнюю школу, цель которой — обучить молодых ученых хитростям в нашей области. К тому же мы привлекли общественное внимание: амплитудолог физиков Нимы Аркани-Хамеда (Nima Arkani-Hamed) и Ярослава Трнки (Jaroslav Trnka) (способ

описывать определенные амплитуды на языке геометрии) стал темой новостей в 2013 г., а культовый персонаж телевизионного сериала «Теория Большого взрыва» Шелдон Купер проявляет интерес к амплитудологии.

За последнее время мы совершили большой шаг вперед, продвинувшись от уже разработанных нами основных инструментов к более сложным методикам. Мы вторгаемся в царство вычислений достаточно точных для того, чтобы соответствовать растущей точности БАК. С помощью этих новых инструментов мы готовы выявить даже крошечные различия между предсказаниями Стандартной модели и тем, что происходит в реальности внутри Большого адронного коллайдера, — что, возможно, позволит нам обнаружить неоткрытые частицы, о которых мечтают физики.

Петли и линии

Чтобы организовать вычисления, ученые уже давно используют рисунки, называемые диаграммами Фейнмана. Придуманная физиком Ричардом Фейнманом в 1948 г., эти фигуры изображают пути, по которым движутся частицы. Допустим, мы хотим узнать вероятность того, что два глюона сольются вместе и образуют бозон Хиггса. Мы начинаем, рисуя линии, представляющие частицы, о которых мы знаем: два входящих глюона и один выходящий бозон Хиггса. Затем нам следует соединить эти линии, начертив линии новых частиц в середине диаграммы согласно законам Стандартной модели. Эти дополнительные частицы могут быть «виртуальными», то есть они не в точности такие же частицы, как глюоны и бозон Хиггса на нашей диаграмме. На самом деле это условные

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Чтобы заниматься поиском новых явлений на Большом адронном коллайдере, физики должны иметь возможность точно рассчитать вероятности различных столкновений частиц и реакций.
- Ученые в области, получившей название «амплитудология», разрабатывают передовые математические методы, чтобы справиться с этими трудоемкими вычислениями. В частности, они строят «алфавит» из логарифмов, которые могут комбинировать различным образом, чтобы завершить невозможные ранее вычисления.
- Последние достижения в создании такого алфавита, вероятно, позволят достичь точности расчетов, необходимой физикам, чтобы обнаружить невиданные ранее частицы, которые открывают дверь в новые глубины физики.

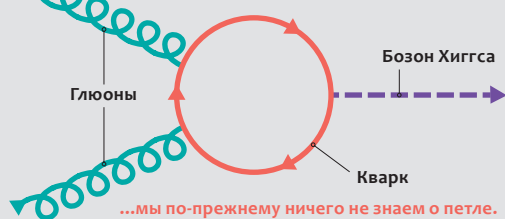
обозначения — способ проследить, как различные квантовые поля могут взаимодействовать друг с другом.

Диаграммы Фейнмана — не просто красивые рисунки, это инструкции, объясняющие, как использовать информацию о частицах, которые мы нарисовали, чтобы вычислить вероятность. Если мы знаем скорость и энергию глюонов и бозона Хиггса на нашей диаграмме, то можем попытаться выяснить свойства промежуточных виртуальных частиц. Хотя в некоторых случаях определенного ответа не существует. Проведите пальцем вдоль пути частицы — и, возможно, вы обнаружите замкнутую петлю: путь, который заканчивается там, откуда вы начали. Путешествие частицы в петле, подобной этой, — это не «вход» и не «выход»: ее свойства никогда не измеряются. Мы не знаем, как быстро она летит или какая у нее энергия. Хотя это и противоречит интуитивному представлению, это — следствие фундаментального принципа неопределенности квантовой механики, который не дает нам возможности одновременно измерить две характеристики частицы, например скорость и местоположение. Квантовая механика объясняет, как обращаться с этой неопределенностью: мы должны добавить все возможности, суммируя вероятности для любой скорости и энергии, которые могут иметь виртуальные частицы, с помощью метода интегрирования, который вы, можете быть, вспомните из старших классов школы.

Диаграмма Фейнмана: на входе два глюона, на выходе бозон Хиггса

Даже если мы знаем, какие энергии имеют глюоны...

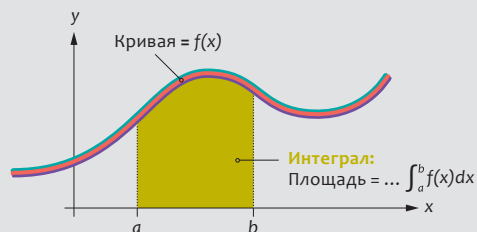
...и с какой скоростью вылетает бозон Хиггса...



...мы по-прежнему ничего не знаем о петле.
Мы должны суммировать все возможные варианты при помощи интеграла.

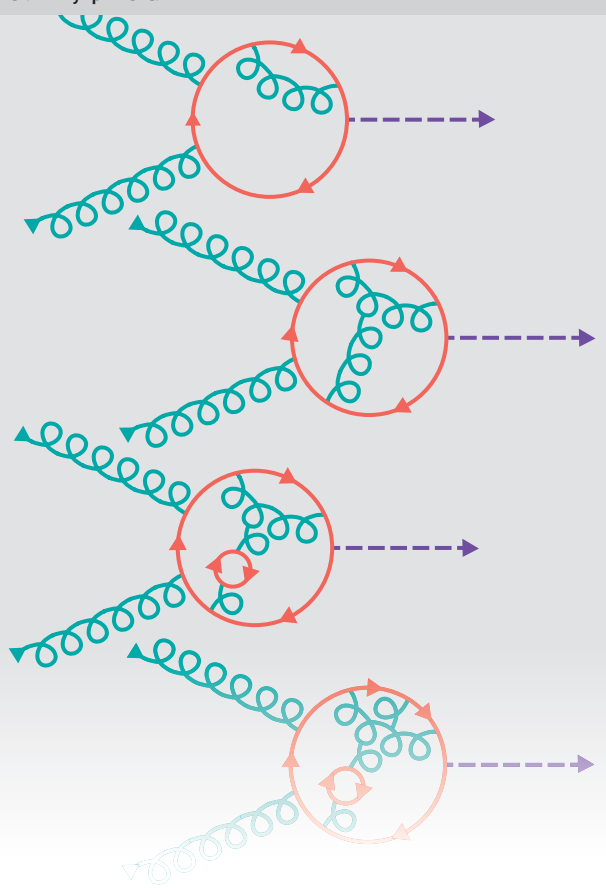
Интеграл: площадь под кривой функции

Интеграл вычисляет площадь под кривой



В принципе, чтобы вычислить амплитуду рассеяния, мы должны нарисовать каждую из диаграмм, которая могла бы связывать наши частицы, все возможные пути, по которым исходные частицы могли бы превратиться в конечные продукты (в данном случае — пару глюонов и бозон Хиггса). Это огромное количество диаграмм, фактически бесконечное их число: мы могли бы рисовать петли внутри петель сколько нашей душе угодно, что потребовало бы каждый раз вычислять все более и более сложные интегралы.

Петли внутри петель

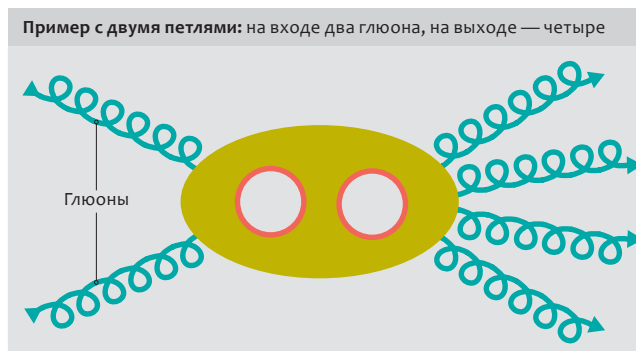


К счастью, нас спасает маленькая величина большинства квантовых сил. Когда группа линий диаграммы соединяется в одну точку, это описывает «взаимодействие» между различными типами частиц. Каждый раз, когда это происходит, мы должны умножить [вероятность] на константу, связанную с величиной силы, заставляющей частицы взаимодействовать. Если мы хотим начертить диаграмму с большим числом петель, мы должны соединить больше линий и умножить на большее количество этих констант. Для электричества и магнетизма соответствующие константы малы: для каждой петли, которую вы добавляете, вы делите [вероятность] примерно на 137. Это означает, что диаграммы со все

большим числом петель вносят все меньший и меньший вклад в ваш окончательный результат, и в конечном итоге этот вклад становится настолько слабым, что эксперименты не в состоянии его обнаружить. Самые тонкие эксперименты с электричеством и магнетизмом имеют поразительную точность в десять десятичных знаков — точность измерений, одну из самых высоких в науке вообще. Чтобы забраться так далеко, необходимы «все-го лишь» четыре петли, четыре множителя $1/137$, прежде чем число, которое вы хотите вычислить, станет слишком маленьким, чтобы его можно было измерить. Во многих случаях эти числа действительно вычислялись и все десять десятичных знаков совпадали со значениями, полученными экспериментально.

Сила сильного ядерного взаимодействия — зверь пострашнее. Это сила, которая склеивает вместе протоны и нейтроны, а также и кварки внутри них. Она немного сильнее, чем электричество и магнетизм: для вычислений на Большом адронном коллайдере каждая петля означает деление не на 137, а на десять. Чтобы получить точность в десять знаков, нужно начертить десять петель.

Эксперименты на БАК не столь точны, как эксперименты с электричеством и магнетизмом. На данный момент измерения этой машины только начали соответствовать вычислениям с двумя петлями. Тем не менее эти результаты уже достаточно трудоемки. Например, вычисления с двумя петлями, выполненные в 2010 г. физиками Витторио Дель Дукой (Vittorio Del Duca), Клодом Дюром (Claude Duhr) и Владимиром Смирновым (*ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ. — Примеч. пер.*), чтобы рассчитать вероятность того, что при столкновении двух глюонов образуются четыре. Они провели расчеты, используя упрощенную теорию с некоторыми специальными ухищрениями, и конечная формула едва уложилась в 17 страниц сложных интегралов. Такая длина не стала большой неожиданностью: все знали, что вычисления с двумя петлями трудоемки.



Но уже через несколько месяцев ситуация изменилась, когда другой группе удалось получить такой же результат в две строчки. Эта группа

состояла из трех физиков — Маркуса Спрадлина (Marcus Spradlin), Кристиана Вергу (Cristian Vergu) и Анастасии Волович — и математика Александра Гончарова (*Александр Гончаров и Анастасия Волович — выпускники мехмата МГУ 1982 и 1999 гг. соответственно. — Примеч. пер.*). Прием, который они использовали, оказался необычайно мощным и познакомил амплитудологов с областью математики, которую большинство из нас ранее не видели и которая продвинула мою карьеру к текущему положению дел.

Периоды и логарифмы

Покажите математику, такому как Гончаров, один из интегралов, который мы вывели из диаграмм Фейнмана, — и первое, что вы услышите, будет: «Так это же период».

Периоды — это особого рода числа. Вероятно, вы знакомы с натуральными (1, 2, 3, 4...) и рациональными числами (дробями). Квадратный корень из 2 — число не рациональное, вы не можете получить его делением двух натуральных чисел. Так какое же оно тогда? Оно алгебраическое: вы можете написать алгебраическое уравнение, скажем, $x^2 = 2$, решение которого — квадратный корень из 2. Периоды — это следующий шаг: хотя вы не всегда можете получить их из алгебраического выражения, вы всегда можете получить их из интеграла.

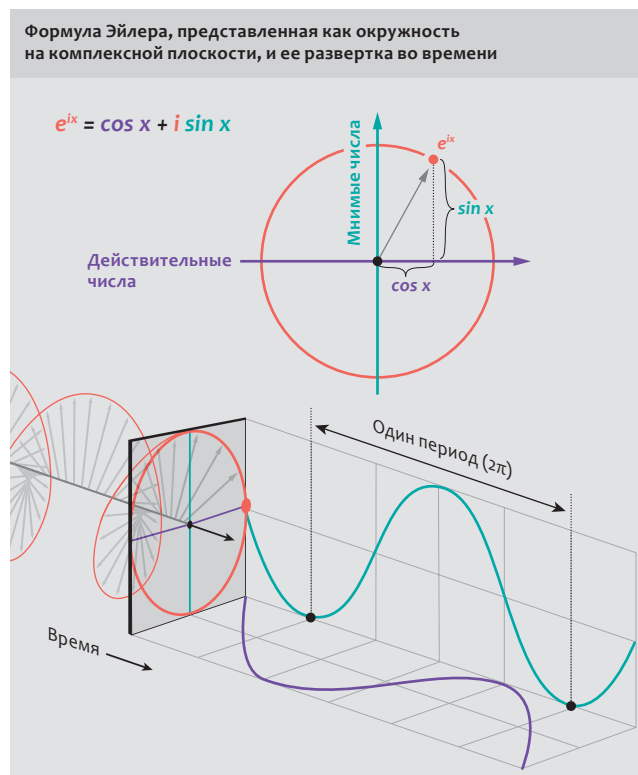
Почему они называются периодами? В простейшем случае это буквально и обозначает то, что они есть: расстояние между чем-нибудь повторяющимся. Вернемся назад, в старшие классы школы. Скорее всего, вы вспомните, как воевали с синусами и косинусами. Возможно, вы даже помните, что их можно объединить с помощью мнимых чисел (квадратных корней из отрицательных чисел — другими словами, с помощью чисел, которых в привычном смысле слова не существует), используя формулу Эйлера: $e^{ix} = \cos x + i \sin x$ (где e — константа, а i — квадратный корень из -1). У всех трех этих функций $\sin x$, $\cos x$ и e^{ix} период равен 2π : если вы дадите x пройти от 0 до 2π , функция повторится и вы снова получите те же самые значения.

Формула Эйлера

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

2π — период, поскольку это расстояние, на котором значения функции e^{ix} повторяются, но вы также можете рассматривать его как интеграл.

Начертите график функции e^{ix} на комплексной плоскости: мнимые числа вдоль одной оси, действительные — вдоль другой. Она представляет собой окружность. Если захотите измерить длину этой окружности, вы можете сделать это с помощью интеграла, прибавляя каждый раз небольшой сегмент при движении по кругу. Прodelав это, получите ровно 2π .



А что случится, если вы по кругу пройдете в некоторую точку z ? В этом случае вам следует решить уравнение $z = e^{ix}$. Возвращаясь снова в среднюю школу, вы, возможно, вспомните, что вам потребуется, чтобы решить это уравнение: натуральный логарифм, $\ln z$. Вероятно, логарифмы не похожи на «периоды» так, как 2π , но поскольку вы можете получить их из интегралов, математики также называют их периодами. Помимо 2π , логарифмы — самые простые периоды.

Конечно же, периоды, которые занимают математиков и физиков, могут быть намного сложнее, чем то, о чем рассказано выше. В середине 1990-х гг. физики начали классифицировать периоды в интегралах, которые рождаются из фейнмановских диаграмм, и с тех пор нашли ошеломляющее множество экзотических чисел. Однако примечательно, что картина, запомнившаяся со времен средней школы, остается полезной. Многие из этих экзотических чисел, если их рассматривать как периоды, можно разбить на логарифмы. Разберитесь в логарифмах, и вы сможете понять почти все остальное.

Это было секретом, которым Гончаров поделился со Спрадлином, Вергу и Волович. Он показал им, как взять 17-страничную кучу формул Дель Дуки, Дюра и Смирнова и укоротить до чего-то похожего на алфавит из логарифмов. Этот алфавит подчиняется собственным грамматическим правилам, основанным на соотношениях между логарифмами, и, используя эту грамматику, физики смогли переписать результат в виде всего нескольких специальных «букв», заставив многотрудные вычисления физики элементарных частиц выглядеть намного проще.

С помощью трюка Александра Гончарова сложная диаграмма Фейнмана представлена в виде интеграла...

... который затем разбивается на «буквы», ведущие себя как логарифмы.

