

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sci-ru.org

№8-9 2015

12+

КАК ЧЕЛОВЕК ПОКОРИЛ ЗЕМЛЮ

В процессе эволюции люди овладели
самым грозным оружием: кооперацией

ЖУРНАЛУ

SCIENTIFIC
AMERICAN

170
лет

СПЕЦВЫПУСК:

«РОСАТОМ»
70 ЛЕТ



Главные темы номера

In memoriam

В МИРЕ НАУКИ

В дни памяти **Сергея Петровича Капицы** — его воспоминания о том, как в СССР начал издаваться журнал «В мире науки», русскоязычная версия Scientific American, отмечающего в этом году 170-летний юбилей



Эволюция

САМЫЙ ИНВАЗИВНЫЙ ВИД НА ЗЕМЛЕ

Кертис Мэрин

На протяжении эволюционной истории на нашей планете обитало немало видов рода Ното, но лишь один из них смог заселить всю Землю

Физика

НОВЫЙ ДИРЕКТОР ФИАН — ПРЕЖНЯЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОСТЬ

Михаил Петров

Новоизбранный директор Физического института им. П.Н. Лебедева РАН член-корреспондент РАН **Николай Колачевский** — о своих планах на ответственном посту

Нейробиология

ДИВНЫЙ ЮНЫЙ МОЗГ

Джей Гидд

Мозг подростка созревает неравномерно, отсюда как рискованное поведение, так и беспрецедентная гибкость мышления

4

Этология

СОЦИАЛЬНОЕ ЖИВОТНОЕ

Ли Алан Дугаткин и Мэтью Хасенъягер

У многих видов животных дружеские отношения между отдельными особями влияют на поведение

Медицина

КЛЕТКИ В ОГНЕ

Ваджахат Мехал

6

Обнаружение клеточных структур, запускающих любые воспалительные процессы, может привести к революции в борьбе с самыми разными болезнями

Здравоохранение

КАК ОДОЛЕТЬ ДЕНГЕ

Скотт О'Нил

16

Чтобы комары не переносили заболевания, ученые заражают их бактериями

НЕЗДОРОВАЯ АРКТИКА

Кристофер Соломон

Северные области Земли становятся все теплее, а их обитатели — от овцебыков до жителей растущих городов — болеют все чаще

24



СОДЕРЖАНИЕ

Август / Сентябрь 2015

Психология

МУЗЫКА ДЛЯ ТЕЛА И ДУШИ

32

Елена Бернард

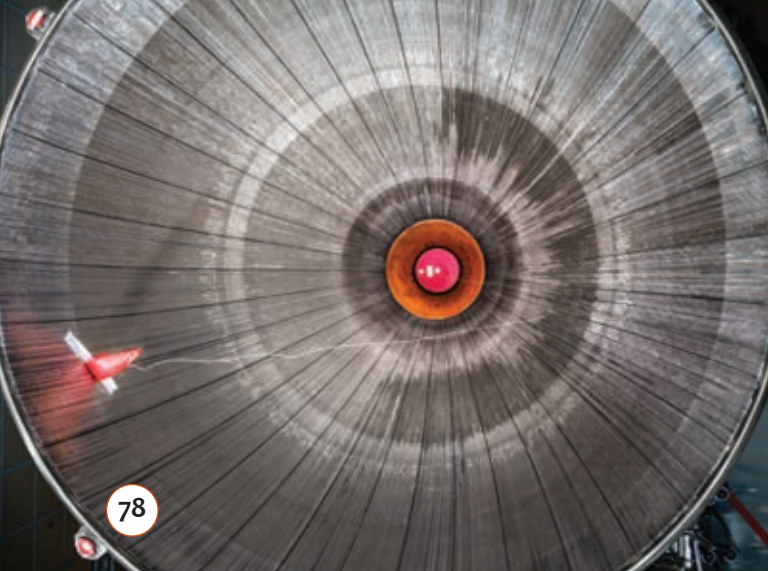
Пение объединяет людей и помогает облегчить недомогание. Нейробиологи и психологи исследуют корни этого феномена

38

46

54

62



78

Астрономия

ВСЬ СВЕТ ВО ВСЕЛЕННОЙ

70

Труди Белл, Альберто Домингес и Джоэл Примак

Астрономы начинают разбираться в информации, которую несет фоновый межгалактический свет

Техника

РОЖДЕНИЕ РАКЕТЫ

78

Дэвид Фридман

«Система космических запусков» NASA — летающий кусок казенного пирога или уникальный шанс доставить людей в далекий космос?

БОЛИД НА АККУМУЛЯТОРАХ

90

Грегори Моун

Группа студентов планирует превзойти рекорд скорости автомобилей с бензиновыми двигателями на электромобиле



Математика

КАТАЛОГ ВСЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

98

Стивен Орнс

Прежде чем уйти из жизни, стареющие математики спешно пытаются сохранить все 15 тыс. страниц доказательства грандиозной теоремы

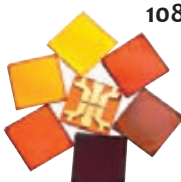
Энергетика

ЛУЧШЕ КРЕМНИЯ

108

Варун Сиварам, Генри Снэйт и Сэмюел Стрэнкс

Новомодный минерал перовскит может позволить создавать солнечные элементы дешевле и эффективнее кремниевых



146

Биология

ЖИЗНЬ У ВРАТ АДА

116

Дуглас Фокс

Как выяснилось, жизнь может существовать в самых экстремальных местах на Земле, а возможно, даже на других планетах

Здоровье мозга

ТО, ЧТО НАС НЕ УБИВАЕТ...

126

Марк Мэттсон

Вещества, выделяемые растениями для борьбы с вредителями, могут защищать наш мозг от некоторых серьезных заболеваний

Окружающая среда

ПАРНИКОВАЯ ТРЯСИНА

134

Дэвид Биелло

Возможно, судьбу разработок битуминозных песков Альберты, а заодно и климата нашей планеты решит нефтепровод Keystone XL

Криминалистика

ТАЙНА ДЕЛА № 0425

146

Ананда Роуз

Ученые идентифицируют останки погибших при переходе границы между Мексикой и США мигрантов, чьи имена могли бы навсегда остаться утерянными

ИНСУЛЬТ ИЛИ ПОЛОНИЙ?

154

Владимир Губарев

Российские ученые раскрыли тайну смерти палестинского лидера Ясира Арафата



Разделы

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

61, 145

Науки о здоровье

142

Книжное обозрение

158

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN **В мире науки**

Основатель и первый главный редактор журнала «В мире науки / Scientific American», профессор СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ КАПИЦА

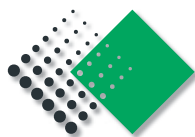


НАШИ ПАРТНЕРЫ:



Сибирское отделение РАН

PETER



SERVICE



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ

о ч е в и д н о е



н е в е р о я т н о е

Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортос

Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

Заместитель главного редактора:

А.Ю. Мостинская

Зав. отделом естественных наук:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских исследований:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, Ф.С. Капица, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

член-корреспондент РАН

Н.Н. Колачевский; академик РАН Г.А. Месяц

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, С.В. Гогин,

Т.М. Колядич, А.П. Кузнецов, Е.С. Новоселова,

М.М. Петров, А.И. Прокопенко, И.Е. Сацевич, В.И. Сидорова,

В.Э. Скворцов, Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

Верстка:

А.Р. Гукасян

Дизайнер:

Я.В. Крутий

Корректурa:

Я.Т. Лебедева

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

В.Е. Фортос

Заместитель директора

НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Е.Р. Мещерякова

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

Отпечатано: в АО «ПК «ЭКСТРА М», 143405, Московская область, Красногорский р-н, г. Красногорск, автодорога «Балтия», 23-й км, владение 1, д. 1
Заказ №8-9 15-07-00342

© **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.

Нам 170 лет!

ОТ РЕДАКЦИИ

28 августа 1845 г. в Соединенных Штатах Америки появилось еженедельное издание с искусно выполненными иллюстрациями — журнал *Scientific American*, в котором рассказывалось о современных технических достижениях. Это были времена промышленной революции, благодаря которой на территории нашей молодой страны повсюду возникало производство, основанное на инновациях.