A C B A D E ...

Грамматика для этих «букв» основана на соотношениях между логарифмами.

Натуральные логарифмы — $\ln(AB) = \ln A + \ln B$

Например, логарифм AB равен логарифму A плюс логарифм B

C F AB E D = C F A E D + C F B E D

И логарифм C в степени n равен n умножить на логарифм C

$\ln C^n = n \ln C$

Мы можем применить те же самые правила, чтобы манипулировать нашим алфавитом для вычисления диаграмм Фейнмана.

D A C B A = n \times D A C B A

Вспомним, что физики рассчитывают амплитуды рассеяния, используя диаграммы Фейнмана, для чего требуется вычислять интегралы. Эти интегралы — всегда периоды, временами сложные, но мы часто можем разбить эти сложные периоды на более простые (логарифмы), используя прием, предложенный Александром Гончаровым, который стал запалом для моей области изучения амплитуд рассеяния. Мы можем упорядочить многие из используемых нами интегралов в алфавитную последовательность букв, которые ведут себя как логарифмы. И те же самые правила, которые применимы к логарифмам, такие как основные законы вроде $\ln xy = \ln x + \ln y$ и $\ln x^n = n \ln x$, работают в применении к этому алфавиту.

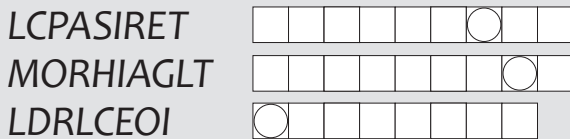
Головоломка со словами

Алфавитный трюк Александра Гончарова не оказался бы столь впечатляющим, если бы он только сэкономил место в журнале. Теперь, когда мы выучили новый алфавит, мы можем проделывать новые вычисления — такие, которые другими способами выполнить невозможно. По существу, зная алфавит, давайте отложим в сторону диаграммы Фейнмана и просто угадаем ответ.

А теперь рассмотрим неизменный атрибут последних страниц газет — головоломки со словами. В головоломке указано, какие буквы вам потребуются и какой длины должно быть слово.

Если вы ленивы, то могли бы заставить компьютер записать все эти буквы в любом возможном порядке, а затем просмотрели бы весь список и в конце концов отыскали бы слово, которое имеет смысл, и получили решение головоломки.

Головоломка со словами: найдите буквы в кружочках



Однако список возможных вариантов может оказаться достаточно длинным. К счастью, в физике мы начинаем с подсказок. Мы начинаем с алфавита логарифмов, которые описывают свойства, которые наши частицы могут иметь, такие как энергия и скорость. Затем мы начинаем выписывать слова с помощью этого алфавита, представляя интегралы, которые могли бы показать нам окончательный ответ. Определенные слова не имеют физического смысла: они описывают частицы, которые фактически не существуют, или диаграммы, которые невозможно начертить. Другие нужны, чтобы объяснить то, что мы уже знаем: что происходит, когда частица слишком быстро замедляется или ускоряется. В конце концов, мы можем сократить число слов, например, с нескольких миллионов до тысяч, затем до нескольких десятков и, наконец, до одного уникального ответа. Начав с простой догадки, мы пришли к единственному возможному слову, которое имеет смысл в качестве нашей амплитуды рассеяния.

В 2011 г. Ланс Диксон (Lance J. Dixon), Джеймс Драммонд (James M. Drummond) и Йоханнес Хенн (Johannes Henn) использовали этот метод, чтобы найти правильное «слово» для вычислений с тремя петлями. Я присоединился к этой группе в 2013 г., когда улизнул из аспирантуры на Лонг-Айленде, чтобы провести зимний семестр, работая с Диксоном в Национальной ускорительной лаборатории Стэнфордского университета (SLAC). Вместе с тогда еще студентом-выпускником Джеффри Пеннинтоном

(Jeffrey Pennington) мы получили результат в форме, позволявшей сравнить его со старыми вычислениями с двумя петлями Дель Дуки, Дюра и Смирнова. Теперь вместо 17 страниц мы вывели формулу, которая помещалась на 800 страницах, причем она была получена без вычерчивания диаграмм Фейнмана.

С тех пор мы продвинулись к еще большему количеству петель, и число участников нашей группы выросло — к нам присоединились Дюр, Эндрю Маклеод (Andrew McLeod), Симон Карон-Хуот (Simon Caron-Huot), Георгиос Папафанасиу (Georgios Papathanasiou) и Фалько Дулат (Falko Dulat). Мы работаем с семью петлями, и я не знаю, сколько страниц займет запись новых формул. Трюка Гончарова недостаточно, чтобы упростить результат, когда вычисления настолько сложны. Сейчас мы рады просто тому, что это сделало вычисления возможными! А пока мы сохранили наши ре-

Возможно, требуется найти всего одно недостающее звено в наших данных, чтобы разгадать загадки физики элементарных частиц, кажущиеся неразрешимыми

зультаты в виде настолько тяжелых компьютерных файлов, что вы могли бы подумать, будто это видеофайлы, а не текстовые документы.

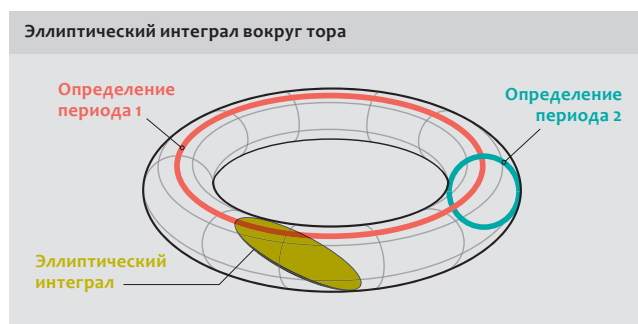
Эллиптическая граница

Вспомните, что чем больше петель вы включаете в расчеты амплитуды рассеяния, тем точнее будет предсказание. Семь петель дали бы более точный результат, чем две (или около того) петли, — точность, которую могут дать измерения на Большом адронном коллайдере, — и точнее, чем современные расчеты с четырьмя петлями в квантовой электродинамике. И все же я сейчас сказал «дали бы», потому что есть одна загвоздка: наши вычисления с семью петлями используют «игрушечную модель» — более простую теорию взаимодействия частиц, чем любая, описывающая реальный мир. Модификация наших вычислений таким образом, чтобы они описывали реальность, будет трудной задачей, и перед нами стоит множество сложных проблем. Например, нам надо будет вникнуть в нечто, называемое эллиптическими интегралами.

Упрощенная модель, которой мы пользуемся, ведет себя очень хорошо. Одна из ее привлекательных особенностей состоит в том, что для вычислений, которые мы используем, метод Гончарова

работает всегда: всегда можно разбить интеграл на алфавит логарифмов, на интегралы вдоль окружностей. В реальном мире этот пример упирается в проблемы с двумя петлями: два интеграла могут переплестись так, что их нельзя разделить.

Представьте два переплетенных кольца, которые нельзя разъединить. Если вы перемещаете одно кольцо вокруг другого, его поверхность описывает фигуру в виде пончика или тора. У тора есть два «периода», два различных способа провести вокруг него замкнутую линию, соответствующую двум различным кольцам. Проведите интегрирование вокруг самого круга — и получите логарифм. Попробуйте нарисовать кольцо вокруг тора — и у вас не всегда получится окружность: вместо этого вы получите эллипс. Такие интегралы вокруг тора мы называем эллиптическими интегралами (интегралами вдоль эллиптической кривой).



Понимание эллиптических кривых приводит к некоторым хорошо известным сложным математическим задачам. Некоторые из них настолько трудны, что организации вроде Агентства национальной безопасности используют их, чтобы зашифровать секретную информацию, исходя из предположения, что никто не может решить их достаточно быстро для того, чтобы взломать код. Задачи, которыми мы интересуемся, не настолько неразрешимы, но они, тем не менее, тоже сложны. При этом с увеличением точности измерений на Большом адронном коллайдере эллиптические интегралы становятся все более и более необходимыми, подстегивая группы во всем мире к освоению новой математики. Ускоритель был остановлен в конце 2018 г. для модернизации, но у ученых по-прежнему горы данных, которые необходимо просмотреть. Ускоритель снова заработает в 2021 г. и будет производить в десять раз больше столкновений, чем ранее.

Временами от скорости, с которой развивается эта область исследований, у меня захватывает дух. Прошлой зимой с группой сотрудников — Маклеодом, Спрадлином, Жакобом Буржели (Jacob Bourjaily) и Маттиасом Вильгельмом (Matthias Wilhelm) — я окопался в Принстонском университете. За две недели мы продвинулись от схемы в общих чертах к полноценной статье, вычисляя

амплитуды рассеяния с использованием эллиптических интегралов. Я никогда так быстро не писал статьи, и в течение всего времени мы опасались, что проиграем в гонке, что другая группа сделает вычисления раньше нас.

Однако никому не удалось обогнать. Но уже вскоре мы получили что-то вроде рождественского подарка: две статьи, написанные Дюром, Дулатом, Йоханнесом Бределем (Johannes Brödel) и Лоренцо Танкреди (Lorenzo Tancredi), где они изложили лучший способ обращения с этими интегралами, основанный на работах математиков Фрэнсиса Брауна (Francis Brown) и Андрея Левина (*выпускник мехмата МГУ 1983 г., старший научный сотрудник Института океанологии РАН. — Примеч. пер.*). Эти статьи вместе с последующей, написанной при участии Бренды Пенанте (Brenda Penante), добавили недостающую деталь, которая была необходима: новый алфавит «эллиптических букв».

С помощью такого рода алфавита мы можем применить трюк Гончарова к более сложным интегралам и начнем понимать амплитуды с двумя петлями не только в упрощенной «игрушечной» модели, но и также и в реальном мире.

Если мы научимся выполнять вычисления с двумя петлями для реального мира, если вычисления в рамках Стандартной модели удастся поднять на новый уровень точности, то мы сможем увидеть, совпадают ли данные Большого адронного коллайдера с ее предсказаниями. И если окажется, что это не так, у нас появятся все основания считать: происходит нечто абсолютно новое, что наши теории объяснить не в состоянии. Возможно, требуется найти всего одно недостающее звено в наших данных, чтобы продвинуть физику элементарных частиц к следующей границе, чтобы разгадать эти давние загадки, которые кажутся неразрешимыми. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Берн Ц., Диксон Л., Косоуэр Д. Петли, деревья и новая физика // ВМН, № 7, 2012.
- Classical Polylogarithms for Amplitudes and Wilson Loops. A.B. Goncharov et al. in Physical Review Letters, Vol. 105, Article No. 151605; October 7, 2010. Препринт доступен по адресу: <https://arxiv.org/abs/1006.5703>
- Bootstrapping Six-Gluon Scattering in Planar N=4 Super-Yang-Mills Theory. Lance J. Dixon et al. Presented at the 12th DESY Workshop on Elementary Particle Physics, Weimar, Germany, April 27–May 2, 2014. Препринт доступен по адресу: <https://arxiv.org/abs/1407.4724>

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

ПОСЛЕДНЯЯ

Сможем ли мы удалить достаточно CO_2 из атмосферы, чтобы замедлить или даже повернуть вспять изменение климата?

Ричард Коннифф



Нагнетательная скважина на исландской геотермальной электростанции Хедлискейди закачивает рассол вместе с захваченным из воздуха CO_2 в глуболежащие горизонты горных пород

НАДЕЖДА



ОБ АВТОРЕ

Ричард Коннифф (Richard Conniff) — писатель, удостоенный наград. Среди его книг пользуется известностью «Искатели видов: герои, дураки и безумная погоня за жизнью на Земле» (*The Species Seekers: Heroes, Fools, and the Mad Pursuit of Life on Earth*, 2011).



е так давно казалось, что сокращение выбросов парниковых газов спасет мир от изменения климата — как и замена электростанций на ископаемом топливе на чистые источники энергии, эффективная эксплуатация автомобилей и зданий, переход на светодиоды, снижение употребления мяса и т.д. Сокращение эмиссии и продвижение возобновляемых источников энергии представлялись верным ответом даже Межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК) в 2005 г. Однако принятая стратегия не сработала, как планировалось. Эмиссия в глобальных масштабах не уменьшается, а наоборот увеличивается. И сегодня становится очевидным, что даже сведение годового объема нетто-выбросов до нулевого значения к 2050 г. во всем мире будет недостаточной мерой.

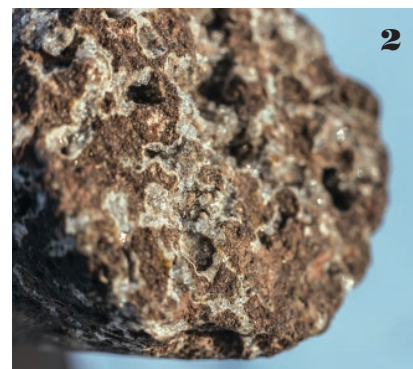
Чтобы предупредить распад экономики и окружающей среды, как утверждают климатологи, мы должны достичь негативной эмиссии. Выполнение этой задачи означает удаление миллиардов тонн двуокиси углерода из атмосферы каждый год. Это все равно что сказать, что мы больше не можем выносить мусор, но нам постоянно надо убирать тот, что мы выбросили в прошлом.

Негативная эмиссия превратилась в широких масштабах в «биофизическую потребность» для достижения смягчения климатического воздействия, согласно определению, данному в работе 2018 г., выполненной под руководством Яна Минкса (Jan C. Minx) из Научно-исследовательского института глобальных объектов всеобщего достояния

и климатических изменений им. Меркатора в Германии. Он вместе с соавторами предупредил в *Environmental Research Letters*, что это вопрос «безотлагательной необходимости», если человечество надеется ограничить потепление до 1,5° C. Почти все страны планеты поддержали это предложение, принимая во внимание серьезное отступление от 2° C, оговоренных в Парижском соглашении по изменению климата в 2016 г. В настоящее время наблюдается потепление около 1° C по сравнению с доиндустриальным периодом, и каждые десять лет происходит повышение на 0,2° C. В октябре 2018 г. в специальном докладе МГЭИК высказала опасение, что у нас в запасе всего лишь 12 лет, чтобы избежать опасности соскользнуть с 1,5° C,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Чтобы ограничить глобальное потепление до 1,5° C, в этом столетии страны должны убрать из атмосферы Земли 1 трлн выбросов двуокиси углерода.
- Решающее значение будет иметь определение оптимальной комбинации методов удаления CO₂. Установки, захватывающие углекислый газ из воздуха, смогут удалить 250 млрд т к 2100 г. Восстановление леса на вырубках сможет довести результат до 180 млрд т.
- Диапазон чистых затрат составляет \$0–300 за тонну. Пока использование удаленного CO₂ не выйдет на широкую рыночную дорогу, налоги на выбросы диоксида углерода могут стать лучшей поддержкой разработке технологий.



Установка компании Climeworks всасывает CO_2 из атмосферы (1). Нагреватель внутри купола (2) закачивает газ более чем на 700 м под землю, где он вступает в реакцию с базальтовыми коренными породами, при этом образуются карбонаты, видимые как белые потоки на образце керна, вырезанного из толщи базальта (3).



и хранению CO_2 уже с 2030 г., то есть всего через 11 лет. Это может означать введение в строй огромных механизмов добычи углекислого газа из воздуха или разработку биоэнергетических установок, сжигающих древесину, поставляемую на основе непрерывного цикла возобновления, и применяемых для улавливания CO_2 с последующим захоронением глубоко под землей. Их дополняют старые технологии: посадки на месте вырубленных лесов или расширение

то есть с того уровня, который был принят большинством ученых как предельный, если мы хотим, чтобы наша жизнь не изменилась.

Пребывание в этих рамках предписывает выполнение определенного «углеродного бюджета» — суммарного количества углекислого газа, которое мы можем добавить в атмосферу, чтобы потепление не вышло за установленные пределы температуры. При нынешних темпах выбросов — 40–50 млрд т в год — вероятно, останется только пять лет на выбросы CO_2 при развитии сценария $1,5^\circ\text{C}$, по расчетам Минкса с соавторами. После чего каждая дополнительная тонна должна будет возмещена равнозначным изъятием. По подсчетам группы Минкса, мировое сообщество должно будет убрать от 150 млрд т до более 1 трлн т диоксида углерода из атмосферы к 2100 г., или приблизительно 2–16 млрд т в год, начиная с 2050 г.

Для выполнения этой задачи, как считают Минкс и его команда, нам надо начать строить в год несколько сотен установок по улавливанию

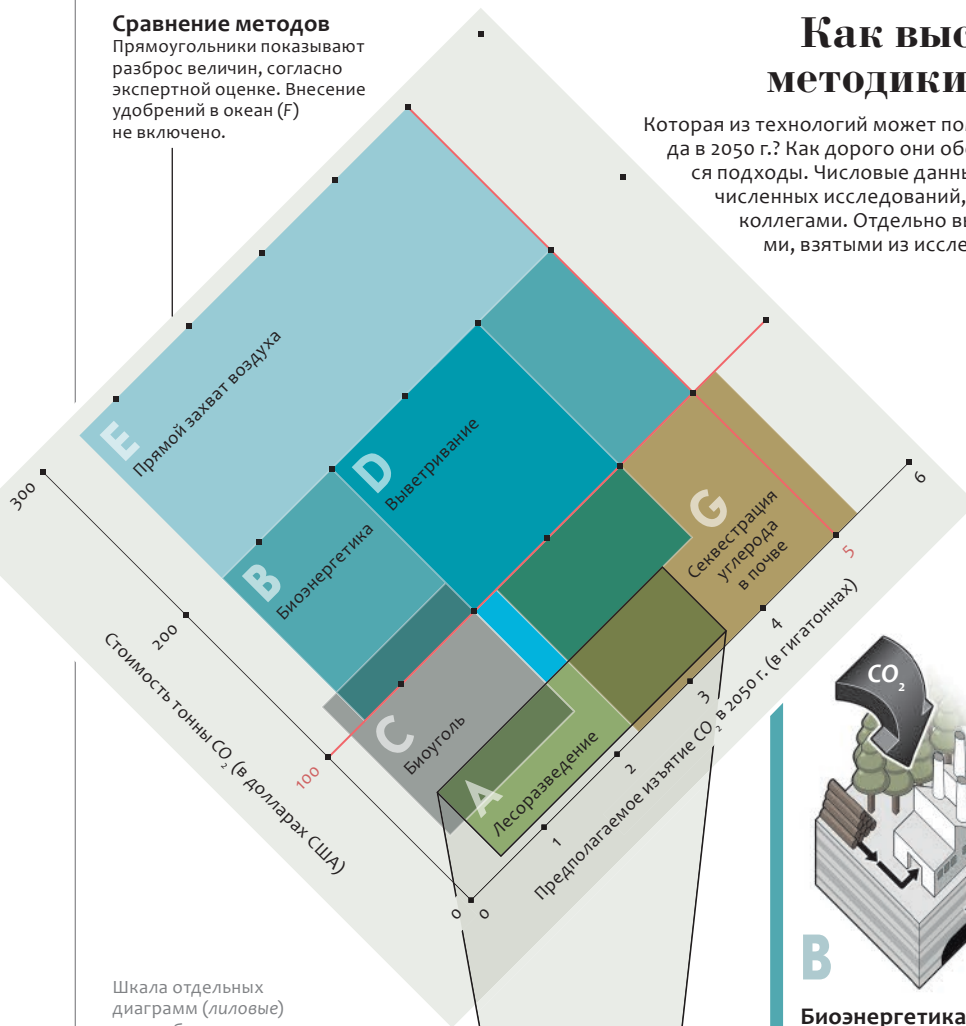
существующих, мелиорация пахотных и пастбищных земель для удержания большего количества углерода, дробление и распространение определенных видов горных пород, поглощающих CO_2 .

Надо сказать, что большинство высоких технологий по захвату двуокиси углерода находятся все еще на ранних стадиях разработки. Они требуют огромных финансовых вложений при значительных рисках неудач, влекут за собой серьезные побочные последствия, в том числе они вступают в конкуренцию за землю, что сегодня наблюдается на примере выбора — прокормить людей или дать приют дикой природе.

И все же улавливание двуокиси углерода в массовом порядке представляется единственно возможным вариантом. Когда в 2017 г. статистик из Вашингтонского университета Эдриан Рэфтери (Adrian E. Raftery) и соавторы опубликовали исследование в *Nature Climate Change*, где рассматривались современные тенденции без учета технологий негативной эмиссии, они пришли

Сравнение методов

Прямоугольники показывают разброс величин, согласно экспертной оценке. Внесение удобрений в океан (F) не включено.



Шкала отдельных диаграмм (лиловые) может быть расширена или сужена для лучшего рассмотрения.



Лесовозобновление и облесение

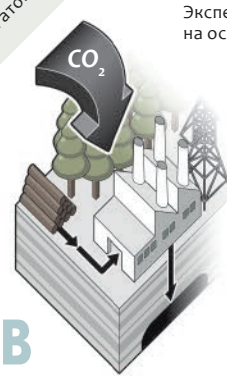
Посадки деревьев ведутся на вырубках или для расширения существующих площадей леса. Деревья поглощают CO₂ из атмосферы и преобразуют его в свой прирост, включая корни. Торговля древесиной и практика ведения хозяйства должны быть реформированы.

Как выстраиваются методики удаления CO₂

Которая из технологий может помочь изъять больше всего двуокиси углерода в 2050 г.? Как дорого они обойдутся? В больших квадратах сравниваются подходы. Числовые данные получены в результате метаанализа многочисленных исследований, выполненных экономистом Забине Фусс и ее коллегами. Отдельно вынесены диаграммы с подробными оценками, взятыми из исследований и экспертиз команды Фусс.

Выделенные диаграммы (фиолетовый)

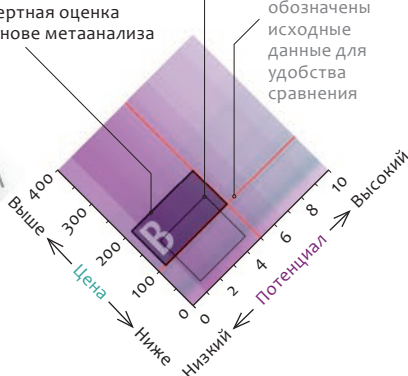
Цветом обозначен диапазон величин, полученных на основании множества исследований. Чем темнее, тем сильнее перекрытие.



B

Биоэнергетика со связыванием и хранением углерода

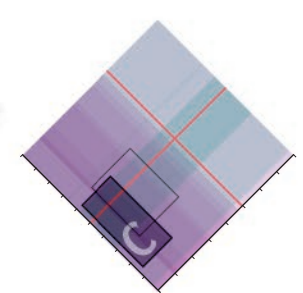
Растения, поглощающие CO₂, сжигаются для выработки энергии или перерабатываются в топливо. CO₂ удаляется и закачивается глубоко под землю на вечное хранение. Производство дает доход, но широкое применение чревато использованием сельскохозяйственных площадей, необходимых для выращивания продовольственных культур.

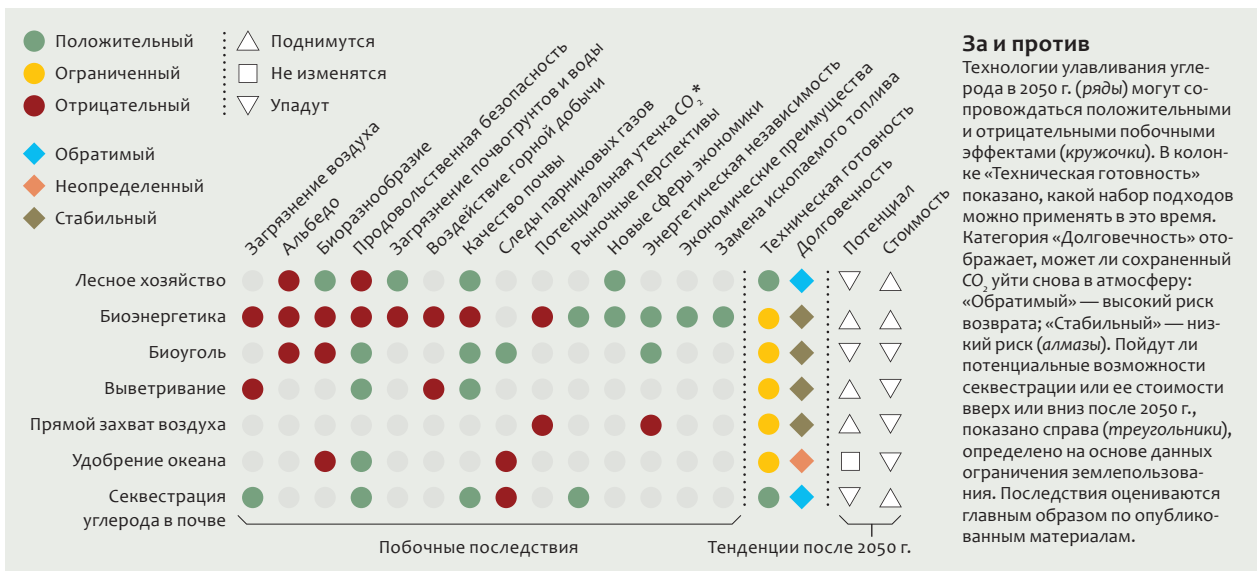


C

Биоуголь

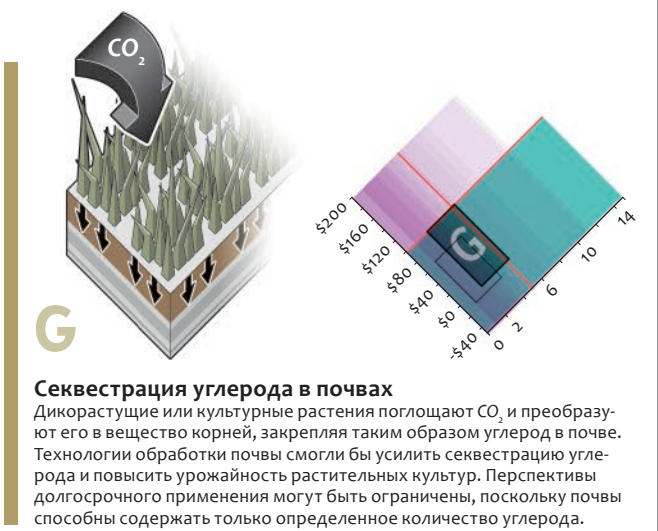
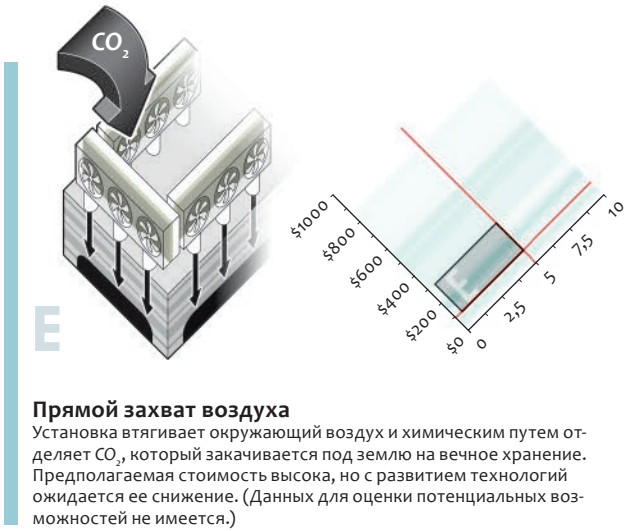
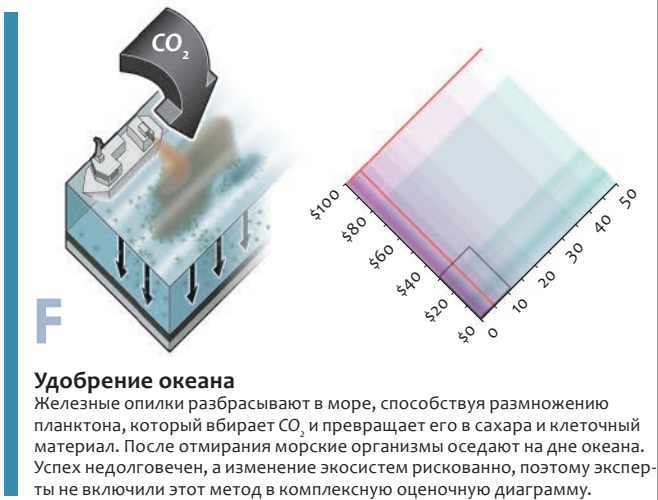
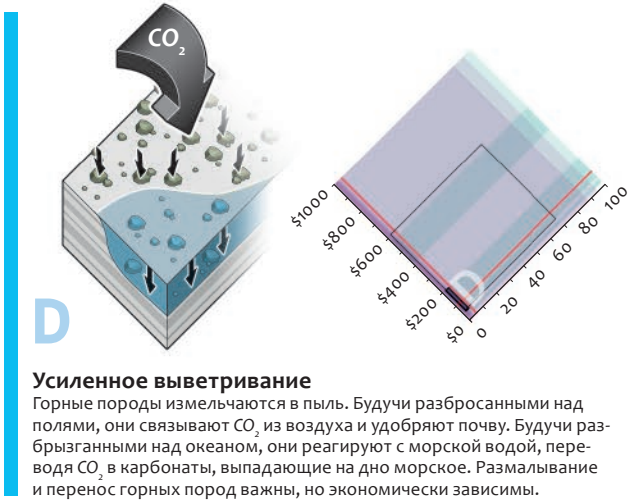
Растительная масса, органические удобрения или отходы нагреваются в отсутствие кислорода, при этом образуются биотопливо и биоуголь — своего рода древесный уголь, насыщенный диоксидом углерода. Он разбрасывается на сельскохозяйственных полях для улучшения свойств почвы, дополнительно связывая CO₂. Массовое производство при минимальном потреблении энергии может быть проблематично.





За и против
 Технологии улавливания углерода в 2050 г. (ряды) могут сопровождаться положительными и отрицательными побочными эффектами (кружочки). В колонке «Техническая готовность» показано, какой набор подходов можно применить в это время. Категория «Долговечность» отображает, может ли сохраненный CO₂ уйти снова в атмосферу: «Обратимый» — высокий риск возврата; «Стабильный» — низкий риск (алмазы). Пойдут ли потенциальные возможности секвестрации или ее стоимости вверх или вниз после 2050 г., показано справа (треугольники), определено на основе данных ограничения землепользования. Последствия оцениваются главным образом по опубликованным материалам.

* Из подземных хранилищ.



SOURCE: "NEGATIVE EMISSIONS—PART 2: COSTS, POTENTIALS AND SIDE EFFECTS," BY SABINE FUSS ET AL., IN ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS, VOL. 13, NO. 6, ARTICLE NO. 063002, JUNE 2018

к заключению, что мы стоим на пути достижения рубежа потепления в $3,5^{\circ}\text{C}$ к концу столетия при его вариабельности от 2°C до $4,9^{\circ}\text{C}$. В более позднем исследовании, опубликованном в *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Янъян Сюй (Yangyang Xu), климатолог из Техасского сельскохозяйственного и политехнического университета, и его коллега уточнили, что потепление более 3°C относится к категории «катастрофическое», а выше 5°C определяется как «существенная угроза большинству населения».

Предположим, что в этом столетии необходимо 1 трлн т негативной эмиссии: в среднем 20 млн т в год с 2050 по 2100 г. Какую долю этого пирога может обеспечить каждое из возможных средств и по какой цене? Учитывая конкурентность в использовании определенных ресурсов, таких как, например, земельных, какое же сочетание средств стоит считать наилучшим для применения? И можем ли мы собрать всю политическую волю, чтобы осуществить негативную эмиссию, одновременно радикально снизив текущий выброс двуокиси углерода?