Учредитель и издатель журнала — изобретатель и художник-пейзажист Руфус Портер (Rufus Porter) — обещал публиковать содержательные статьи, информирующие о новых изобретениях, научных открытиях, интересных работах, а также новости об «успехах механики и иных наук» и прочих достижениях человеческого разума.

Сегодня *Scientific American* — это журнал с самым продолжительным в США сроком непрерывной публикации, флагманское издание, выходящее на 15 языках (еще на восьми языках издается родственный ему журнал *Scientific American Mind*), со всеми современными приложениями: сайтом с ежедневными новостями, блогами, прикладными программами, информационными бюллетенями, информацией о книгах, сериями учебников издательства *Macmillan Higher Education*, электронными книгами, хроникой событий и др.

Журнал развивается вместе со страной, фиксируя на своих страницах научные достижения и технические инновации, которые улучшают жизнь людей и способствуют росту экономики.

С августа этого года мы начинаем отмечать наш 170-летний юбилей серией мероприятий, которые будут продолжаться до конца года.

Приглашаем вас участвовать в них. Следите за новостями.

Читателей журнала *Scientific American* отличают пытливым ум и стремление учиться всю жизнь. Я очень надеюсь, что, как было написано в прелестной редакционной статье 1911 г., мы сможем и дальше вдохновлять наших читателей и помогать им воспринимать «присущее науке очарование».

Мариэтт Ду Кристина,
главный редактор журнала *Scientific American*



Дерзайте, радуйте, удивляйте!

В этом году журнал *Scientific American* отмечает 170-летний юбилей. Мы поздравляем издателей этого старейшего, самого известного и уважаемого научно-популярного журнала и желаем ему и дальше держать столь высокую планку, продолжать радовать читателей умными, содержательными материалами, интересными новостями, свежими и яркими идеями.

Считаем себя причастными к этому важному событию, ведь «В мире науки» — русскоязычная версия журнала *Scientific American*, выходящая в нашей стране уже 32 года.

Первый номер увидел свет в январе 1983 г. Журнал сразу стал популярным и востребованным. И здесь я в очередной раз хочу сказать об удивительной интуиции Сергея Петровича Капицы, который уловил в нашем обществе острую потребность в таком журнале и стал инициатором его перевода на русский язык и первым главным редактором. Именно он сформировал политику

и идеологию нашего журнала, был его душой, идейным вдохновителем и мотором все эти 30 лет. Мы стараемся следовать заложенным Сергеем Петровичем принципам, продолжая его дело.

Сергея Петровича Капицы не стало 14 августа 2012 г. Мы решили в память о нем опубликовать в этом номере небольшой фрагмент из его книги «Мои воспоминания», в котором он рассказывает об истории журнала «В мире науки / *Scientific American*».



Владимир Фортвов,
президент РАН, главный редактор журнала
«В мире науки / *Scientific American*»

В МИРЕ НАУКИ

(Из книги Сергея Капицы «Мои воспоминания»)



Три года назад 14 августа ушел из жизни Сергей Петрович Капица — ученый, просветитель, ведущий легендарной программы «Очевидное — невероятное», первый главный редактор журнала «В мире науки / Scientific American».

В память о нашем учителе и друге публикуем фрагмент из его книги «Мои воспоминания»

Для того чтобы начать рассказ о журнале «В мире науки», необходимо вернуться назад и вспомнить историю возникновения ведущего научно-популярного журнала *Scientific American*. Этим мы обязаны замечательному человеку Джеральду Пилу¹. Отец его был из немцев, держал в Нью-Йорке пивоварню. Он дал сыну хорошее образование, тот учился в Гарварде, где ментором его был Питирим Сорокин, один из основателей современной социологии. Сорокина в свое время изгнали из России на знаменитом «философском пароходе», и впоследствии он стал профессором Гарварда. Благодаря его влиянию Пил еще с институтских

лет интересовался идеями социализма и Россией. Когда Пил окончил Гарвард, началась Вторая мировая война и его откомандировали работать в издательском доме *Time Life*. В то время им руководил знаменитый американский журналист Генри Люс, который создал новый журнальный стиль — иллюстрированное издание, и этот стиль стал главным методом пропаганды американцев во время войны. Пилу поручили отдел науки и техники. Он сказал, что ничего не понимает в науке и технике! «Вот и хорошо, — ответил Люс, — наши читатели еще меньше в этом понимают». И Пил стал заведовать отделом науки.

Это был человек необычайной интуиции. Так, начав заниматься наукой, он очень скоро нюхом журналиста понял, что идет работа над атомным проектом. Его вызвали куда надо и сказали, чтобы он не совался, и тут он убедился, что действительно происходит нечто очень важное, но нос не совал.

После войны Пилу стало ясно, что пора издавать отдельный научно-популярный журнал. В Америке с середины XIX в. существовал журнал *Scientific American*, но к этому времени он пришел в упадок. Собрав по друзьям и знакомым деньги, Пил приобрел права на этот журнал и стал его главным редактором. Чтобы возродить журнал, он использовал приемы современной журналистики, где мощный поток изобразительного материала подается иллюстрациями, текст идет от первого лица ученых и так дается картина современной науки. Результат оказался блестящим. Журнал стал, по существу, знаменем мировой науки; 40 нобелевских лауреатов первоначально публиковались именно в нем — не в специальном научном издании, а в этом, популярном. В 1962 г. за популяризацию науки Пил получил премию Калинги.

Не будучи ученым, Пил обладал поразительным чутьем, которое ему никогда не изменяло. Он точно понимал, что надо печатать, а что — не надо. Пил много раз приезжал в Советский Союз, интересовался нашей наукой, заказывал нашим ученым статьи; тогда за статью платили до тысячи долларов, большие деньги по тем временам. Журнал издавался на нескольких языках — немецком, французском, итальянском... Очень хотелось сделать и русское издание, но наши идеологи были против. Журнал, правда, фотокопировался в урезанном виде: многие статьи изымались, вместо цветных иллюстраций — маленькие черно-белые фотографии...

Джермен Гвишиани², который очень хорошо понимал важность научной и технической информации, начал добиваться того, чтобы появилось полноценное русское издание. Были длительные переговоры, и вдруг как-то меня вызвали к Гвишиани и предложили возглавить журнал. Я согласился. К этому времени я уже был знаком с Пилом, он бывал в Институте физических проблем, и мы стали очень серьезно взаимодействовать. Журнал называли «В мире науки». Французское издание называется *Pour la science*, «За науку», немецкое — *Spektrum der Wissenschaft*, «Спектр наук», но на всех, так же как и у нас, указано, что это перевод *Scientific American*.

Редакцию организовали в издательстве «Мир». Моим заместителем стала Лидия Васильевна



Джерард Пил (1915–2004), издатель *Scientific American* с 1947 г.

Шепелева, до этого работавшая в Госкомиздате. Во многом благодаря ее опыту, связи и энергии мы быстро сформировали коллектив, нашли переводчиков и редакторов, а современным оформлением журнал обязан Максиму Жукову. Нам удалось наладить выпуск русской версии журнала через три месяца после выхода английского издания. Пил во всем нам помогал. Тогда в Советском Союзе не было скоростной почты, фотографии и пленки нам присылали через летчиков «Аэрофлота». Тексты статей мы получали до выхода американского оригинала и могли заблаговременно готовить переводы. У нас было право не публиковать статьи чисто американского толка и вставлять достойные русские материалы. Например, рассказывали про Янина³ и его раскопки Новгорода, про работы Вячеслава Иванова⁴ в области лингвистики, про бурение сверхглубокой скважины...

¹ **Пил Джерард (Gerard Piel)** (1915–2004), издатель *Scientific American* с 1947 г. Президент Американской ассоциации продвижения науки (с 1985 г.).

² **Гвишиани Джермен Михайлович** (р. 1928), российский философ и социолог, академик РАН (1991), академик АН СССР (1979). Основные труды по проблемам управления, социальной организации, философским основам системных исследований.