Очистить ветер

На поле застывшей лавы с разбросанными валунами и пятнами мха, у подножия гор близ Рейкьявика, установка величиной с гараж для одной машины пропускает воздух через химический фильтр, очищающий от углекислого газа. Она приводится в действие сбросом тепла близлежащей геотермальной электростанции и закачивает собранную двуокись углерода на 700 м под землю, где затем газ реагирует с базальтовыми породами и превращается в твердое ископаемое. Швейцарская новаторская компания *Climeworks* впервые в мире запустила завод по прямому захвату воздуха и хранению CO_2 . На нем из атмосферы ежегодно изымается 50 т диоксида углерода.

Прямой захват и хранение — вероятно, самый прямой путь к негативной эмиссии, когда множество последователей станут добывать CO_2 в небесах и закапывать его. По мнению ученых, благодаря данной технологии возможно удалять 10–15 млн т двуокиси углерода в год до конца столетия, а несколько специалистов полагают, что и 35–40 млн т. Такие привлекательные перспективы вызывают беспокойство климатологов, так как могут спровоцировать недобросовестное отношение: люди способны решить, что можно повременить с сокращением использования ископаемого топлива в надежде на более позднее технологическое спасение.

В самом тщательном обзоре способов изъятия CO_2 , сделанном по материалам еще одного исследования 2018 г., обнаруженном в *Environmental*



Биоуголь, удобрение, сделанное путем нагревания куриных отходов со щепой, которые иначе бы выделяли CO_2 во время гниения

Research Letters, дается более трезвая оценка. Забине Фусс (Sabine Fuss) из института им. Меркатора и ее коллеги рассмотрели стоимость, побочные действия, устойчивость окружающей среды и другие факторы, относящиеся к секвестрации двуокиси углерода, и потенциальные возможности семи основных способов ее осуществления. Фусс с соавторами определила возможности прямого захвата для 2050 г. лишь в размере от 500 млн т до 5 млрд т в год, подытоживая для всего столетия показатель 25–250 млрд т по цене \$100–300 за тонну. Что касается перспективы, то каждый наш автомобиль выбрасывает обычно по $4,6\text{ т CO}_2$ в год.

И в самом деле, захват воздуха, по словам Джеймса Маллигана (James S. Mulligan) из Программы по изучению продовольственных, лесных и водных ресурсов Института мировых ресурсов, не представляется «серебряной пулей». Он говорит: «Это не блестящий объект исследования. Он ужасен. Но нам он необходим». Некоторые из исследователей заявляют, что они могли бы снизить затраты до \$100 за тонну. Минкс поясняет, что может быть слишком поздно, если выполнение этой задачи должным образом займет более 60 лет, как это случилось с переходом использования солнечной энергии со спутников с конца 1950-х гг. на широкий рынок в наши дни.

При прямом захвате воздуха также потребляется огромное количество электроэнергии. Извлечение 1 млн т CO_2 в год потребует выработки электростанцией 300–500 МВт, согласно расчетам Дженнифер Уилкокк (Jennifer Wilcox), химика-технолога, профессора Вустерского политехнического института. Если электростанция работает на угле, она может также дать больше вредных выбросов, чем поглотить двуокиси углерода. При использовании электроэнергии от солнечных или ветровых

станций надо учесть, что они займут много места на земле, которая может потребоваться для сельского хозяйства или природоохранной деятельности. И, что очевидно, 1 млн т едва ли составит прорыв к цели в 200 млрд т в год.

Возводя подобные заводы сегодня, важно было бы на дальнейшую перспективу этого столетия разрабатывать эффективные конструкции, применяемые в более широких масштабах. Однако Роджер Айнс (Roger Aines), руководитель Энергетической программы Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, отмечает: «Если осуществить прямой захват 20 млн т воздуха сегодня, то это было бы плохое обращение с вашими деньгами. Потребовалось бы много солнечной и ветровой энергии, и если у вас есть это количество, то лучшее использование — послать его в электросети и отключить угольные электростанции». Ограничение производства новой эмиссии до сих пор приоритетно.

Портфолио решений

В исследовании Фусс не раскрываются потенциальные возможности семи технологических приемов улавливания двуокиси углерода, поскольку некоторые из них соперничают за использование одних и тех же ресурсов. Так, например, слишком большие лесопосадки займут площади, необходимые для выращивания биотоплива, а производство слишком большого количества биоэнергии может конкурировать с методом прямого захвата воздуха в сфере подземного депонирования углерода. Климатологи настаивают, что необходимо оптимизировать сочетание методов.

Пит Смит (Pete Smith), почвовед, занимающийся глобальными изменениями, профессор Абердинского университета, видит один из прямых путей формирования набора средств в пропорциональном увеличении всего того, что известно, как делать. Мы знаем, как сажать деревья. Нам известно, как восстанавливать торфяные болота, в основном посредством поднятия уровня грунтовых вод, когда торфяник задерживает двуокись углерода вместо ее выделения. Мы знаем, как улучшить почву и содержание CO_2 в ней. И все с помощью стимулирования тех средств, которые относительно легки в исполнении и могут быть применены сразу. Таким образом, это, вероятно, и есть один путь из возможных для достижения цели.

Рассмотрим облесение. Прискорбно отмечать это, но тропические леса мира стали источником, а не поглотителем двуокиси углерода в результате вырубki и сжигания деревьев или деградации разоренных лесов. Возвращение лесов на территорию негативной эмиссии прежде всего потребует проведения серьезных реформ на международном рынке древесины, который находится под сильным давлением незаконной торговли. Помимо

этого, вполне очевидно, что для лесопосадок подойдут земли, когда-то расчищенные под земельные угодья или пастбища, но затем заброшенные ввиду их неплодородия. Восстановление 5 млн км² подобных земель могло бы дать изъятие 3,7 млрд т диоксида углерода в год при соответствующем финансировании, согласно исследованию 2015 г., проведенному под руководством Ричарда Хоутона (Richard Houghton) из Научно-исследовательского центра в Вудс-Холе и напечатанному в *Nature Climate Change*.

Бронсон Гриском (Bronson Griscom), заведующий научными исследованиями лесного углерода в природоохранной организации *Nature Conservancy*, а также материалами по решению климатических проблем в *PNAS*, дает пояснения, что превращение всех выпасов, которые когда-то были покрыты лесом, снова в лесные угодья может обеспечить 10 млрд т негативной эмиссии в год. Это уже значительная часть очищения от двуокиси углерода, необходимая ежегодно. Однако такая акция может повлечь за собой глобальный сдвиг к отказу от потребления мяса — тенденции, противоположной нынешней.

Фусс с соавторами предсказывают более скромные перспективы. Деревья живут и умирают, а это значит, что они поглощают углерод сегодня, чтобы потом в этом или следующем столетии его отдать. Общая величина секвестрированного CO_2 также, возможно, будет уменьшаться по мере зрелости леса, поскольку его рост будет замедляться. Пожары, вырубki леса и изменение климата повышают риски. Тем не менее расширение лесных массивов может служить временной критической мерой, в то время как прямой захват воздуха и другие технологии вырастут в масштабах. Фусс определяет потенциал удаления двуокиси углерода на уровне 500 млн — 3,6 млрд т в год к середине столетия. Это может послужить достижению поставленной на наше столетие цели в 1 трлн т в размере 25–180 млн т по цене от \$5 до \$50 за тонну.

Более эффективное управление может увеличить выгоды. Гриском отмечает, что в юго-восточной части США на лесопосадках заготовки сосны ладанной сознательно проводятся за несколько лет до достижения оптимальной зрелости деревьев. Разрешение продажи квот на выброс двуокиси углерода, покрывающих годы дополнительного роста, позволило бы отложить лесозаготовки до оптимального возраста деревьев, при этом выросли бы как заготовки древесины, так и количество CO_2 , отправленного на хранение.

Аналогичным образом выращивание азотфиксирующих растений на пастбищах и переход к более разумной системе пастбищного севооборота способствовали бы как более продуктивному выпасу, так и лучшему подземному хранению углекислого газа. По осторожным расчетам

Фусс, благодаря усовершенствованиям секвестрацию углерода в почве можно довести до 5,3 млрд т в год — 265 млрд в этом столетии — по цене от \$0 до \$100 за тонну.

Все это можно рассматривать как дополнение к получению биоугля. Данный процесс удаления CO_2 состоит в том, что в специальной печи под действием тепла при отсутствии кислорода биомасса превращается в форму древесного угля, а также образуются полезные побочные продукты, такие как биоэнергия и синтетический газ. Применение древесного угля на пашнях дает связывание диоксида углерода в почве и улучшает урожай. Однако пока нет примеров широкого использования биоугля. Фусс с соавторами считают, что он может оправдать доверие как источник от 300 млн до 2 млрд т годового изъятия двуокиси углерода по цене \$90–120 за тонну, что соответствует 15–100 млрд т для столетия.

Еще один метод, привязанный к земле, получил название «биоэнергетика со связыванием и хранением углерода» (*BECCS*). Первые планы многих стран, принявших парижские обязательства, основывались на нем, хотя он до сих пор вызывает горячие споры. На электростанции сжигаются дрова, сельскохозяйственные отходы и другое энергетическое сырье из биомассы, такое как, например, просо прутьевидное. Первоначально эти источники энергии поглощают двуокись углерода из атмосферы по мере роста или накопления. При горении она вновь освобождается, но улавливается в дымовой трубе электростанции и отсылается на вечное хранение глубоко в толщу горных пород. Надо сказать, что некоторые сторонники этого метода не отрицают, что залесение под массовое производство биоэнергии может поглотить много пахотных угодий мира, угрожая производству продуктов питания и охране природы, так же как и удаление CO_2 другими способами вроде разведения лесов и секвестрации почвой. Извлечение выбросов из труб также резко снижает производительность электростанций, по крайней мере при использовании современных технологий. В результате Фусс оценивает устойчивый выход от применения *BECCS* на уровне только 2 млрд т в год, то есть значительно ниже, чем другие исследователи, и по цене \$100–200 за тонну. К 2100 г. в этом случае, по расчетам Фусс, негативная эмиссия будет составлять 100 млрд т.

Остаются на рассмотрении еще два способа снижения уровня CO_2 . Усиленное выветривание эксплуатирует естественный процесс: углекислый газ в атмосфере превращается в карбонат при взаимодействии с определенными видами дробленой горной породы. Остается ответить на вопрос, удастся ли ученым найти способ, чтобы экономически целесообразно раздробить нужную породу в порошок и ускорить природный процесс. Фусс оценивает

возможности этого метода как 2–4 млрд. т в год по цене от \$50 до \$200 за тонну. Ее команда делает вывод, что подкормка удобрениями океана — вбрасывание измельченного железа или других питательных веществ в океан для усиления роста водорослей и разных видов планктона, поглощающих двуокись углерода, — будет слишком неэффективна и кратковременна, чтобы оправдать возможное неблагоприятное воздействие на экосистемы. «Это нежизнеспособная стратегия негативной эмиссии», — пишут они.

Прибыль, а не затраты

Куда же нас ведут расчеты? В исследовании Фусс они составляют разброс от 150 млрд т до чуть более 1 трлн т к 2100 г. Последнее число как будто должно решить наши проблемы. Но мы даже не можем толком подытожить все расчеты, поскольку разные методы вступают в противоречие. Фусс полагает, что все, что мы можем сделать, — это использовать их взаимовыгодные соединения. Например, усиление выветривания можно проводить на той же территории, где выращивается биомасса для *BECCS*.

Ученые утверждают, что все подходы нуждаются в значительных инвестициях в исследование и разработку. Айнс из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса говорит: «Это станет долгой и трудной битвой». Но органы государственного управления с неохотой оплачивают расходы на технологии негативной эмиссии, руководствуясь идеологической ставкой на победителей и пресловутыми промахами прошлых инвестиций. Министерство энергетики США, например, потратило огромные суммы на проекты по улавливанию CO_2 в целях реализации выработки электроэнергии на «чистом угле». Южная компания отказалась в 2017 г. от последних попыток в округе Кемпер, штат Миссисипи, переведя электростанцию с чистого угля на природный газ после затрат в \$7,5 млрд.

Налог на выбросы двуокиси углерода помог бы обойти политику выбора победителей, установив цену на эмиссию — стоимость выбрасывания мусора в атмосферу. В результате появилась бы рыночная заинтересованность как в сокращении выбросов в настоящее время, так и позднее в возмещении затрат за прошлую эмиссию. В Великобритании такие налоги, приблизительно в размере \$25 на тонну, налагаются прежде всего на тепловые электростанции, которые наполовину сократили выбросы CO_2 с 2015 по 2016 г. Следует отметить, что большинство правительств ведут себя уклончиво, считая налоги слишком радикальной мерой спасения экономики, построенной на ископаемом топливе.

За редким исключением акционерные компании также не расположены вкладывать средства

в технологии очистки от CO_2 , поскольку до последнего времени они не видели здесь рыночных рычагов. С их точки зрения укрепление климата имеет общественное значение, на чем нельзя работать. Однако ситуация может измениться, поскольку в начале 2018 г. Конгресс США одобрил пакет налоговых льгот, неожиданно поддержанный обеими партиями. Благодаря так называемой законодательной инициативе 45Q были значительно повышены налоговые скидки, которые компании могут затребовать в следующие 12 лет не только за улавливание двуокиси углерода и подземную секвестрацию из расчета \$50 на тонну в налоговых льготах, но и за использование CO_2 самыми различными способами.

Больше всего разногласий вызывает добыча нефти с применением методов повышения нефтеизвлечения. Нефтяные компании покупают диоксид углерода, перегоняют его по трубопроводу и закачивают в истощенные нефтяные скважины, выдавливая остатки нефти, которую не могли извлечь обычным способом. Решение по изменению климата, включающее увеличение производства ископаемого топлива, звучит по-оружейски двусмысленно, и ряд экологов раскритиковали 45Q как еще одну замаскированную программу, поддерживающую использование ископаемого топлива. Однако добыча нефти вторичным методом может послужить сокращению имеющейся эмиссии, так как CO_2 , в основном полученный из природного газа или при производстве этанола, изолируется под землей. Некоторые защитники окружающей среды, например Курт Уолцер (Kurt Waltzer) из Рабочей группы по очищению воздуха (*Clean Air Task Force*), утверждают, что внедрение выловленного диоксида углерода в энергетические технологии, а не технологии выбросов — первый шаг на пути к широкому коммерческому применению удаления углекислого газа. Вновь захваченный CO_2 превращается в продукцию, которая покупается или продается, а не становится бременем расходов. Это могло бы стать ключевым поворотом к окончательной негативной эмиссии.

Время действовать

Способен ли набор методов снижения уровня CO_2 , налогов и рыночных механизмов помочь добиться цели в 1 трлн т к 2100 г.? Жаркое лето 2018 г., возможно, стало поворотным моментом. Американский Запад был в огне пожаров. Люди на четырех континентах подвергались волнам жуткой жары. В Японии тысячи пострадавших от солнечного удара попали в больницу в течение одной недели. Климатологи перешли от осторожности в сообщениях к прямому предупреждению в *PNAS*, что дальнейшее потепление несет угрозу превращения нашей планеты в «теплицу, которая будет с трудом поддаваться контролю и станет опасной для

многих». На случай, если и это послание окажется не слишком убедительным, Ханс Йоахим Шелльнхубер (Hans Joachim Schellnhuber), заслуженный директор Потсдамского института исследований воздействия на климат, сообщил корреспондентам, что конечные последствия могут быть такими, что мир сможет поддерживать жизнь только 1 млрд людей — по сравнению с 7,5 млрд, проживающими в нем в настоящее время.

Даже сегодня некоторые политические деятели видят изменение климата в туманном свете, несмотря на исчерпывающие доказательства того, что это и есть наше мрачное настоящее и еще более мрачное будущее. В замешательство приводят технологии негативной эмиссии, даже сами ученые не имеют о них четкого представления. Стефани Рой (Stephanie Roe), эколог из Виргинского университета, говорит о повышении содержания двуокиси углерода в почве: «Все толкуют о зависимости от того, что представляет собой субстрат, в какой части мира вы находитесь, какие здесь осадки и температурный режим».