³ **Янин Валентин Лаврентьевич** (р. 1929), академик, заведующий кафедрой археологии исторического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

⁴ **Иванов Вячеслав Всеволодович** (р. 1929), академик РАН, российский филолог, переводчик, доктор филологических наук. Работы по индоевропейскому, славянскому, общему языкознанию, по фольклору и мифологии славян.



ЭВОЛЮЦИЯ

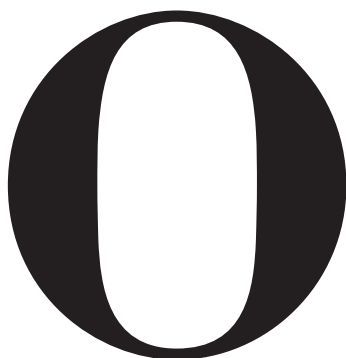
САМЫЙ ИНВАЗИВ- НЫЙ И ВИД НА ЗЕМЛЕ

На протяжении эволюционной истории на нашей планете обитало немало видов рода Ното, но лишь один из них смог заселить всю Землю. Недавно появилась новая гипотеза, объясняющая этот феномен

Кертис Мэрин

ОБ АВТОРЕ

Кертис Мэрин (Curtis W. Marean) — профессор государственного Университета штата Аризона (кафедра эволюции человека и социальной среды) и заместитель директора Института проблем происхождения человека при том же университете, почетный профессор Центрального университета им. Нельсона Манделы в ЮАР. Главные темы его изысканий — происхождение современных людей и история освоения прибрежных экосистем. Исследование Мэрина финансируется Национальным научным фондом США и Фондом семьи Гайд.



Около 70 тыс. лет назад наш вид, *Homo sapiens*, покинул Африку, чтобы начать свое неумолимое шествие по Земле. К тому времени другие виды древнего человека уже прижились в Европе и Азии, но только нашим предкам удалось в конечном счете обосноваться на всех основных континентах мира и многочисленных островах и архипелагах. Примечательно, что расселение это сопровождалось процессами, не известными при экспансии других биологических видов. Куда бы ни приходил *Homo sapiens*, вместе с ним являлись крупномасштабные экологические изменения. Столкнувшись с нашими предками, вымерли все остальные древние люди; их судьбу разделило огромное число других животных. Без сомнения, в истории нашей планеты никогда не происходило миграций, повлекших за собой столь драматические последствия.

В течение долгого времени палеоантропологи спорят о том, как и почему предки современных людей отважились на этот беспримерный подвиг, обеспечивший им глобальное доминирование на планете. Некоторые ученые считают, что именно развитие более крупного и сложно устроенного мозга позволило человеку разумному покорять новые земли и справиться с поджидавшими его там новыми неведомыми опасностями. Другие утверждают, что выходу нашего вида из Африки способствовало освоение новых орудийных технологий и способов охоты, которые позволили древним людям надежно защищаться от врагов и убивать добычу с невиданной прежде эффективностью. Третий сценарий предполагает, что глобальные изменения климата на Земле привели к ослаблению

экологических позиций неандертальцев и других архаичных видов человека, населявших территории вне Африки, и это дало шанс нашим предкам захватить ареалы родственных им древних гоминидов. К сожалению, ни одна из этих гипотез так и не смогла стать всеобъемлющей теорией, которая в полной мере объясняла бы невероятный биологический успех нашего вида. Исторически эти теории выдвигались в основном для объяснения всплесков активности *H. sapiens* в отдельных регионах планеты, в частности в Западной Европе. Слишком узкоспециализированный подход к изучению колонизации Земли современными людьми уводил ученых в сторону от понимания комплексного характера данной проблемы. Хотя миграция человека разумного и проходила в несколько этапов, она все же представляла собой единое грандиозное событие и, следовательно, должна исследоваться во всей своей полноте.

На протяжении последних 16 лет я занимался раскопками в месте, называемом Пиннакл-Пойнт, на южном побережье ЮАР. Полученные мною данные вкупе с новейшими теоретическими достижениями в области биологических и социальных наук натолкнули меня на мысль о еще одном вероятном сценарии покорения мира древними людьми. Согласно моему предположению, миграция стала возможной тогда, когда у нашего вида получил развитие и генетически закрепился новый

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Из всех видов людей, когда-либо живших на Земле, только *Homo sapiens* сумел заселить нашу планету целиком.
- Для ученых долгое время оставалось загадкой, как именно нашим предкам удалось осуществить эту глобальную экспансию.
- Согласно новой гипотезе, основу мирового господства *H. sapiens* заложили две уникальные человеческие черты: генетически закрепившаяся способность к сотрудничеству с неродственными индивидами и изобретение высокоэффективного метательного оружия.

тип социального поведения, а именно способность человеческих индивидов кооперироваться с особями, не состоящими с ними в близком родстве. Эта уникальная черта наших предков в сочетании с высокими когнитивными способностями позволяла им быстро адаптироваться к любым новым и неожиданным условиям. Она содействовала также быстрому прогрессу в быту и технологии, приведя, в частности, к изобретению качественно поражающего на большом расстоянии. Экипированные всем этим, наши предки покинули Африку в полной готовности подчинить мир своей воле.

Страсть к покорению пространства

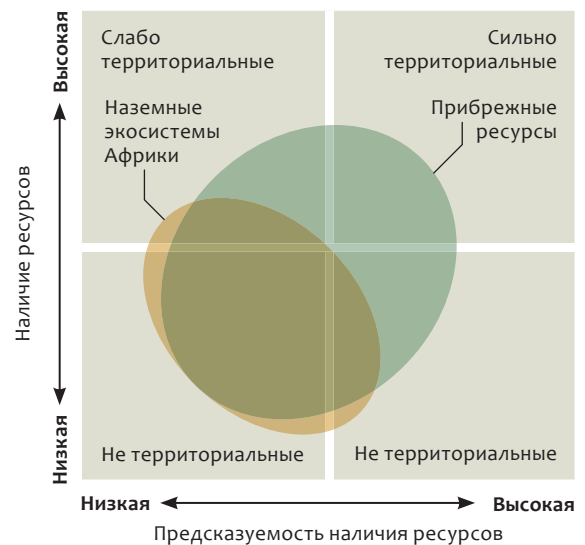
Чтобы оценить, насколько выдающимся событием оказалась колонизация планеты человеком разумным, вернемся примерно на 200 тыс. лет назад, ко времени зарождения нашего вида в Африке. На протяжении десятков тысяч лет вполне современные по внешнему виду и анатомическому строению люди — они выглядели как любой из нас — вообще не покидали пределов их родного континента. Лишь около 100 тыс. лет назад одна-единственная группа *H. sapiens* совершила кратковременную вылазку на Ближний Восток, но продвинуться дальше, по-видимому, не смогла. В то время, очевидно, люди еще не располагали всеми необходимыми для такого путешествия возможностями. Позже, около 70 тыс. лет назад, еще одна небольшая группа наших предков покинула Африку и начала уже более успешный поход к новым землям. Во время своего расселения по Евразии они столкнулись с другими, близко родственными им, но более архаичными видами человека — неандертальцами в Западной Европе и представителями недавно обнаруженного денисовского человека в Азии. Вскоре после вторжения современных людей оба эти вида вымерли, хотя в результате периодического скрещивания между различными предковыми племенами их генетический материал частично сохранился в нашем геноме и по сей день.