Исследователи также погрязли в спорах о том, может ли какой-либо из методов удаления углекислого газа, не говоря обо всех, довести результат до уровня миллиардов тонн в год. Брендан Джордан (Brendan Jordan) из Института Великих равнин в Миннеаполисе поясняет: «Возможно, слишком много внимания уделяется зависящему от обстоятельств масштабу. Я боюсь, что это ослабляет нас, тогда как мы не можем себе позволить никакой слабости». Нам надо начинать добиваться негативной эмиссии, невзирая на неясности, поскольку они обыденны и мелки в сравнении с положением дел, когда мир остановился, как в игре «Музыкальные стулья», на той грани изменения климата, где места, чтобы сесть, не хватает для 6,5 млрд людей. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Биелло Д. Иллюзия улавливания CO_2 // ВМН, № 5–6, 2016.
- Natural Climate Solutions. Bronson W. Griscom et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 114, No. 44, pages 11, 645–11650; October 31, 2017.
- Negative Emissions — Part 2: Costs, Potentials and Side Effects. Sabine Fuss et al. in *Environmental Research Letters*, Vol. 13, No. 6, Article No. 063002; June 2018.
- Technological Carbon Removal in the United States. James Mulligan et al. *World Resources Institute*, September 2018.



Право на попытку

МЕДИЦИНА

Большинству онкологических больных, никогда не попадающих в число испытуемых, на которых апробируют новейшие препараты, не удастся это из-за невозможности преодолеть препятствия, стоящие на пути врачей муниципальных больниц

Дэвид Фридман

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Новейшие эффективные препараты апробируются на пациентах в ходе клинических испытаний, и онкологические больные, принявшие в них участие, часто живут дольше, чем те, кто получает стандартное лечение.
- К сожалению, для таких испытаний нередко не набирается достаточно числа участников, в частности потому, что большинство больных просто не знают об этой опции, а лечащие врачи на местах не имеют возможности организовать их участие в испытаниях.
- Чтобы решить проблему, необходимо уменьшить нагрузку на медицинский персонал муниципальных больниц, связанную с включением их пациентов в число испытуемых, и усовершенствовать систему отбора подходящих кандидатов.

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Фридман (David H. Freedman) — журналист из Бостона, пишущий на научные темы.



Джин Реймерс, 75-летняя пенсионерка, живет в Гранд-Айленде, штат Небраска, небольшом городе на берегу реки Платт, главные достопримечательности которого — Музей первопроходцев прерий им. Штура и заповедник канадских журавлей. Около двух лет назад женщина узнала от своего врача, что у нее рак, хуже того — метастазирующий рак легкого на поздней стадии, плохо поддающийся лечению. Стандартный подход в таких случаях состоит в облегчении состояния больного. «Мне казалось, что я не протяну и года», — говорит Джин.

Сегодня она не только жива, но и полна энергии и не ощущает никакой боли. Компьютерная томография, сделанная прошлой осенью, показала, что все метастазы уменьшились или вообще исчезли. Большой радостью для нее было появление на свет одиннадцатого внука.

Все это стало возможным благодаря приему экспериментальных лекарственных средств в рамках клинических испытаний. Терапия заключалась в применении комбинации двух иммунопрепаратов — ипилимумаба и ниволумаба, еще не получивших одобрения Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) США в качестве средства борьбы с раком легких. Реймерс участвовала в испытании данных средств на эффективность.

Эта история не была бы чем-то особенно примечательным, если бы Реймерс лечилась в каком-нибудь известном медицинском центре, находящемся в крупном городе. Такие знаменитые учреждения, как Онкологический центр им. М.Д. Андерсона Техасского университета или Мемориальный онкологический центр им. Слоуна — Кеттеринга в Нью-Йорке, проводят клинические испытания с участием 25% своих пациентов. Но к Гранд-Айленду с его 51 тыс. жителей ближе всего находится Клиника Св. Франциска, обычная муниципальная больница, входящая

в региональную сеть медицинских учреждений, никак не связанных с крупными центрами. «Я не думала, что жители маленьких городов имеют такие же шансы участвовать в клинических испытаниях, как и те, кто живет в мегаполисах», — говорит Реймерс. Единственное, на что она могла рассчитывать, — это трехчасовые поездки раз в две недели в более крупную больницу в Омахе. Вероятно, она могла бы оставаться там на ночь, и скорее всего она бы этого не делала. Но главный онколог Клиники Св. Франциска решил, что Реймерс по всем критериям подходит для участия в тестировании нового двухкомпонентного препарата; он подготовил все необходимые документы, получил лекарства и начал действовать.

Препараты, проверяемые в ходе клинических испытаний, — это последние разработки фармацевтов; многие из них гораздо эффективнее, чем все известные на тот момент. Половина из дошедших до третьей фазы испытаний, которая проводится на пациентах, получают одобрение FDA. В качестве примера можно привести герцептин, ставший средством номер один для борьбы с раком молочной железы после испытаний, которые он успешно прошел в 1998 г., и с тех пор его получили 420 тыс. женщин. Позже примерно 90 тыс. страдающих раком молочной железы были пролечены препаратом под названием «ибранс», но вплоть до 2015 г. он применялся только в ходе испытаний. В 2014 г. одобрение FDA получил препарат кейтруда, и к настоящему времени им пролечено 70 тыс. больных раком разных типов.

Несмотря на то что в США, по данным Национального института онкологии, критериям на участие в клинических испытаниях удовлетворяет примерно треть больных раком, в число добровольцев включают всего 4%, а некоторые эксперты полагают, что таковых еще меньше. В чем же дело? Врачи муниципальных больниц, где лечится подавляющая часть онкологических больных, не связанные ни с какими крупными медицинскими центрами, заявляют, что у них нет ни времени, ни побудительных мотивов, ни финансовой поддержки для организации участия своих пациентов в клинических испытаниях и их подготовки к ним. По данным Национальных академий наук, инженерии и медицины, «врачам муниципальных больниц не хватает инфраструктуры, обеспечивающей их активное

участие в клинических испытаниях». В одной из публикаций в журнале *Scientific American* по клинической онкологии утверждается, что степень участия медицинских учреждений низшего уровня в таких испытаниях «катастрофически мала», и обусловлено это отчасти неосведомленностью врачей относительно всех аспектов данного мероприятия.

Недоступность для 85% больных жизненно важных препаратов — национальная проблема гигантского масштаба. Так, в испытаниях новых лекарств, направленных на борьбу с болезнью Альцгеймера, участвует менее 1% больных. Что касается онкологии, то здесь последствия упущенных возможностей особенно болезненны: прогресс в разработке новых противораковых препаратов сегодня поражает воображение. «Многие из сегодняшних клинических испытаний проводятся с применением наиболее многообещающих препаратов», — говорит Туфия Хаддад (Tufia Haddad), онколог из Клиники Майо. С появлением новых методов идентификации связанных с раком мутаций и целевого воздействия на них в опухолевых клетках было разработано более 600 экспериментальных противораковых препаратов, показавших хорошие результаты в опытах на животных и первых испытаниях применительно к человеку. Необходимо отметить, что, вопреки общепринятому мнению, согласно которому во время испытаний вы рискуете с большой вероятностью получить плацебо, при широкомасштабных испытаниях этот риск очень мал.

Проблема низкой вовлеченности в испытания отрицательно сказывается и на научных исследованиях. Дефицит пациентов приводит к тому, что многие испытания приходится прерывать — и не получается никакого результата, либо само испытание надолго откладывается. Каждое из шести планируемых испытаний не может набрать необходимого числа пациентов. «Самая большая преграда на пути разработки новых препаратов — недостаток добровольцев, на которых их можно было бы проверить», — говорит Джон Коул (John T. Cole), онколог из Системы здравоохранения Окснера со штаб-квартирой в Новом Орлеане, отслеживающий работу одной из сетей по обслуживанию онкологических больных. — Мы не справимся с этим вызовом, пока не решим вопрос об участии в клинических испытаниях пациентов муниципальных больниц».

По словам Робин Алты Чаро (R. Alta Charo), профессора права Висконсинского университета в Мадисоне, государственные деятели и регулирующие органы мало чем могут помочь врачам муниципальных больниц в устранении перечисленных выше преград. Пока что они приняли закон о «праве на попытку», согласно которому FDA разрешает назначать пациентам, находящимся на терминальной стадии, экспериментальные препараты, которые они не могут получить в рамках клинических испытаний. На самом деле FDA никогда и не вводило такого запрета, так что новый закон облегчит участь лишь горстки больных и не поможет

SOURCE: "CLINICAL TRIAL AWARENESS, ATTITUDES, AND PARTICIPATION AMONG PATIENTS WITH CANCER AND ONCOLOGISTS," BY LAURIE FENTON ET AL., IN COMMUNITY ONCOLOGY, VOL. 6, NO. 5, MAY 2009 (online February); "TERMINATED TRIALS IN THE CLINICAL TRIALS GOVERNMENT RESULTS DATABASE: EVALUATION OF AVAILABILITY OF PRIMARY OUTCOME DATA AND REASONS FOR TERMINATION," BY REBECCA J. WILLIAMS ET AL., IN PLOS ONE, VOL. 10, NO. 3, ARTICLE NO. E0127442, MAR 26, 2015 (trial.terminator.org). Graphic by Jencristianstansen

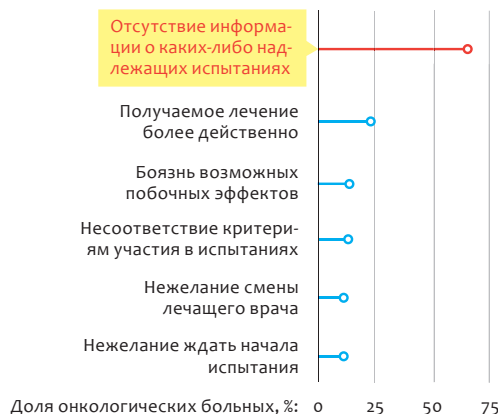
Упущенные возможности

Больные, принимающие участие в клинических испытаниях, чаще живут дольше и даже излечиваются, чем те, кто получает стандартное лечение. Тем не менее доля больных, которые становятся участниками подобных испытаний, непростительно мала. Многие даже не знают о такой возможности. Нередко испытания не проводятся, поскольку не набирается достаточного числа участников, либо прерываются по тем или иным причинам.

Недостаточная осведомленность

81% онкологических больных заявили, что их лечащие врачи не обсуждали с ними возможность участия в каких-либо испытаниях. Эти данные, опубликованные в 2009 г., получены при опросе 406 больных и 200 врачей-онкологов. Основной причиной неучастия в таких мероприятиях пациенты считают свою неосведомленность.

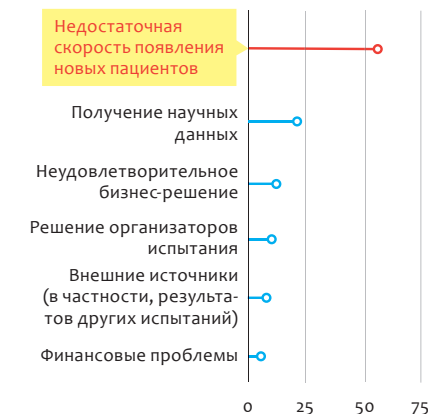
Основные причины неучастия в испытаниях



Дефицит участников

Анализ причин преждевременного прекращения проведенных в США клинических испытаний, результаты которого были обнародованы в 2015 г., показал, что на первом месте стоит дефицит участников. Из 905 испытаний 57% не дошли до финиша именно по этой причине и лишь 21% были прерваны по медицинским показаниям, например потому, что тестируемый препарат не показал желаемой эффективности.

Основные причины прерывания испытаний



по существу. «Гораздо эффективнее было бы устранение дефицита врачей в муниципальных больницах», — говорит Алта Чаро.

Поиски по-настоящему действенных путей помощи — нелегкая задача. Одной из мер может служить, например, разработка программ с участием искусственного интеллекта, которые осуществляли бы скрининг массива данных об онкологических больных. Существенным подспорьем способно стать повышение квалификации персонала муниципальных больниц, что изменило бы их отношение к участию в испытаниях. Для всего этого опять-таки необходимы мотивация врачей, финансирование, изменение графика работы медиков, чтобы у них появилось время для самообразования, и многое другое. В Клинике Св. Франциска сумели так организовать работу, что в испытаниях уже приняли участие 35 ее пациентов. Это за-

слуга в первую очередь Мехмета Копура (Mehmet Sorur), главного онколога больницы.

Миссия одного врача

Как только Реймерс впервые пришла на прием к Копуру, он, проведя необходимые обследования, сразу начал искать возможность включить ее в клинические испытания. Для этого ему понадобилось связаться с разными академическими центрами, как он это делал не раз в случаях с другими пациентами. Отказ означал бы невозможность для серьезно больного человека получить лечение, которое, возможно, спасет ему жизнь. Так он всякий раз говорил коллегам из крупных медицинских центров, стараясь убедить их в необходимости действовать. Не так давно Копур перешел на работу в Онкологический центр им. Моррисона в другой коммуне того же штата. Здесь он занимается созданием такой же программы по участию пациентов в клинических испытаниях. «Стандартное лечение сегодня — это то, что дали испытания, проведенные десять лет назад, — говорит он. — Включить в них пациента означает дать ему шанс получить помощь, которая станет доступной лет через десять».

В 1995 г. Копур был молодым ученым-медиком, приехавшим из Турции в США. Он занялся фундаментальными научными исследованиями в системе Национальных институтов здравоохранения,

когда изменение в политике правительства относительно числа приглашенных ученых едва не кончилось для него лишением визы. Единственной надеждой на ее продление было получение гранта, на который могли рассчитывать врачи, проработавшие не менее трех лет в муниципальных клиниках, где не хватает персонала. Он нашел такую больницу в Гранд-Айленде и был принят на работу.



Мехмет Копур, врач-онколог, организующий участие своих пациентов в клинических испытаниях, приветствует одну из своих подопечных

«Прибыв на место и осмотревшись, я пришел в ужас и решил, что моей карьере пришел конец», — вспоминает Копур. Он намеревался продолжить свои клинические исследования, но в больнице не было даже библиотеки и доступа в интернет. Никаких клинических испытаний не проводилось, и когда Копур предложил руководству хотя бы попытаться принять участие в каких-то из них, ни коллеги, ни администрация его не поддержа-

жали. «Мне пришлось вступить в борьбу с первых дней работы, — говорит он. — Даже врачи больниц, находящихся в крупных городах, не всегда понимали, как важно участие в этих испытаниях, что уж говорить о таком небольшом городе, как Гранд-Айленд!»

Для Копура проблема была еще и в том, что он мог зарабатывать на жизнь, только принимая немислимое число пациентов за пять рабочих дней в неделю. Для того чтобы включить своих больных в число тех, кто участвует в клинических испытаниях, нужно было время, втрое превышающее то, которое Копур тратил на обычных пациентов: необходимы были дополнительные обследования и тщательные наблюдения за состоянием больного. В крупных центрах такое время предусматривалось, для этого вводились специальные ставки. Копур же должен был трудиться внеурочно: проводить многочисленные диагностические тесты, заполнять разного рода документы и тому подобное. Он попытался получить грант Национальных институтов здравоохранения и присоединился к консорциуму муниципальных больниц, что повышало шансы на успех.

Далеко не все его пациенты соглашались на участие в испытаниях, не желая, по их словам, играть роль «морских свинок», на которых тестируют высокотоксичные вещества, — заблуждение, широко распространенное среди жителей отдаленных

регионов, как считает Джеймс Аткинс (James Atkins), онколог из Юго-Восточного медицинского онкологического центра в Северной Каролине. Копур терпеливо объяснял им, что сегодня испытания организованы таким образом, чтобы их участники получали максимальную пользу, и что токсичные вещества они уже так или иначе принимают, но их эффективность несравнимо ниже. Большинство пациентов Копуру удавалось убедить. А вскоре его коллеги по больнице заметили, что дела у тех, кого лечит Копур, идут гораздо лучше, чем у их пациентов. В результате опыт Копура распространился на всю больницу.