Когда современный человек достиг берегов Юго-Восточной Азии, он впервые столкнулся с океаном, казавшимся тогда безграничным и непреодолимым. И все же наши предки бесстрашно двинулись дальше! Подобно нам, эти люди обладали силой воображения, желанием познания и покорения новых земель, и поэтому построили суда, способные преодолеть океан, пустились вплавь через водную пустыню и около 45 тыс. лет назад достигли берегов Австралии. Будучи единственным человеческим видом, попавшим в эту часть мира, *H. sapiens* быстро заполнил континент, прокладывая себе дорогу копьем и огнем. В результате этого вымерло множество крупных и весьма необычных

Теория

ЗА ЧТО СТОИТ СРАЖАТЬСЯ

Классическая теория утверждает, что естественный отбор будет благоприятствовать агрессивному поведению животных для защиты своей территории и пищевых ресурсов в тех случаях, когда выгода от исключительно доступных к этим ресурсам перевешивает затраты на их охрану. В случае людей, живущих небольшими группами, территориальное поведение окупается только тогда, когда сами ресурсы расположены компактно и предсказуемо. Такие источники пищи имеются в некоторых прибрежных районах Африки — это, например, скопления колоний моллюсков. Подобные условия, вероятно, и спровоцировали развитие территориальности у групп древних *H. sapiens*.



существов, составлявших мегафауну сумчатых млекопитающих, которые доминировали в Австралии до появления человека. Еще через 5 тыс. лет первые австралийцы отыскали и пересекли сухопутный мост, связывающий Австралию с Тасманией, и только суровые воды южных океанов преградили им путь в Антарктиду.

По другую сторону экватора *H. sapiens* мигрировал на северо-восток, проник в Сибирь и расселился по приполярным землям. Льды, покрывающие землю и море, некоторое время не давали людям добраться до Нового Света. Вопрос о том, когда именно они сумели достигнуть Северной и Южной Америки, до сих пор вызывает ожесточенные научные споры, но в одном все исследователи сходятся: примерно 14 тыс. лет назад наши предки преодолели последние барьеры и проникли на континенты, чья природа никогда не сталкивалась прежде с разумным видом-охотником. Всего за несколько тысяч лет человек уже достиг крайней оконечности Южной Америки. Эти новые достижения обернулись массовым вымиранием животных, обитавших в Новом Свете еще со времен ледникового периода, таких как мастодонты и гигантские ленивцы.

SOURCE: CURTIS W. MAREAN, AFTER "HUMAN TERRITORIALITY: AN ECOLOGICAL REASSESSMENT," BY RADA DYSON-HUDSON AND ERIC ALDEN SMITH, IN AMERICAN ANTHROPOLOGIST, VOL. 86, NO. 1, MARCH 1986; GRAPHIC BY JEN CHRISTENSEN

Мадагаскар и многие тихоокеанские острова остались непокоренными человеком еще около 10 тыс. лет, но, приложив новые усилия, древние мореплаватели обнаружили и колонизировали почти все эти клочки суши. Как и другие места, где *H. sapiens* проявил себя как охотник и собиратель, эти острова ощутили на себе все тяготы человеческого вмешательства: выжигание лесов и степей, истребление животных и изменение всей среды обитания ради процветания только одного вида. Разве что Антарктида, сплошь покрытая снегом и льдами, избежала колонизации вплоть до индустриальной эпохи.

Преимущества командной игры

И все-таки: как же людям удалось это сделать? Почему после десятков тысяч лет добровольного заточения в пределах одного континента наши предки вдруг совершили настоящий прорыв и завладели не только регионами, уже колонизированными более древними видами людей, но и всем миром? Любая конструктивная теория, объясняющая этот процесс, должна решить сразу две проблемы. Во-первых, почему процесс расселения начался в некое определенное время, а не раньше. Во-вторых, нужно предложить механизм быстрого распространения человека по суше и через море, включая способность эффективно адаптироваться к новым условиям и вытеснять более архаичные виды из занятых ими экологических ниш. Я считаю, что в основе сценария лежит появление у наших предков одних и тех же новых черт, которые сделали из нас, с одной стороны, прекрасных союзников, а с другой — беспощадных конкурентов, и это лучше всего объясняет внезапный взлет человечества к вершине мирового господства. Итак, люди современного типа приобрели эти качества, а неандертальцы и другие наши вымершие «двоюродные братья», очевидно, ими не обладали. Именно эти черты, по моему мнению, стали последним крупным дополнением к набору характеристик, которые составляют то, что антрополог Ким Хилл (Kim Hill) из Университета штата Аризона назвал «природой человеческой уникальности».

Современные люди в чрезвычайной степени склонны к сотрудничеству друг с другом. Мы вовлечены во множество очень сложно скоординированных групповых взаимодействий с людьми, которые не связаны с нами родственными узами или даже вовсе нам не знакомы. Возьмем, например, ситуацию, описанную в 2009 г. антропологом Сарой Блаффер Хрди (Sarah Blaffer Hrdy) из Калифорнийского университета в Дэвисе в ее книге «Матери и другие» (*Mothers and Others*). Представьте себе две сотни шимпанзе, которые дружно садятся в самолет, сидят почти неподвижно в течение нескольких часов, а потом, как по команде, покидают его стройными рядами. В реальности такая ситуация невозможна: обезьяны бы просто сцепились

друг с другом и дрались без перерыва. Этот мысленный эксперимент помогает лучше понять позитивную сторону человеческого сотрудничества. Но эта наша способность — палка о двух концах. Если представители вида способны дружно броситься на защиту еще одной особи, пусть и никому не знакомой, они так же без колебаний будут объединяться друг с другом ради войны с конкурентами и безжалостно истребят последних. Многие мои коллеги, как и я сам, считают, что эта склонность к сотрудничеству — то, что я называю гиперобщительностью, — не современная черта, недавно приобретенная людьми, а, напротив, один из генетически обусловленных признаков, характерных уже для древнего *H. sapiens*. Хотя многие другие животные демонстрируют определенные намеки на данный тип поведения, черты, которыми обладают современные люди, — совершенно иные по своей сути.

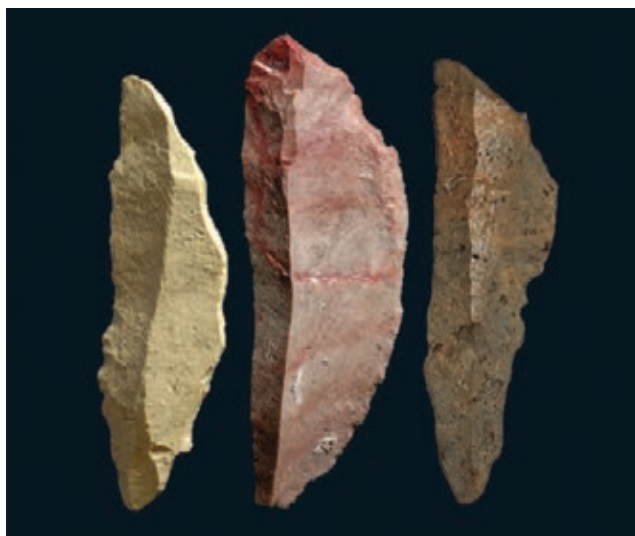
Непросто ответить на вопрос, как именно у нас возникла генетически закрепленная склонность к активному сотрудничеству. Однако с помощью метода математического моделирования социальной эволюции мы получили некоторые объяснения этому феномену. Сэм Боуэлз (Sam Bowles), экономист из Института Санта-Фе, показал, что регулярные конфликты между группами особей, как ни парадоксально это звучит, — оптимальное условие, при котором «ген гиперобщительности» может закрепляться в популяции. Группы, имеющие большее число гиперсоциальных участников, более эффективно работают как единое целое, вытесняя таким образом другие группы и передавая гены своего поведения следующему поколению, что, соответственно, способствует распространению этой необычной аллели. В дополнение к вышеизложенному исследование биолога Пита Ричерсона (Pete Richerson) из Калифорнийского Университета в Дэвисе и антрополога Роба Бойда (Rob Boyd) из Университета штата Аризона указывают на то, что гиперсоциальное поведение имеет наилучшие шансы распространиться, если оно возникает на субпопуляционном уровне при интенсивно развивающейся межгрупповой конкуренции. Иными словами, исходная популяция должна быть небольшого размера — такими и были в Африке те *H. sapiens*, от которых непосредственно произошли все современные люди.

Современные охотники-собиратели, как правило, живут в группах численностью около 25 человек, заключают браки за пределами группы и объединяются в племена, которые связаны брачными узами, обменом дарами, общими языком и традициями. Кроме того, они иногда сражаются с другими племенами, подвергая при этом свое существование немалой опасности. Возникает резонный вопрос: что провоцирует мирных людей на столь рискованные действия?

Ради чего стоит воевать? Ответ на этот вопрос дает классическая теория «экономической обо-

роноспособности», выдвинутая в 1964 г. Джеррамом Брауном (Jeram Brown), работавшим в Университете Олбани. Изначально она была призвана объяснить различия в агрессивности среди птиц. Браун утверждал, что агрессивные действия всегда преследуют определенные цели, достижение которых увеличивает шансы вида или популяции на выживание и размножение. Естественный отбор будет благоприятствовать агрессии ровно до тех пор, пока она способствует достижению этих целей. Например, все организмы имеют потребность в пище и, следовательно, в защите кормовой базы. Поэтому агрессивное поведение может поддерживаться естественным отбором, если оно помогает виду лучше использовать пищевые ресурсы. Если же пищевые ресурсы принципиально невозможно защитить или же это требует чрезмерных затрат, агрессивное поведение элиминируется из популяции.

В классической работе 1978 г. Рада Дайсон-Хадсон (Rada Dyson-Hudson) и Эрик Олден Смит (Eric Alden Smith), работавшие тогда в Корнеллском университете, применили теорию «экономической обороноспособности» к небольшим группам аборигенных человеческих племен. Их исследования показали, что защита ресурсов имеет смысл тогда, когда сами ресурсы расположены компактно и предсказуемо. Я хотел бы добавить к этому, что ресурсы должны быть для организма действительно важны, — ни один организм не будет защищать ресурс, который ему не нужен. Данный принцип актуален и в современном мире: нации и государства чаще всего вступают в ожесточенные конфликты за контроль над уже разведанными ценными ресурсами, сосредоточенными на определенной территории, такими как нефть, вода или плодородные сельскохозяйственные угодья. Необходима важная оговорка по поводу применимости данной теории в прошлом: ресурсы, борьба за которые способствовала бы усилению межгрупповых конфликтов и, соответственно, созданию союзов против врага, не были в древней Африке повсеместно распространенными. Войны могли быть только в тех регионах, где распределение таких ресурсов было компактным, а поиск их — сравнительно легким. Но в современной Африке они по большей части редки, непредсказуемы и пространственно рассредоточены — вот почему большинство изучаемых этнографами сообществ современных охотников и собирателей обычно не тратят много времени и энергии на защиту своих земель. Однако есть и исключения: в некоторых прибрежных районах встречаются территории со стабильно высокой концентрацией ценных пищевых ресурсов — это скопления колоний морских моллюсков. И как раз среди групп охотников-собирателей, которые использовали эти ресурсы, например, на Тихоокеанском побережье Северной



Мелкие каменные лезвия (микрولиты), найденные в Пиннакл-Пойнт в ЮАР (вверху) показывают, что люди изобрели метательное оружие уже 71 тыс. лет назад. Они прикрепляли микрولиты к деревянным древкам, получая таким образом стрелы или дротики (внизу, реконструкция).

Америки, наблюдались, согласно этнографическим и археологическим свидетельствам, самые высокие уровни конфликтов.

Когда же основой человеческого рациона впервые стали такие виды пищи, наличие которых на компактных территориях легко предсказуемо? Миллионы лет наши древние предки питались наземными растениями, сухопутными животными и — реже — обитателями внутренних пресных водоемов. Источники этой пищи рассредоточены на обширных территориях, и наличие их в конкретном месте обычно почти непредсказуемо. По этой причине наши предки долго жили рассеянными группами, которые постоянно перемещались в поисках еды. Но со временем человеку становились доступны все более сложные

представления об окружающем мире, и, наконец, члены одной из групп осознали, что можно осесть жить на морском побережье, питаясь в основном моллюсками. Раскопки, проводимые моей научной группой в Пиннакл-Пойнт, свидетельствуют о том, что данный этап начался около 160 тыс. лет назад на южном побережье Африки. Там впервые в истории человечества люди перешли к использованию компактно расположенных, хорошо предсказуемых и очень питательных ресурсов белковой пищи. Отсюда и началась история, повлекшая за собой огромные перемены в человеческом обществе.

Генетические и археологические данные показывают, что вскоре после возникновения *H. sapiens* его популяции стали быстро уменьшаться в численности. Это, вероятно, было связано с глобальным похолоданием, которое длилось на протяжении времени 195–125 тыс. лет назад. В суровых условиях, когда на континенте съедобные растения и животные становились малодоступными, приморские экосистемы стали играть решающую роль для выживания нашего вида. Естественно, что обладание этими ресурсами зачастую становилось поводом для войн. Недавние эксперименты

Новый эволюционный сценарий

НЕПОБЕДИМЫЕ ПРИШЕЛЬЦЫ

Homo sapiens не просто следовал по стопам своих предшественников. Он проложил себе дорогу в совершенно новые земли и изменил все экосистемы, встретившиеся на его пути.

После возникновения нашего рода *Homo* в Африке около 2 млн лет назад (фиолетовый) некоторые из ранних видов людей стали покидать пределы своей прародины. Они обосновались в различных регионах Евразии и в конце концов эволюционировали в неандертальцев и так называемых денисовских людей (зеленый).

Примерно 200 тыс. лет назад появился уже вполне анатомически современный *H. sapiens*. Затем, около 160 тыс. лет назад, когда изменившиеся климатические условия сделали внутреннюю часть африканского континента малопригодной для жизни людей, некоторые представители нового вида нашли убежище на южном побережье и стали использовать в качестве источника пищи богатые моллюсками литоральные зоны. Автор предполагает, что эти перемены в образе жизни привели к генетическому закреплению склонности некоторых из древних людей сотрудничать с неродственными особями своего вида: такая стратегия лучше позволяла защищать ресурсы от захватчиков. Исключительно сплоченные и социально взаимосвязанные, наши предки одновременно становились и более изобретательными. Открытие метательного оружия стало решающим прорывом на пути усовершенствования орудий защиты и нападения. Когда оба этих фактора наконец сошлись вместе, *H. sapiens* оказался вполне готов к выходу из Африки и завоеванию остального мира (красные стрелки). После этого человечество расселилось далеко за пределы Европы и Азии по континентам и островам, которые никогда прежде не были обитаемы никакими людьми вообще (бежевый).



Последствия

Распространение нашего вида всегда сопровождалось крупномасштабными экологическими изменениями. В Европе и Азии приход современного человека привел к гибели более древних видов *Homo*, а когда современные люди появлялись в регионах, не знавших людей ранее, наши предки начинали охотиться на самых крупных животных тех мест, часто доводя их до полного уничтожения. Мегафауна Евразии оказалась более устойчивой к истреблению новыми пришельцами, вероятно потому, что раннее присутствие более древних людей привело к возникновению относительного равновесия между человеком-хищником и его жертвами.

200–160 тыс. лет назад Появление *H. sapiens* в Африке и развитие его когнитивных способностей

160–120 тыс. лет назад *H. sapiens* научился использовать богатые пищевыми ресурсами прибрежные экосистемы

на южном побережье Африки, возглавляемые Яном де Винком (Jan De Vynck) из Центрального университета им. Нельсона Манделы в ЮАР, показывают, что колонии моллюсков могут быть чрезвычайно продуктивными, производя до 4,5 тыс. калорий пищи в час. Моя гипотеза вкратце состоит в том, что прибрежные ресурсы, будучи богатыми, компактно расположенными и хорошо предсказуемыми источниками пищи, спровоцировали рост уровня территориальности среди людей, а высокая территориальность стала причиной регулярных межгрупповых конфликтов. Войны, в свою

очередь, создали ситуацию, способствующую генетическому закреплению признаков внутригруппового просоциального (ориентированного на благо социальных групп) поведения, которое улучшало защиту территорий и сохраняло беспрепятственный доступ к наиболее ценным ресурсам. В дальнейшем эти новые черты поведения распространились по всей человеческой популяции.