«Копур проделал в одиночку гигантскую работу, — говорит Правин Викас (Praveen Vikas), онколог из Айовского университета. — Это редкий случай обеспечения врачом муниципальной больницы медицинских услуг, превосходящих то, что предоставляют своим пациентам занимающие высокие посты работники специализированных центров».

В 2018 г. Копур и его коллеги устроили участие своих пациентов в 74 клинических испытаниях. Для этого Копуру пришлось работать с раннего утра до позднего вечера, прерываясь только на обед. «Испытания — вся моя жизнь, — говорит он. — Иногда я мечтаю о том, чтобы заняться фундаментальными исследованиями, но мои излечившиеся пациенты свидетельствуют, что в своем теперешнем качестве я могу принести больше пользы».

Один молодой человек, живущий недалеко от Гранд-Айленда, два года назад узнал, что его рак почки дал метастазы. Надежда на одобренные к применению препараты была невелика, и он принялся за поиски мест, где проводились подходящие клинические испытания. Он отправился в Вашингтон на консультацию к одному специалисту, и тот посоветовал ему вернуться в Небраску и обратиться к доктору Копуру. «Если честно, я был настроен скептически, но Копур обнадежил меня, пообещав найти возможность принять участие в одном из испытаний по моему профилю, — вспоминает молодой человек. — Мой мобильник начал информировать меня о возможных вариантах, когда я только выезжал с парковки около больницы». Сегодня пациент чувствует себя прекрасно, и все это — следствие курса иммунотерапии, пройденной им в ходе испытаний, в которых он принял участие благодаря Копуру.

Преодолевая барьеры

Опыт Копура показывает: в том, что касается клинических испытаний, муниципальные больницы могут быть не менее результативными, чем крупные клиники. И если этот опыт распространить на Онкологический центр им. Моррисона в Хейстингсе, то свидетельства тому будут еще более весомыми. Для того чтобы решить проблему дефицита участников в клинических испытаниях,

муниципальным больницам нет необходимости участвовать в них в таком же масштабе, какого достиг Копур. Если всего одна четвертая часть всех муниципальных больниц достигнет десятипроцентного уровня участия в испытаниях, в результате в масштабах страны число вовлеченных в них онкологических больных увеличится на 50%. Результаты опроса широкого круга пациентов показали, что в 81% случаев лечащие врачи даже не обсуждали со своими подопечными вопрос участия в клинических испытаниях.

Деятельность Копура с коллегами высветила те препятствия, которые стоят на пути больниц к участию в клинических испытаниях. Но десятипроцентное участие не требует от врачей безумных жертв — так утверждают клиницисты, помогавшие своим коллегам из провинции сделать решающий шаг. Аткинс, который возглавляет крупный консорциум муниципальных больниц, охватывающий весь юго-восток США, работает совместно с 25 больницами в пяти штатах. По его словам, многие врачи, если можно так сказать, уже «на борту». Это означает, что они тратят на своих пациентов не стандартные 50 часов в неделю, а на пять часов больше. «Это не такая уж существенная нагрузка, но если врач не соглашается на нее ради своих пациентов то, по моим представлениям, это не что иное, как лень».

Для того чтобы уменьшить нагрузку на врачей муниципальных больниц, испытания можно организовать по-другому — так, чтобы больше работы приходилось на специалистов тех центров, которые их организуют. В результате исследований, проведенных Медицинским центром Питтсбургского университета совместно с шестью другими академическими медицинскими центрами и Национальными институтами здравоохранения, была выработана программа по привлечению муниципальных больниц к участию в испытаниях. Она предусматривает 38 шагов, направленных в первую очередь на повышение заинтересованности врачей и параллельно на уменьшение дополнительной нагрузки, связанной с работой с пациентами-участниками. Среди этих шагов — поездки клиницистов в муниципальные больницы для разъяснения преимуществ участия в испытаниях для пациентов; проведение телеконференций; написание специальных научных статей; организация веб-сайта с информацией об испытаниях; выпуск брошюр. Исследование, результаты которого были опубликованы в 2014 г. в журнале *Clinical Pediatrics*, показало, что после реализации всех этих мер число участвующих в испытаниях добровольцев выросло на 38%.

Соника Бхатнагар (Sonika Bhatnagar), соавтор работы и доцент педиатрии Медицинской школы Питтсбургского университета, отметила, что в ходе этих исследований было установлено, какие

факторы мешают врачам включить своих пациентов в испытания в первую очередь. «Самое серьезное препятствие — дефицит времени, — говорит она. — Минимизация нагрузки стоит на первом месте, и мы сделали все возможное, чтобы ее уменьшить». Среди мер, принятых Бхатнагар с коллегами, — суммирование наиболее важных моментов относительно испытаний, чтобы врачам не приходилось самим вдаваться в их детали и они могли изложить их суть в беседе с пациентами наиболее точно. Имеет смысл обратиться к членам семьи больного, объяснив им целесообразность предлагаемых мер. Далее, по словам Бхатнагар, врачей беспокоит, что участие пациентов в испытаниях означает их согласие пойти на компромисс относительно автономности в принятии решения при выборе способа лечения, поскольку испытания часто жестко очерчивают некоторые аспекты терапии. По ее мнению, чтобы снять данную проблему, следует побеседовать персонально с максимально возможным числом врачей данной больницы, чтобы у них возникло доверие к протоколу испытаний и они прониклись чувством, что это принесет пользу не только их пациентам, но и огромному множеству других больных. «Большинство врачей испытывают даже что-то вроде гордости, внося свой вклад в исследования, которые могут изменить методы лечения в целых областях онкологии», — говорит Бхатнагар.

Благодаря еще одному исследованию был собран материал, позволяющий оптимальным образом организовать скрининг пациентов, то есть отбор тех из них, которые удовлетворяют по своим показателям требованиям, предъявляемым теми или другими испытаниями. Это подразумевает беседу один на один с врачами больницы и пациентами.

Стремление увеличить число участников испытаний в некоторых случаях бывает связано с желанием академических медицинских центров повысить свой статус завязыванием партнерских отношений с муниципальными больницами. Некоммерческая компания *Kaiser Permanente*, занимающаяся вопросами здравоохранения, сотрудничает с 27 больницами на севере Калифорнии, стимулируя их участие в клинических испытаниях. «Вместо того чтобы совершать дальние поездки в один из академических медицинских центров, наши подопечные получают экспериментальные препараты прямо по месту жительства — там, где они делают прививки и лечатся от гриппа», — говорит Лу Ференбахер (*Lou Fehrenbacher*), врач-онколог из *Kaiser Permanente*, координирующая работу по участию муниципальных больниц в испытаниях. Аналогичным образом поступает Центральный госпиталь при Йельском университете, расположенный в Нью-Хейвене. К сожалению, большинство из 4 тыс. муниципальных больниц находится в стороне от нового движения.

За помощью — к высоким технологиям

Есть надежда, что данный пробел удастся ликвидировать с помощью высокотехнологичных подходов. Один из них апробирует Клиника Майо, основываясь на разработках *IBM* по компьютеризации исследований когнитивных функций, а именно — с помощью суперкомпьютера *IBM Watson*. Используя эту платформу, клиника детально анализирует медицинские показатели каждой больной, страдающей раком молочной железы, которая проходит в ней лечение, и проверяет показатели на соответствие требованиям, выдвигаемым организаторами проводимых в клинике испытаний. По словам руководителей этих мероприятий, за 11 месяцев работы системы число испытуемых возросло на 80%, при этом речь идет только о пациентах клиники. Как считает сотрудница Клиники Майо Хаддад, такой скачок удалось совершить во многом благодаря укомплектованию учреждения квалифицированным персоналом. И добавляет, что большую роль сыграла также способность *IBM Watson* быстро разбираться не только в весьма специфических медицинских показателях, но и в клинических записях и других неструктурированных данных. «Большинство систем электронной регистрации не так уж сложны, чтобы с их помощью нельзя было узнать, какие препараты получал пациент, — говорит она. — Более 90% медицинских данных никак не структурированы, но когнитивная система может выполнить эту работу».

В рамках другого исследования, проводимого Национальными институтами здравоохранения и Кейсовским университетом Западного резервного района и получившего название *Trial Prospector*, собраны данные по 60 онкологическим больным с недавно диагностированным раком желудочно-кишечного тракта и для 57% найдены подходящие клинические испытания. Тестирование еще одной системы, прошедшее в Медицинском центре детской онкологии в Цинциннати, показало, что время, необходимое для подбора пациентов для участия в клинических испытаниях, можно уменьшить на 85%.

Результаты впечатляют, но для применения всех этих подходов нужна серьезная подготовка. Прежде всего больницы должны быть оснащены сложной электронной системой сбора и обработки медицинских показателей пациентов. В большинстве клиник подобных систем нет, или они слишком примитивны, чтобы автоматизировать процесс подбора пациентов и поиск мест проведения подходящих испытаний. Но если врачи данной больницы проявят заинтересованность в реализации инновационных подходов, эти системы можно будет усовершенствовать до нужного уровня, и тем быстрее, чем больше муниципальных больниц будет принимать участие в испытаниях.

Мехмет Копур тем временем продолжает свою деятельность; в его багаже — 63 научных публикации, в частности статья в престижном *Journal of Clinical Oncology*, касающаяся лечения больных с метастазирующим раком поджелудочной железы и необходимости участия пациентов муниципальных больниц в соответствующих клинических испытаниях. «Я советую тем врачам, которые не изъявляют желания организовывать такое участие для своих пациентов, направлять последних к тем, кто это делает», — говорит он.

Как представляется, имеет смысл комбинировать все подходы: доведение до сведения врачей муниципальных больниц информации обо всех инновациях в лечении онкологических больных; организацию испытаний таким образом, чтобы уменьшить нагрузку на врачей местных больниц; оснащение этих больниц современными системами обработки данных, необходимых для включения пациентов в число участников испытаний. Большим подспорьем здесь будет ознакомление с опытом Копура и других врачей, а также поддержка со стороны Национальных институтов здравоохранения, в частности постоянное настойчивое напоминание, что клинические испытания — это часть профессиональных обязанностей

не только исследователей, работающих в академических институтах, но и лечащих врачей на местах. Только наступление по всем фронтам позволит каждому пациенту реализовать свое право на попытку. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Clinical Trial Awareness, Attitudes, and Participation among Patients with Cancer and Oncologists. Laurie Fenton et al. in *Community Oncology*, Vol. 6, No. 5, pages 207–213; May 2009.
- Transforming Clinical Research in the United States: Challenges and Opportunities: Workshop Summary. Institute of Medicine. National Academies Press, 2010.
- Reliability of Adverse Symptom Event Reporting by Clinicians. Thomas M. Atkinson et al. in *Quality of Life Research*, Vol. 21, No. 7, pages 1159–1164; September 2012.
- Alzheimer's Disease Drug Development Pipeline: 2017. Jeffrey Cummings et al. in *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*, Vol. 3, No. 3, pages 367–384; September 2017.

Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Дочь денисовца и неандерталки, по версии *Science*, – в десятке главных научных прорывов года

Изучение алтайского палеолита «взорвало» привычные представления о путях становления современного человечества

По мнению лауреата премии «Глобальная энергия» академика С. В. Алексеенко, наиболее перспективным энергетическим источником служит тепло земных глубин

Катастрофические вулканические извержения, влияющие на климат Земли, происходят чаще, чем считалось, – в среднем один раз в столетие

Древний и современный, многогранный и многоликий Китай глазами историка и археолога

www.scfh.ru

Взаимодействие термитов и растительности объясняет загадочные узоры, наблюдаемые по всему миру

Лиза Маргонелли

ЭКОЛОГИЯ

ТЕРМИТЫ И ВОЛШЩЕБНЫЕ КРУГИ

По возвращении из Австралии я долго размышляла над услышанной там историей о большом бокситовом руднике, где термиты восстановили почву. Мне стало интересно, на самом ли деле термиты повысили плодородие почвы и восстановили растительный покров или это просто выдумка. Все-таки между насекомыми, в экскрементах которых содержится чуть больше молекул азота, и созданием целого леса — большая разница. Что же сделали термиты? Я начала просматривать свой архив в надежде найти людей, занимающихся подобными проблемами.

Поиск привел меня к работам математика Корины Тарниты (Corina Tarnita) и эколога Роба Прингла (Rob Pringle). Когда я обратилась к Корине, та только что перешла в Принстонский университет из Гарварда и вместе с Робом приступила к математическому моделированию процессов, связанных с влиянием термитов на засушливые ландшафты Кении. У Роба я брала интервью в 2010 г., когда он со своей исследовательской группой опубликовал статью о роли термитов в экосистемах африканской саванны, в которой обитают слоны и жирафы.

Адаптированный отрывок из книги Лизы Маргонелли «Под прикрытием: захватывающая история о термитах и технологиях» (Underbug: An Obsessive Tale of Termites and Technology), печатается с разрешения издательского дома Scientific American / Farrar, Straus and Giroux (США). © Лиза Маргонелли, 2018 г.



FRANSLANTING

«Волшебные круги»
в заповеднике
Намибранд (Намибия)

ОБ АВТОРЕ

Лиза Маргонелли (Lisa Margonelli) — заместитель редактора журнала Аризонского университета *Zócalo Public Square*, посвященного актуальным проблемам. Ее предыдущая книга — «Все мысли о нефти: долгий и странный путь нефтепродуктов до топливного бака» (*Oil on the Brain: Petroleum's Long, Strange Trip to Your Tank*, 2007).



В начале 2014 г. я поехала на поезде в Принстон, чтобы встретиться с Робом и Кориной. К тому времени я занималась вопросами, связанными с термитами, уже шесть лет и почти разочаровалась в идеях, вдохновлявших меня раньше: понимание взаимосвязи между «локальным» и «глобальным» — идея, которая не дает покоя специалистам по теории сложности, — и развитие технологий, способных «спасти мир». Однако, применив математические модели, Корина Тарнита и Роб Прингл с коллегами предложили свою версию. А то, что они разгадали загадку «волшебных кругов», — всего лишь дополнение.

Когда я приехала в Принстон, где старые дома из скругленного под воздействием климата кирпича сочетаются с почти футуристическими новыми зданиями из стекла и бетонных блоков, Корина была на занятиях, поэтому я отправилась искать Роба.

Я знала, что Прингл обладает прекрасным чувством юмора, потому что наткнулась в интернете на фото, где Роб, одетый в строгий черный костюм, сражается с измерительной рулеткой около электрической изгороди. Когда я нашла Роба в его кабинете в старых стенах университета, он был в джинсах и ковбойских сапогах.

После лекции пришла Корина Тарнита. В ярком платье и высоких сапогах она выглядела особенно эффектно и элегантно в невзрачном кабинете для младшего преподавательского состава. Корина также отличается острым умом: она получает информацию, анализирует ее с математической точки зрения и подходит к решению проблемы совершенно по-новому.

В те времена, когда в 2010 г. я по телефону общалась с Робом Принглом, он занимался исследованием экосистем, используя ящериц в качестве вида-индикатора. Он определял на карте участок земли, разбивал его на квадраты, и затем в полевых

условиях устанавливал численность ящериц в заданных квадратах. Если есть ящерицы, значит есть насекомые. Раз есть насекомые, значит есть растения, а если есть растения, следовательно, есть вода. Как выяснилось, участки с достаточным количеством растительности, привлекающей ящериц, также предпочитают и слоны. В некотором смысле исследования и проводились из-за слонов: все заинтересованы в том, чтобы их было больше.

В относительно сухой саванне, в Кении, Роб считывал на участках от 300 до 1,1 тыс. гекконов, но в двух районах численность гекконов зашкалила: на покрытой навозом территории заброшенных ферм и на участках с гнездами термитов. С навозом все ясно — он удобряет почву и способствует буйству растительности, но было непонятно, какова взаимосвязь между численностью гекконов и гнездами термитов.