Орудие войны

Итак, научившись «командной игре», древний человек встал на путь, ведущий к мировому господству. Но, по-моему, полностью реализовать свой агрессивный потенциал человек смог только с помощью нового технологического прорыва, создав эффективное метательное оружие. Люди долго шли к этому изобретению. Технологический прогресс всегда аддитивен: он опирается на предшествующий опыт и уже существующие знания. Развитие метательного оружия, скорее всего, шло сложными путями, оно эволюционировало от колющей палки к ручному копыю, далее к устройству для метания копья (атлатлю), после чего появились лук и стрелы, а под конец — современные, все более изощренные способы для запуска смертоносных бомб, ракет и т.п.

С каждой новой итерацией орудия убийства становились все эффективнее. Использование простых деревянных копий с заточенным острием, как правило, приводило лишь к одной колотой ране, которой было еще не достаточно, чтобы жертва быстро ослабела и умерла от потери крови. Снабжение деревянного копья заостренным каменным наконечником позволило наносить уже более серьезные ранения. Однако такое нововведение требует и развития новых приемов изготовления оружия. Во-первых, надо обточить наконечник, который смог бы проткнуть шкуру животного, во-вторых — создать древко для крепления наконечника, в-третьих — все это следует надежно скрепить вместе: склеить или привязать, а иногда и то и другое. Джейн Уилкинс (Jayne Wilkins), работающая в Университете Кейптауна, и ее коллеги показали, что каменные орудия, найденные на раскопках в Кату Пан 1 в ЮАР использовались как наконечники для копий уже около 500 тыс. лет назад.

Датировка артефактов, найденных в Кату Пан 1, позволяет предположить, что их изобрел последний общий предок неандертальцев и современных людей. Более поздние находки (около 200 тыс. лет назад) подтверждают, что оба вида-потомка, как и следовало ожидать, тоже создавали подобные инструменты. Эта общая технология означает, что между древним *H. sapiens* и неандертальским человеком какое-то время существовал «паритет в области вооружений». Но эта ситуация рано или поздно должна была подойти к концу.



SOURCE: "GLOBAL LATE QUATERNARY MEGAFAUNA EXTINCTIONS LINKED TO HUMANS, NOT CLIMATE CHANGE," BY CHRISTOPHER SANDOM ET AL., IN PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B, VOL. 381, NO. 1787; JULY 22, 2014 (hominin ranges and megafauna extinction map); Maps by Terra Carta

Большинство экспертов полагают, что появление среди археологических находок миниатюрных каменных орудий знаменует собой изобретение настоящих метательных снарядов, для которых решающие характеристики — легкость и баллистические свойства. Такие орудия слишком малы, чтобы метать их рукой. Вместо этого их помещали в пазы, выбитые в кости или в деревянной палке, чтобы запустить каменный снаряд с высокой скоростью и на большое расстояние. Древнейшие из известных примеров этой так называемой микролитической технологии найдены как раз в Пиннакл-Пойнт. Там в скальной пещере, известной как ППС-6, мы нашли множество различных артефактов. Используя метод так называемого оптически стимулированного люминесцентного датирования, Зенобия Якобс (Zenobia Jacobs), специалист по геологическому исчислению из австралийского Университета Вуллонгонга определила, что археологические находки из ППС-6 датируются периодом от 90 тыс. до 50 тыс. лет до н.э. При этом самые древние микролитические инструменты, найденные в описываемом местонахождении, были изготовлены около 71 тыс. лет назад.

Приведенные сроки могут означать, что появление этой технологии произошло быстрее из-за глобального изменения климата и перемен в рационе питания древних людей. Ранее отметки в 71 тыс. лет назад люди, поселившиеся в ППС-6, делали только большие каменные наконечники и лезвия из минерала, называемого кварцитом. В то время, по утверждению одного из членов моей научной группы Эрика Фишера (Erich Fisher) из Университета штата Аризона, берег моря находился совсем недалеко от Пиннакл-Пойнт. К тому же реконструкция климата и экологической обстановки того времени, выполненная Мирой Бар-Мэтьюс (Mira Bar-Matthews) из Геологической службы Израиля и доктором Керстин Браун (Kerstin Braun), ныне постдоком в Университете штата Аризона, указывает на то, что местные условия тогда были похожими на преобладающие в данном районе и ныне: сильные зимние дожди и доминирование кустарниковой растительности. Однако около 74 тыс. лет назад в климате Земли началось преобладание ледниковых условий. Уровень моря упал, обнажились прибрежные равнины, увеличилось количество летних осадков, и в результате это привело к широкому распространению трав с высокой питательной ценностью и лесных массивов, состоящих в основном из различных видов акаций. В конце концов на прежде затопленном побережье сформировалась большая миграционная экосистема, вдоль которой травоядные животные перемещались на восток летом и на запад зимой, следуя за осадками и, следовательно, свежей травой.

Достоверно неизвестно, почему именно после наступившей смены климата обитатели ППС-6

начали делать небольшие и легкие метательные орудия. Не исключено, что их использовали для охоты на крупных животных, мигрировавших по новым территориям. Но какой бы ни была причина, именно тогда люди обучились новой технике и обратились к ранее не использовавшемуся виду сырья — минералу силкрету, который они стали раскалывать на мелкие острые осколки, предварительно нагревая его над огнем. Важно, что только благодаря произошедшим климатическим изменениям древние охотники получили доступ к почти неиссякаемому источнику дров — стволам быстрорастущей акации, и это создало прочную базу для производства термообработанных микролитических инструментов.

Мы пока не знаем, для какого вида метательной технологии предназначались найденные микролитические орудия. Моя коллега Марлиз Ломбард (Marlize Lombard) из Университета Йоханнесбурга в ЮАР утверждает, основываясь на своих предыдущих исследованиях, что, судя по схожести отметин, оставляемых такими предметами, с уже несомненными отметинами от древних стрел, они стали прародителями последних. Я лично в этом не до конца уверен, т.к. исследования Ломбард не учитывали следов, оставляемых примитивной копьёметалкой (атлатлем). Мне скорее кажется, что в Пиннакл-Пойнт, как и в любом другом месте, атлатль предшествовал более сложному оружию, каковое представляют собой лук и стрелы.

Еще я предполагаю, что, подобно современным африканским охотникам-собираателям, чей образ жизни подробно описан этнографами, древний *H. sapiens* вполне мог знать о растительных и животных ядах и использовать их для повышения эффективности своего оружия. Вообразите: последний бросок охотничьего копья, нервно колотящееся сердце, тяжелое дыхание, пыль, кровь, запах пота и мочи. Опасность чудовищная. Животное, уже едва держась на ногах от изнеможения и потери крови, припало к земле, у него остался один-единственный шанс: инстинкт заставляет загнанного зверя совершить последний в своей жизни прыжок, чтобы вспороть охотнику живот своими рогами. Короткая жизнь и переломанные кости неандертальцев — лучшее доказательство огромного риска, сопровождавшего охоту на крупных животных с ручными копьями на близком расстоянии. Насколько же велико преимущество запущенного издалека снаряда, да еще и снабженного наконечником с ядом, который парализует животное, давая возможность охотнику подойти и положить конец погоне с минимальным риском для жизни. Это оружие стало настоящим прорывом в технологии охоты.

Природа и разум

Когда к гиперсоциальности первых людей прибавились технологические инновации, родился совершенно необычный биологический вид,

чьи особи организованы в группы, каждая из которых способна действовать как единый неукротимый хищник. И с тех пор на Земле уже не будет ни добычи, ни соперника, что могли чувствовать себя в безопасности. Вооруженные способностью к сотрудничеству и метательным оружием, шестеро людей, говорящие на разных языках, готовы вместе сесть на весла и дружно грести, борясь с десятиметровыми волнами, чтобы на носу судна мог встать во весь рост гарпунер и по приказу капитана послать остро заточенный металлический снаряд в движущуюся тушу левиафана — исполинского животного, по сравнению с которым люди кажутся крошечными насекомыми. Точно так же племя в 500 человек, состоящее из 20 взаимодействующих групп, может собраться в настоящую армию, чтобы покарать соседей за вторжение на свою территорию.

Появление этого странного гибрида безжалостного убийцы и надежного союзника позволяет правдоподобно объяснить, почему, когда между 74 тыс. и 60 тыс. лет назад ледниковый климат сделал негостеприимными огромные пространства внутреннего континента Африки, предки современных людей не стали возвращаться в границы своего исходного ареала. Вместо этого они начали интенсивно расселяться по всей Южной Африке, и их процветанию способствовало широкое применение новых орудий. На сей раз наши пращурсы были полностью готовы справиться с любыми неблагоприятными условиями окружающей среды, используя совершенные технологии и систему гибких социальных связей. Теперь люди превратились в самых страшных хищников на суше, а в дальнейшем — и на море. Способность к освоению незнакомой среды стала тем ключом, который наконец открыл человечеству дверь из Африки навстречу новому миру.

У более древних видов *Homo*, которые не умели объединяться в совместно действующие группы и не овладели метательным оружием, не оставалось ни единого шанса устоять против экспансии *H. sapiens*. Ученые давно спорят о том, почему вымерли наши двоюродные братья — неандертальцы. Мне кажется, что единственное правильное объяснение, как бы неприятно оно нам ни было, таково: в процессе своего расселения предки современных людей восприняли неандертальцев как конкурентов и попросту истребили их. Именно для таких случаев естественный отбор и сделал из нашего вида совершенных убийц.

Иногда я пытаюсь представить себе, как произошла эта судьбоносная встреча между современными людьми и неандертальцами. Я воображаю, какие захватывающие легенды неандертальцы, возможно, рассказывали друг другу, расположившись у своих костров: о героических схватках с огромными пещерными медведями и мамонтами,

о битвах не на жизнь, а на смерть под серым небом ледниковой Европы, о льдах под босыми ногами, залитых кровью убитых животных и соплеменников. Но однажды пришло время, когда эти рассказы окрасились в мрачные тона и радость от охотничьих побед сменилась страхом перед неведомой грядущей опасностью. Неандертальцы-сказители повествовали о новых людях, все чаще проникавших на их земли, — быстрых умелых людях, которые без промаха забрасывали насмерть своих противников копьями с огромного расстояния. Эти чужаки нападали даже ночью, большими группами, убивая мужчин и детей, похищая женщин.

Неандертальцы — первые жертвы убийственной изобретательности современного человека и его необыкновенной способности к сотрудничеству во имя жизни и смерти. Это древняя печальная история помогает объяснить, почему жестокие акты геноцида, порожденные ксенофобией, происходят в мире и по сей день. Когда ресурсы скудеют, а земли не хватает, мы тут же обращаем свое внимание на тех, кто выглядит или говорит иначе, объявляем их «чужими» и этим оправдываем их истребление или изгнание, хотя в действительности делаем все это лишь ради устранения конкурентов. Современная наука полагает, что можно говорить о специфических «раздражителях», которые заставляют нас делить людей на «своих» и «чужих», и относиться к этим «чужим» самым безжалостным образом. Однако тот факт, что *Homo sapiens* биологически предрасположен отвечать на дефицит ресурсов столь вопиющей жестокостью, вовсе не означает, что мы навсегда приговорены самой природой к убийству своих собратьев. Современный человек создал культуру, которая способна одолевать даже самые сильные биологические инстинкты. Я надеюсь, что осознание причин, по которым мы инстинктивно губим друг друга в трудные времена, позволит человечеству подняться над собственными низменными порывами и чаще прислушиваться к важнейшему призыву, с которым культура обращается ко всем нам: «Пусть более это не повторится!»

Перевод: В.Э. Скворцов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Мэрин К. Как море спасло человечество // ВМН, № 10, 2010.
- An Early and Enduring Advanced Technology Originating 71,000 Years Ago in South Africa. Kyle S. Brown et al. in *Nature*, Vol. 491, pages 590–593; November 22, 2012.
- The Origins and Significance of Coastal Resource Use in Africa and Western Eurasia. Curtis W. Marean in *Journal of Human Evolution*, Vol. 77, pages 17–40; December 2014.



ФИЗИКА

НОВЫЙ ДИРЕКТОР ФИАН – ПРЕЖНЯЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОСТЬ

В Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН в этом году прошли выборы. Почти 2 тыс. сотрудников, работающих в крупнейшем академическом институте, выбрали нового директора из трех кандидатур, а победителем стал член-корреспондент РАН Николай Николаевич Колачевский.

Фундаментальная наука, большие проекты, живая атмосфера в коллективе и поддержка молодых ученых. Н.Н. Колачевский рассказал о своих научных исследованиях и планах на ответственном посту.



**Член-корреспондент РАН
Н.Н. Колачевский**

— **Николай Николаевич, какие исследования ведутся в вашей лаборатории?**

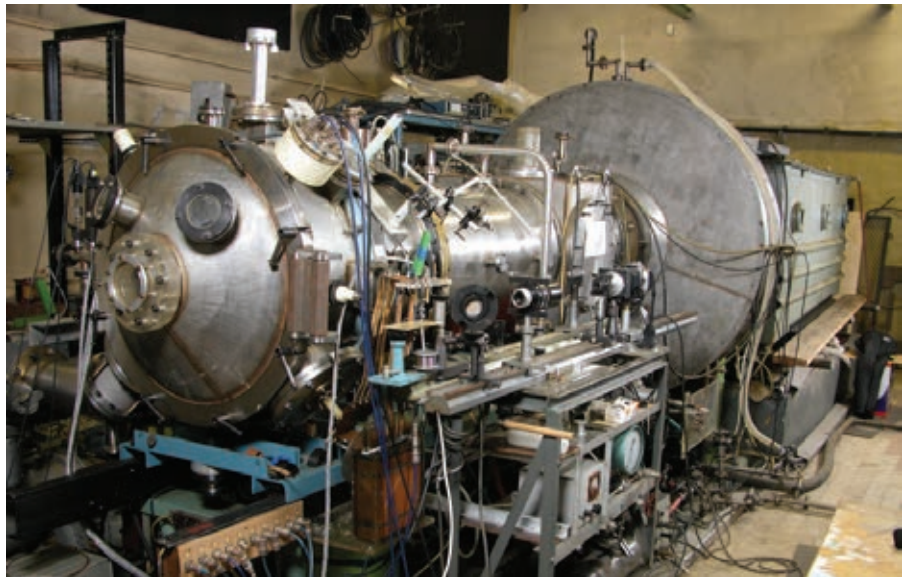
— Я работаю в одной из лабораторий отдела спектроскопии, которую мы с коллегами создали около семи лет назад. Мы занимаемся довольно изящными вещами — различными точными, прецизионными методами лазерной физики. Например, берем группу атомов и в условиях глубокого вакуума захватываем их в ловушку либо с помощью лазерных пучков, либо магнитными полями. Получается такое левитирующее облачко атомов. Обычно их около миллиона. А затем эти захваченные атомы можно охладить, если освещать их лазерными пучками определенной интенсивности и частоты. Так мы опускаемся до температур, которые недостижимы ни в криостатах, ни, тем более, в обычных холодильниках, — порядка микрокельвин или нанокельвин. То есть если бы мы могли глазом рассмотреть атомы, то увидели бы, что в этой установке они перемещаются со скоростью идущего пешехода, хотя обычно атомы летают со скоростями около 300 м в секунду.

— **И что потом можно делать с такими зависшими в ловушке атомами?**

— Задачи самые разные. На единичных атомах можно создавать кубиты, элементарные ячейки информации для квантовых компьютеров. А на группе атомов создают атомные часы. Такие часы базируются на внутренних переходах в атомах, которые происходят с известной и регулярной частотой. Само понятие секунды с 1967 г. определяется как время, за которое происходит определенное число (несколько миллиардов) характерных переходов в атоме цезия. Мы возбуждаем атом, а затем наблюдаем электромагнитные волны, которые он излучает, переходя назад в невозбужденное состояние. Только раньше это были волны радиочастотного диапазона, а теперь — оптического: атомные часы на переходах оптического диапазона точнее.