Выращивающие «грибные сады» термиты рода *Odontotermes* строят в этой части Кении основную часть своего гнезда под землей, поэтому их гнезда меньше всего похожи на земляные столбы, которые встречаются повсеместно в Африке. Наоборот, земля как будто покрыта оспинами и холмики термитников находятся на расстоянии от 18 до 36 м друг от друга. Чем ближе к центру гнезда подходил Роб, тем больше гекконов он обнаруживал. Тогда Прингл обратил внимание на характер роста кустовых злаков и акаций. Здесь наблюдалась та же закономерность. Все выглядело так, как будто термиты из-под земли сформировали весь ландшафт в виде большой шахматной доски избытия. Как сказал Роб, когда я позвонила ему в 2010 г.: «Термиты словно неосознанно дергают за ниточки, при этом даже не выходя на поверхность».

Частично влияние термитов связано с обеспечением питательными веществами: ученые Дэн Док (Dan Doak), Кена Фокс-Доббс (Kena Fox-Dobbs) и другие обнаружили, что в районе термитного

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Термиты играют ключевую роль в обеспечении плодородия аридных ландшафтов по всему миру.
- Гнезда термитов снабжают питательными веществами растения и большое разнообразие насекомых, гекконов и даже слонов.
- Ученые из Принстонского университета Роб Прингл и Корина Тарнита используют математическое моделирование экологических процессов для оценки влияния термитов.
- Термиты оказывают существенное воздействие на ландшафты, увеличивают устойчивость растений к засухе и участвуют в формировании узоров «волшебных кругов».

гнезда почвы намного богаче азотом и фосфором по сравнению с почвами за пределами термитника. Как результат, на этих участках не просто появляется обильная растительность, но в листьях деревьев и злаков содержится больше азота, следовательно, они более питательны — и, возможно, более вкусны. Термиты также перемещают частицы песка, поэтому на участке, где находится гнездо, по-другому распределяется вода. «Термиты "возделывают" землю, чтобы выросло больше травы?» — поинтересовалась я у Роба. Ученый ответил, что, хотя известно, что термиты ухаживают за выращиваемыми под землей грибами, механизм происходящего на поверхности непонятен. Возможно, это ряд петель обратной связи, которые приводят к наблюдаемому результату. «Термиты действительно важны для регуляции расхода воды. Это настоящий черный ящик».

Впервые услышав, что Роб упоминает о черном ящике, я восприняла это как метафору, а не как инженерную идею. Теперь, просмотрев свои старые записи, я задумалась, что же он имел в виду: действительно ли Роб рассчитывал, что технология даст ответ на экологический вопрос? Или он говорил о черном ящике в переносном смысле?

Роба больше всего заинтересовал узор, сформированный термитами на поверхности земли. Как будто термиты создали решетку, которая превратила обычную монотонную равнину в комплекс из очагов плодородия. Что-то такое было в способе организации пространства, что делало всю систему более продуктивной. С началом эпохи технологий передачи изображений на расстояние и появлением лидаров, в которых используются лазеры для создания снимков земной поверхности, подобные узоры стали обнаруживать повсюду. Роба беспокоило, что такие узоры слишком часто встречаются: «Невозможно не заметить эти узоры во время полета на легкомоторном самолете или на снимках в *Google Earth*». Мне было понятно, что имеет в виду Роб, потому что я видела подобные узоры. Когда Роб был в Гарварде, он рассказал о беспокоящем его вопросе Корине.

Корина выросла на ферме в Румынии, рано увлеклась математикой и завоевала множество наград в этой области еще до того, как поехала в Гарвардский университет получать степень бакалавра. Там же она начала учиться в магистратуре по специализации «многомерная геометрия», но потом стала заниматься математической биологией, проблематика которой более реальна и запутанна.

Корина заинтересовалась механизмами кооперации — и в 2010 г. вместе с биоматематиком Мартином Новаком (Martin Nowak) и энтомологом Эдвардом Уилсоном (E.O. Wilson) опубликовала большую статью, в которой пересматривается общепринятая теория эволюции общественных насекомых. Корина целый год перепроверяла

математические модели, лежащие в основе теории, и обнаружила, что не только наличие взаимосвязей приводит к успешной кооперации. Когда яйцекладущая самка муравьев (царица) производит на свет самок, которые останутся в семье и будут выращивать ее расплод, то больше ее потомства выживает: в результате кооперации муравьиная семья разрастается.

В 2013 г. Корина и Роб поехали в Исследовательский центр Мпала в Кении. Там вместо создания компьютерных моделей конкуренции и кооперации Корина могла в природе проводить эксперименты с термитами из разных гнезд и наблюдать, как они воюют, когда их помещают на один участок. Поначалу вся ровная, покрытая растительностью территория выглядела для исследователей одинаково и Корина с трудом могла определить, где находятся гнезда термитов. Но когда биоматематик привыкла определять узор, у нее появилось странное чувство: «В полевых условиях сразу же возник миллион вопросов. Мне казалось, что на самом деле узоров больше, чем тех, что создаются гнездами термитов. Я чувствовала, что есть еще узор, но мне не удавалось уловить его целиком».

Как-то днем, по истечении трех недель работы над проектом по гранту Национального научного фонда, ученые отправились на прогулку. Они проходили мимо выжженного поля, на котором вместо колышущихся верхушек трав остались только следы растительности. Корине показалось, что она что-то заметила. Корина попросила разрешения забраться на крышу *Range Rover* и среди выжженных следов увидела это: два отдельных узора, взаимодействующих друг с другом. Первый узор — в горошек — создавали термитные гнезда, а второй — узор леопардовых пятен — формировала растительность между гнездами термитов.

Леопардовые пятна манят биоматематиков, потому что представляют собой естественные природные узоры, для которых имеется теоретическое обоснование. Леопардовый узор согласуется с моделью Тьюринга — теоретической конструкцией, впервые предложенной британским математиком Аланом Тьюрингом в 1952 г., которая впоследствии была продемонстрирована в некоторых естественных системах. Если вы видели леопардов, зебр, рыбок данио-рерио, морские раковины и хамелеонов, то вы наблюдали такие узоры, которые описывают реакционно-диффузионными моделями или моделями обратной реакции, зависящей от масштаба. Системы типа «реакция — диффузия» — это необходимые составляющие структуры мира, оказывающие влияние на все: от появления слизевиков в сливных системах до механизма восприятия запахов мозгом кролика.

Когда Корина сообщила Робу, что видит леопардовые пятна, он отнесся к этому скептически и сказал, что это просто пышные кустовые злаки.

Но Корина настаивала, поэтому Роб сделал несколько фотографий. Потом исследователи отправили аспирантов сделать дополнительные снимки камерой, закрепленной на десятиметровой штанге. При внимательном изучении полученных изображений стало ясно, что на поверхности действительно присутствует другой узор. Роб быстро осознал свою ошибку: он просто слишком много знал о растениях, чтобы видеть дальше этого. «Было здорово работать с Кориной в полевых условиях, — рассказал Роб. — Ничего удивительного, просто у нее были иные представления о корневой конкуренции».

Корина же была на седьмом небе от счастья. «До того как Роб привез меня в Африку, я была биологом-теоретиком, — объясняла она, — теперь же мне не хочется работать с системами, которые я не могу увидеть или на которые не могу воздействовать. Это принципиальная перемена».

Тем не менее тот момент стал только началом работы, которую было необходимо проделать Корине Тарните со своей группой, чтобы разработать модель, проверить гипотезу и использовать математическую модель для составления прогнозов, как подобные взаимодействующие механизмы формирования узоров будут выглядеть в природе. «Сначала я просто доверяю интуиции, определяя, каким правилам могли бы подчиняться подобные рисунки, — рассказала мне Корина. — Я беру их за основу и потом добавляю множество подробностей о том, как в действительности ведут себя термиты и растения. Это похоже на работу детектива».

Вместе с Хуаном Боначелой (Juan Bonachela), биологом-теоретиком с подготовкой по статистической физике, и Эфрат Шеффер (Efrat Sheffer), биологом из Иерусалима, которая изучает взаимосвязь между отдельными растениями и их экосистемами, Корина Тарнита приступила к разработке математической модели, начав с косвенного свидетельства того, как гнезда термитов формируют ландшафт, — простой решетки из шестиугольников.

Термиты покидают гнезда, чтобы добывать пищу, и их кормовая зона постоянно расширяется. Однако через много лет, когда ландшафт заполняется гнездами, кормовые участки вокруг гнезд начинают соприкасаться. Если во всех гнездах обитает приблизительно одинаковое число термитов, то в конце концов термитные гнезда равномерно распределяются по территории. В том месте, где кормовой участок одного гнезда достигает кормовых угодий других термитов, формируются границы гнезд. Это не настоящая граница, и на поверхности земли она не видна, тем не менее такой рубеж действительно существует. Возможно, причина — в ожесточенных схватках, которые наблюдала постдок Джессика Кастильо-Вардаро (Jessica Castillo-Vardaro), когда поместила вместе термитов



Термит-солдат вида *Odontotermes montanus* извлечен из гнезда на кусочке белых грибных ком, выращиваемых для питания

из двух разных гнезд, а может быть дело в том, что термиты избегают своих сородичей, отличающихся по запаху от членов «родной» семьи. Если гнезда термитов равномерно распределяются по территории, то большинство гнезд будут соседствовать с шестью другими термитниками. В итоге холмики термитников выглядят как мозаика из шестиугольников, причем гнезда максимально удалены друг от друга. В этом есть смысл: территории, самоорганизующиеся в виде шестиугольников, характерны для многих животных, в том числе волков, берингийских песочников (*Calidris ptilocnemis*) и даже некоторых видов рыб.

Затем исследователи создали модель для узора растительного покрова. Основная идея моделей Тьюринга заключается в том, что существуют два разных механизма ответной реакции. Рост живых организмов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, активизируется, а удаленных друг от друга на большое расстояние — подавляется. Например, расположенные близко растения, создавая маленькие группы, помогают друг другу за счет более эффективной абсорбции воды при выпадении осадков, но на больших расстояниях такие группы начинают конкурировать за воду, подавляют рост и оставляют голую землю. Если при моделировании процесса задать по четыре разных параметра для активатора и ингибитора (как быстро они распространяются, насколько они сильны и т.д.) и создать модель, в которой активатор и ингибитор взаимодействуют, со временем сформируется характерный комплекс узоров. Например, при реализации модели с сильным активатором появятся крупные пятна, а той, где присутствует сильный ингибитор, — мелкий горошек. Измените параметры, описывающие распространение активаторов и ингибиторов, — и получите узоры, напоминающие панцирь черепахи, связку бубликов, щели

и полосы или лабиринт. Эти узоры очень похожи на природные объекты, включая мидиевые банки, коралловые рифы и грибы. Поэтому биологи предполагают, что активаторами подобной зависящей от масштаба ответной реакции могут выступать совершенно разные факторы, например вода, гормоны или организмы-симбионты; ингибиторами могут быть засуха, гормоны и хищники.

Используя комбинацию активаторов и ингибиторов, подходящих для растительности в Кении, Тарнита и Боначела разработали математическую модель, которая имитирует узоры, появляющиеся в результате ответной реакции, зависящей от масштаба. Меняя параметры, касающиеся только растений, ученым удалось смоделировать ситуацию с ограниченным поступлением воды и превратить существовавшие вначале заросли сначала в лабиринт, а потом в пустыню, которая выглядела, как на фото. «Мы решили: "Ясно, это система типа «реакция — диффузия». Можно ли ее объединить с узорами, создаваемыми термитами?» — рассказала Корина об узорах растительности. Она скомбинировала модель самоорганизующихся гнезд термитов и модель зависящей от масштаба ответной реакции для растительности. Теперь вместо равномерного узора в горошек из термитных гнезд в середине шестиугольников или леопардовых пятен травы леопардовый узор появился поверх шестиугольников: пышный над центром богатого ресурсами гнезда и редкий по краям. Корина распечатала изображения, получающиеся при взаимодействии двух моделей для условий с разным количеством осадков, и показала их Робу. В самых общих чертах изображения напоминали ткань с африканским узором: равномерно распределенные крупные точки, окруженные ореолом пятнистого фонового рисунка. Точки — это гнезда термитов, а пятнистый фон — леопардовый узор растительности. Когда Корина и Роб сравнили узоры, полученные при моделировании, со спутниковыми снимками покрытых гнездами термитов ландшафтов Африки, то обнаружили, что изображения очень похожи. Ученые даже могли увеличить пятнистый узор на модели, чтобы увидеть форму кустистых злаков, и он напоминал очертания кустистых злаков на фотографиях. Оказалось, что эти узоры спрятаны на самом виду. «Это было соответствие предсказаний модели фактическим данным, которое заставило меня поверить», — сказал Роб.

Корину приводил в восторг тот факт, что два разных узора, создаваемых на разных уровнях, взаимодействовали и влияли друг на друга. «Локальное» оказалось связано с «глобальным», и это было заметно даже на картах, построенных по данным спутниковой съемки. «Я совершенно счастлива, когда модели можно проверить, и мы обнаруживаем такую сходимость», — с явным удовольствием отметила Тарнита.

Разработанные Кориной и ее группой математические модели объясняли странное чувство, появлявшееся у меня во время полетов над Намибией и Австралией. Это впечатление, что я почти вижу в ландшафте узор персидского ковра, оказалось верным. И теперь, когда мне наконец удалось увидеть полученный при реализации модели рисунок, я подумала о том, как сочетание пронизательности Корины и могущества математики открывает нечто новое. В начале XX в. эксцентричный натуралист Эжен Маре (Eugène Marais), наблюдавший за термитами, сказал, что нам нужен «новый алфавит», чтобы понять, какие термиты на самом деле. Возможно, это и есть тот самый алфавит.

Реализация двух моделей привела еще к одному открытию, имеющему более серьезное значение. Изменяя такой параметр, как количество осадков, выпадающих в районе гнезда термитов, Корина обнаружила, что когда растительный покров связан с термитным гнездом, растения могут выжить при очень малом количестве воды, намного меньшем, чем ожидалось. Проще говоря, гнезда термитов сделали ландшафт более засухоустойчивым.

Это наблюдение имеет практическое значение. Узоры в виде лабиринтов и пятен использовались биологами для прогнозирования: считалось, что непосредственно перед тем, как начнется катастрофическое превращение некоторых ландшафтов в пустыню, меняется узор растительного покрова — он становится пятнистым. Такие теоретические модели, появившиеся в середине 2000-х гг., предсказывали, что когда подобные системы в засушливых районах погибают, они не будут высыхать постепенно. Наоборот, лабиринт из растительности сначала сменится узором из пятен, а затем произойдет, по существу, «падение с обрыва» — критический переход, когда ландшафт превратится в пустыню. Восстановление будет практически невозможным.

Однако когда Корина изменила количество осадков в модели, чтобы получить лабиринт из растений, который может предшествовать гибели системы, она обнаружила, что если на участке присутствуют термитные гнезда, то гибель ландшафта происходит очень медленно и напоминает спуск по лестнице, а не падение с обрыва. Это означает, что превращение в пустыню территорий, покрытых холмиками термитников, маловероятно, а если это и произойдет, то, скорее всего, ландшафты смогут восстановиться, когда начнутся дожди. Пока на участке есть термиты, растения сначала будут прорастать на термитных гнездах и затем распространяться в определенной закономерности. Таким образом, помимо обеспечения места обитания для гекконов и пищи для слонов, термиты, по-видимому, повышают «запас прочности» всего участка. Если учитывать, что 40% земной суши приходится на земли в засушливых регионах и изменения климата вызывают перераспределение

осадков, термиты действительно могут спасти планету. По-настоящему. Но только в этом случае.

Модель получилась замечательная, но модель — это не настоящий мир. На следующем этапе команда ученых должна была проверить, согласуются ли прогнозы модели с данными экспериментов на полях Кении. Роб и Корина со своей исследовательской группой надеялись увидеть, изменятся ли узоры растительности, как предсказывает модель, если увеличить поступление влаги в некоторые термитные гнезда и в прилегающие к ним зоны, а также исключить попадание осадков на другие участки. Исследователям было необходимо придумать, как прекратить поступление воды на одни участки и обеспечить избыточное снабжение влагой других. Коллеги Роба и Корины из Принстонского университета Келли Кэйлор (Kelly Caylor) и Адам Вольф (Adam Wolf) выполняли подобные эксперименты в Пайн-Барренс (что означает «Сосновые пустоши»), большой покрытой лесом территории в штате Нью-Джерси, и ученые пригласили меня присоединиться к ним, когда они поедут проверить свои сооружения.

Мы отправились в лес холодным ноябрьским днем, и Пайн-Барренс полностью оправдали свое название: километры высоких темных сосен, поздней осенью выглядевших неопрятно, с относительно чистой почвой вокруг стволов. Под кронами деревьев было темно и еще холоднее. Флисовая куртка от холода не спасала, и я пыталась сохранить тепло, съезжившись.

Чтобы предотвратить попадание осадков на некоторые участки, исследователи построили в лесу аккуратные маленькие укрытия из деревянного бруса размером 5 x 10 см, скрепленного скобами *Home Depot*, тогда как на других участках использовалось дождевание для дополнительного снабжения водой.

Роб Прингл полагал, что слонам придется не по нраву маленькие домики посреди сухой саванны, загораживающие оазис с травой, которая выглядит так аппетитно: «Я думаю, что появление слонов можно отнести к стохастическим рискам, но этих животных будет очень привлекать вода». Роб сомневался, что ученым удастся создать достаточно прочное сооружение, чтобы оно могло выдержать натиск слонов. Кроме того, слоны очень сообразительны. Даже у электрической изгороди есть недостатки. Как сказал Роб, если установить изгородь высотой 2 м, слоны станут играть с ней, просто развлекаясь, но жирафы будут наталкиваться прямо на изгородь, потому что они не обращают на нее внимания. Это было забавно: стоять, дрожа от холода, под кронами темных сосен в Нью-Джерси и рассуждать о невнимательных жирафах.

На обратном пути в Принстон Роб и Корина упомянули, что в неформальных беседах их коллеги интересовались, действительно ли узоры —

результат действий термитов. Роб считал, что некоторый скептицизм выражали ученые, знакомые с самоорганизующимися системами, те, кто думал, что формирование такого крупномасштабного узора подразумевает вмешательство «гения». А некоторые экологи полагали, что если конкуренция среди колоний термитов достаточно сильна, чтобы привести к формированию замысловатого узора, то она же, вероятно, способствует истощению имеющихся ресурсов. «Термиты могут настолько серьезно конкурировать, что создают узоры, и при этом снижать вероятность коллапса экосистемы? Именно эта идея стала камнем преткновения», — прокомментировал Роб.

Во время нашей встречи в Принстоне в начале 2014 г. Корина объяснила, что она со своей командой собирается приступить к работе над созданием более детализированной модели взаимодействия термитов и растительности, с которой можно выступать на решающих обсуждениях механизма формирования узоров: модели возникновения «волшебных кругов». «Волшебные круги» — это округлой формы загадочные участки голой земли, обычно окруженные растительностью, которые обнаруживаются на севере Намибии и в Австралии. На изображениях, полученных с помощью аэрофотосъемки, такие участки выглядят как разделенные равномерными промежутками розоватые слоновьи следы на высохшей земле. Диаметр этих кругов составляет примерно от 3 до 30 м. «Волшебные круги» стали предметом ожесточенных дискуссий между учеными: одни утверждают, что этот узор появляется в результате деятельности термитов, другие — что он формируется растительностью. Несмотря на то что ученые изучают эти узоры с 1970-х гг., интерес к ним повысился в период с 2012 по 2016 г., когда журналы наводнили статьи, в которых образование кругов связывали или с термитами, или с растительностью. Корина Тарнита чувствовала, что, используя более совершенную модель, она сможет доказать, что «волшебные круги» появляются в результате комбинирования механизмов самоорганизации термитов и зависящей от масштаба ответной реакции растений.

Тем не менее разработать такую модель было сложно. «Модель предполагает, что вы знаете правила для всего. Ничего нельзя упустить», — сказала Корина, когда мы беседовали в начале 2015 г. — При создании модели нужно учитывать то, что в другом случае даже не рассматривается». А невдумые термиты без устали трудились в своем подземном черном ящике. Пока команда работала над вычислительными аспектами моделирования, Тарнита погрузилась в изучение литературы о термитах и ежедневно общалась с Хуаном Боначеллой, работавшим в Шотландии. Корина сказала, что эта модель — самая сложная из тех, над которыми ей приходилось работать, и она столкнулась

с рядом противоречий, размышляя о механизме зависящей от масштаба ответной реакции. Идея о том, что растения извлекают пользу, находясь друг от друга на близком расстоянии, имеет смысл, но действительно ли на большом расстоянии, то есть при укрупнении масштаба, рост подавляется в результате конкуренции? Возникает еще один вопрос: каким образом термитам удастся сконцентрировать питательные вещества в пространстве? Конечно, термиты приносят траву в гнездо, но они также переваривают часть питательных веществ, таких как биодоступный азот. Это была большая загадка.

«Для меня это были вовсе не "волшебные круги", — рассказала Корнита. Она желала разобраться, как множественные механизмы узоров могут взаимодействовать на разных уровнях. Как отметила Корина: «Удивительно, что эти маленькие организмы, представляющие собой часть запутанных и сложных экосистем, могут создавать регулярные узоры».

В 2017 г. команда Корины, в том числе Дженнифер Гайтон (Jennifer Guyton), Тайлер Кавердейл (Tyler Coverdale) и Райан Лонг (Ryan Long), опубликовала статью, в которой представила модель, описывающую, как роющие животные, такие как термиты, муравьи и грызуны, могут взаимодействовать с растительностью, создавая разнообразные узоры и конструкции по всей планете. Если сложить площади, занимаемые «земляными термитами» в Африке, Азии и Австралии, и площади участков с похожим рельефом, то есть покрытых земляными холмами, такие как *turundus* (португ. «холмики») в Бразилии, холмы Мима на Тихоокеанском Северо-Западе и хьювелтжи («земляные курганы») в ЮАР, то получается, что десятки тысяч квадратных километров могли быть перестроены из-под земли. И, вероятно, ни один гений не справился бы с этой задачей: по-видимому, за такую колоссальную работу взялись только триллионы маленьких существ.

Теперь, когда я понимаю, какова взаимосвязь между крошечными землекопами и огромными территориями, видимыми с воздуха, мне жаль первых исследователей, которые, наблюдая за гнездами термитов, видели только аналогии с человеческим обществом и подтверждение прав монархов. Первые наблюдатели заглянули внутрь гнезда термитов, но упустили из виду земной эквивалент небесных сфер.

Начав с гнезда термитов, можно представить структуру всего земного шара, или, выражаясь современным языком, переход от «локального» к «глобальному». Первый уровень — это «мир» переполненных пищеварительных трактов термитов, где происходит переработка травы. Следующий уровень — мир термитов, выполняющих работу в своем многоэтажном социальном доме. Третий уровень — мир термитов и выращиваемых

ими грибов, где взаимодействие осуществляется за счет химических сигналов и паров воды. Четвертый уровень, на поверхности земли — мир растений и гекконов. Еще выше — жирафы, рассеянно жующие вкусные листья. С воздуха виден упорядоченный ковер изобилия и сверхизобилия. И, наконец, планета со слоем атмосферы.

Мы, люди, как и жирафы, ничего не знаем о множестве невидимых для нас взаимосвязей между малыми и большими мирами. Мы или рассматриваем такие отношения отвлеченно, или приписываем им черты, характерные для человеческого общества, и при этом оперируем понятными нам терминами: «насекомые-аристократы», «альтруизм», «конкуренция», «родственники», «плохие» и «хорошие». Тем не менее подобные совместные действия миров «разного масштаба», наряду с необходимыми для такого сотрудничества способностями воспринимать сигналы и реагировать на них, и могут быть «строительными кирпичиками» сложных систем.

Какое-то время я мысленно упрекала человечество за неспособность увидеть целую вселенную: неужели у нас нет честолюбия? Но потом я прочла доклад Саймона Левина (Simon Levin), эколога из Принстонского университета, о проблеме масштаба в экологии. Прочитав доклад, я осознала, что мы сами — объекты этого эксперимента, а наше неполное знание — часть того, что делает нас людьми. Саймон Левин сказал, что мир необходимо исследовать в разных масштабах пространства, времени и структуры, ведь не существует одного, «правильного» масштаба. На самом деле масштабы, в которых мы воспринимаем мир, — это результат нашей эволюции как в прошлом, так и в будущем. «Для наблюдателя характерна погрешность восприятия, фильтр, через который он рассматривает систему. Это имеет фундаментальное эволюционное значение, потому что каждый организм — "наблюдатель", и происходящие в течение жизненного цикла адаптации, такие как распространение и спячка, меняют масштабы восприятия видом окружающей среды и ее наблюдаемую изменчивость». Для людей, так же как и для термитов, границы восприятия мира — это основа того, кто мы есть. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

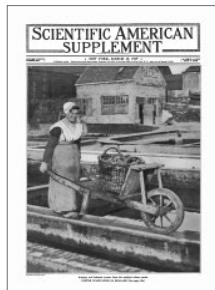
- Прествич Г. Химические средства защиты у термитов // ВМН, № 10, 1983.
- Spatial Pattern Enhances Ecosystem Functioning in an African Savanna. Robert M. Pringle et al. in PLOS Biology, Vol. 8, No. 5, Article e1000377; May 25, 2010.
- Termite Mounds Can Increase the Robustness of Dryland Ecosystems to Climatic Change. Juan A. Bonachela et al. in Science, Vol. 347, pages 651–655; February 6, 2015.



МАРТ 1969

Тепловое загрязнение. Ока­зывается, использование воды рек, озер и устьевых вод в целях промышленного охлаждения в следующие несколько десятилетий в США может стать настолько широко­масштабным, что представит значительную угрозу для рыбы и водных фауны и флоры в целом. Сброс вторичных тепловых ресурсов в естественные водоёмы все чаще называют тепловым загрязнением.

Что взбудоражило экологов — так это девятикратный рост производства электроэнергии, который планируется в предстоящие годы, при увеличении числа больших электростанций, работающих на ядерном топливе. В Британии, где нет больших рек, где водные ресурсы бедны, где высоко ценят водные флору и фауну, самым распространенным искусственным сооружением для отвода вторичного тепла от электростанций были градирни.



МАРТ 1919

Нелюбовь к летнему времени.

Когда нам объявили, что дополнение к Сельскохозяйственному финансовому законопроект имеет цель отменить Акт о переходе на летнее время, мы просто испытали шок. Когда мы узнали, что это неприятие в основном шло от фермеров, наше

изумление выросло еще больше. По правде говоря, они и так встают рано, но ранним утром они заняты рутинной домашней работой. Большую часть полевых работ нельзя начинать, пока не высохнет роса. В прошлом году у фермеров возникли трудности с наемными рабочими, которые настаивали на прекращении работы в соответствии с новым летним временем. И странно, что коровы упорно отказываются идти домой, когда солнце высоко в небе. Однако экономия расходов на освещение действительно имеет место, а результат — экономия угля, что мы не можем игнорировать.

Кинокамера Эйкли. В результате напряженной научной работы в джунглях Африки Карл Эйкли (Carl Ethan Akeley), сотрудник нью-йоркского Музея естественной истории, обнаружил, что кинокамера обычного типа ненадежна и плохо подходит для различного рода

съемок в полевых условиях. Он разработал принцип кинокамер, носящих его имя. Если коротко, камерой Эйкли может пользоваться один человек, в том смысле что оператор может сам носить камеру, кассеты с пленкой, треногу и устанавливать их без посторонней помощи. В камере Эйкли два объектива — один для пленки, а другой в качестве видоискателя. Такая конструкция позволяет наблюдать картинку на расположенном справа сверху матовом стекле и одновременно вести съемку. Таким образом, оператор всегда может видеть, в фокусе ли его объект, — более того, он все время видит ровно то же самое, что снимается на пленку. Не может быть никакого сомнения, что для съемки быстро движущихся объектов, таких как моторные лодки (на илл.), самолеты, спортсмены и тому подобное, камера Эйкли — это как раз то, что надо.



МАРТ 1869

Панамский канал. Достопочтенный Калев Кушинг (Caleb Cushing) вернулся из столицы Колумбии, самой северной из южноамериканских республик, куда он был послан Государственным департаментом США, и проект договора о правах на маршрут судоходного канала через Дарьенский перешеек или Панаму, который он согласовывал там, сейчас находится в Сенате для ратификации. Планы соединить два океана, прокопав перемычку, которая, как сиамских близнецов, соединяет два великих западных континента и разделяет два великих океана, существовали давно. В 1843 г. французское правительство послало месье Наполеона Гареллу (Napoléon Garella) и Жака де Куртина (Jacques de Courtines) провести изыскания. Они высказали предложение в пользу

строительства канала, проходящего под водораздельной грядой Ахога Йегуа через туннель длиной 2,25 км. С катастрофической экспедицией лейтенанта Айзека Стрейна (Isaac Grier Strain) [ВМС США, 1854 г.] большинство наших читателей знакомы. Железнодорожный туннель шириной всего 6 м построить можно, но туннель, приспособленный для прохода судов, — это задача, от которой даже современные инженеры, вероятно, придут в ужас. Тем не менее проект канала готов — и при этом без туннелей.

Примечание: Панамский канал был открыт лишь в 1914 г.



Новая скоростная кинокамера Эйкли в работе, 1919 г.

Senior Vice President and Editor in Chief:	Mariette DiChristina	Contributing editors:	David Biello, W. Wayt Gibbs, Ferris Jabr, Anna Kuchment, Robin Lloyd, George Musser, Christie Nicholson, John Rennie
Executive Editor:	Fred Guterl	Art Contributors:	Edward Bell, Bryan Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins
Design Director:	Michael Mruk	Art director:	Jason Mischka
Managing Editor:	Ricki L. Rusting	Senior Graphics Editor:	Jen Christiansen
Digital Content Manager:	Curtis Brainard	President:	Dean Sanderson
News Editor:	Dean Visser	Executive Vice President:	Michael Florek
Opinion Editor:	Michael D. Lemonick	Executive Vice President,	
Senior Editors:	Eliene Augenbraun, Christine Gorman, Steve Mirsky, Clara Moskowitz, Debbie Ponchner, Claudia Wallis, Kate Wong,	Global Advertising and Sponsorship:	Jack Laschever
Associate Editors:	Sunya Bhutta, Lee Billings, Andrea Gawrylewsk, Larry Greenemeier, Dina Fine Maron, Annie Sneed, Amber Williams	Publisher and Vice President:	Jeremy A. Abbate
		© 2019 by Scientific American, Inc.	

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

в почтовых отделениях по каталогам:

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

по РФ и странам СНГ:

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

Читайте в следующем номере

Экзопланета по соседству

Возможно, анализ эволюции Венеры что-то расскажет нам обо многих подобных ей планетах, находящихся далеко за пределами Солнечной системы.

Антарктида исчезает?

Быстрое отступление ледников может привести к погружению береговой линии под воду раньше, чем предполагалось.

Хранители народа тигра

Пока антропологи обсуждают, как лучше всего защитить племена, с которыми отсутствуют контакты, группы коренного населения Колумбии работают над тем, чтобы оградить своих изолированных соседей от наступления современности.

Знать в лицо

Изучение областей мозга, участвующих в распознавании лиц, поможет нам лучше разобраться в нейронных механизмах зрения.

Цветы-призраки

Гены гавайских растений, вымерших более века назад, были возвращены из небытия — и сегодня мы можем почувствовать их запах.

Реконструкция реки Колорадо

Способны ли плотины, имитирующие естественные потоки, восстановить экосистему Гранд-Каньона?





ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>