— **Зачем нужны атомные часы?**

— Эти работы мы выполняем вместе с коллегами из других институтов в рамках ФЦП «ГЛО-НАСС». Мы мечтаем сделать блок атомных часов настолько компактным, что его можно будет запустить в космос. Зачем они там нужны? Станциям, спутникам, группировкам спутников — всем космическим аппаратам — нужна очень точная синхронизация по времени. Ошибка, скажем, в одну миллионную долю секунды — и ни на какую комету Чурюмова — Герасименко уже не сесть, потому что надо очень точно знать координаты зонда,

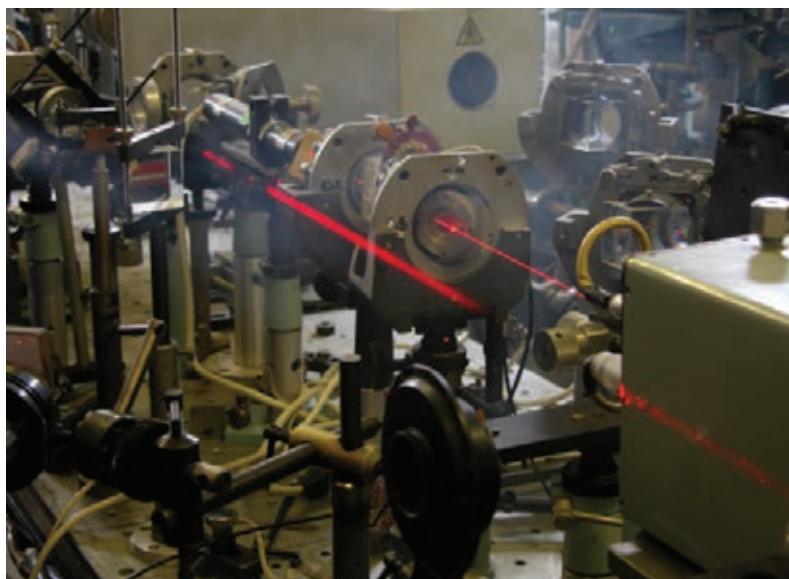


а это упирается в сигнал времени. То есть вы посылаете импульсы в несколько точек пространства, получаете ответы с определенной задержкой и рассчитываете точные координаты объекта. Так работают и GPS, и космическая навигация. Только последней нужна куда большая точность. Кроме того, атомные часы можно применять и для других задач. Например, они очень хорошо чувствуют перепады высот: если вы их поднимаете на один метр, то за счет поправок к общей теории относительности получаете сдвиг частоты. Соответственно, атомные часы можно использовать для профилирования земной поверхности, поиска полостей и т.д. Это очень интересное направление развития.

Были времена, когда руководители институтов писали книги. Сейчас это невозможно — очень много вопросов надо решать оперативно

— **Остается ли у вас после вашего избрания директором ФИАН время, например, для того, чтобы настроить экспериментальную установку?**

Почти нет, задачи изменились: обсуждения исследований с моими студентами, аспирантами, сотрудниками лаборатории. Выделяю время на еженедельный семинар. Плюс ко всему с сентября начнется новый семестр, и я снова буду читать лекции. Конечно, были времена, когда руководители институтов писали книги. Сейчас это



В лаборатории оптики активных сред занимаются различными точными методами лазерной физики

невозможно — очень много вопросов надо решать оперативно. Так что спектр моих обязанностей существенно поменялся, но это нормально. Тем более, научный бэкграунд помогает в работе. Я считаю, что это очень существенно для директора института.

— Что вы имеете в виду?

— Сейчас идут большие споры буквально на каждом собрании и в ФАНО, и в других научных организациях о том, кем должен быть директор — администратором или ученым? Я считаю, что здесь первична научная составляющая. Человек должен ориентироваться в тематике научных исследований, которые ведутся в его институте. Иначе как тогда расставить приоритеты? У ученого могут быть просчеты с точки зрения администрирования, но для этого можно пригласить заместителей и помощников. Однако если мы ориентированы на создание качественного научного продукта (чтобы шли публикации, чтобы к нам приезжали иностранцы, чтобы институт был площадкой самых крупных научных дискуссий), тогда первична научная составляющая. К тому же получаешь обратную связь не только через своих заместителей или ученый совет, но и из первых рук. Какие задачи решают мои коллеги из лаборатории? Закупка оборудования, внутриинститутские вопросы, представление грантов. Их мнение — это хороший срез, который позволяет увидеть жизнь института.

От бакалавра до директора

— Почему вы решили баллотироваться на должность директора института?

— Не буду скрывать: я выдвинут предыдущим директором Геннадием Андреевичем Месяцем.

Были долгие, насколько я понимаю, поиски и отбор кандидатов, и Геннадий Андреевич спросил, не вижу ли я себя на месте директора... Это было сложное решение. Некоторые мои коллеги отказались от такого предложения. Это большая ответственность, и должна быть внутренняя уверенность, что ты справишься, что ты и твои идеи могут принести пользу не только коллективу, но и в более широком масштабе. Одним словом, после обдумывания и обсуждения с коллегами и членами моей семьи я согласился.

— Когда вы впервые пришли в ФИАН?

— Я здесь со студенческой скамьи, с четвертого курса, когда проходил бакалаврскую практику. Сначала занимался рентгеновской спектроскопией, потом мой научный руководитель Игорь Ильич Собельман перевел меня в группу лазерной спектроскопии. Этим я и сейчас занимаюсь. Еще в 2001 г. я на два года съездил по Гумбольдтовской стипендии в Германию — к профессору Теодору Хеншу, который в 2005 г. был удостоен Нобелевской премии. Мы, кстати, до сих пор с ним очень тесно взаимодействуем, обмениваемся студентами, аспирантами.



Задачи самые разные...

ФИАН знаменит прежде всего фундаментальными исследованиями. Фундаментальная физика — это красивое и непонятное сочетание слов, но именно оно привело нас к очень многим достижениям современной цивилизации

— **А как вы познакомились с Г.А. Месяцем?**

— Это было в 2004 г. Я писал докторскую диссертацию. Мы долго мучились с одной установкой. Атомы, о которых я рассказывал, не могли захватить в ловушку. Работали безрезультатно месяц или два, а потом — раз, и получилось. Мы очень обрадовались, а по институту сразу разнесся слух. Проходят буквально десять минут, и к нам в лабораторию приходит Геннадий Андреевич. Он человек эмоциональный. Ему очень понравились и эта тема, и наша группа. С тех пор завязался научный контакт, и он нас всегда поддерживал. Где материально — оборудованием, финансированием, где словом, а где — грамотным администрированием. Все активные группы в ФИАН чувствовали его поддержку. А года два назад я стал его помощником, и он мне передал полномочия заместителя директора по науке.

— **Долго входили в курс дела?**

— Да, это потребовало определенных усилий. Разница между масштабами лаборатории и всего ФИАН огромная. Потому что сначала идет лаборатория, потом отделение и только потом институт. А каждое отделение в ФИАН — квантовой радиофизики, оптики, теоретической физики и астрофизики, ядерной физики, астрокосмическое, физики твердого тела — фактически это целый научный институт, т.е. шесть институтов в одном. Плюс различные филиалы, в том числе на Тянь-Шане и Памире. Масштаб совершенно гигантский.

— **Какие задачи ставите перед собой?**

— Есть разные категории задач. В первых, директор — это лицо института. В его ведении взаимодействие с ФАНО, РАН, зарубежными институтами, различными контролирующими органами. Во-вторых, очень много задач внутри института, и сконцентрироваться здесь хочется в первую очередь на том, что двигает вперед. Ведь всегда хочется развития. Наш институт берет начало еще от Петра Великого. Во главе ФИАН

стояли Сергей Иванович Вавилов, Леонид Вениаминович Келдыш, Николай Геннадьевич Басов — все выдающиеся ученые. И это великое наследие, но со своим комплексом проблем.

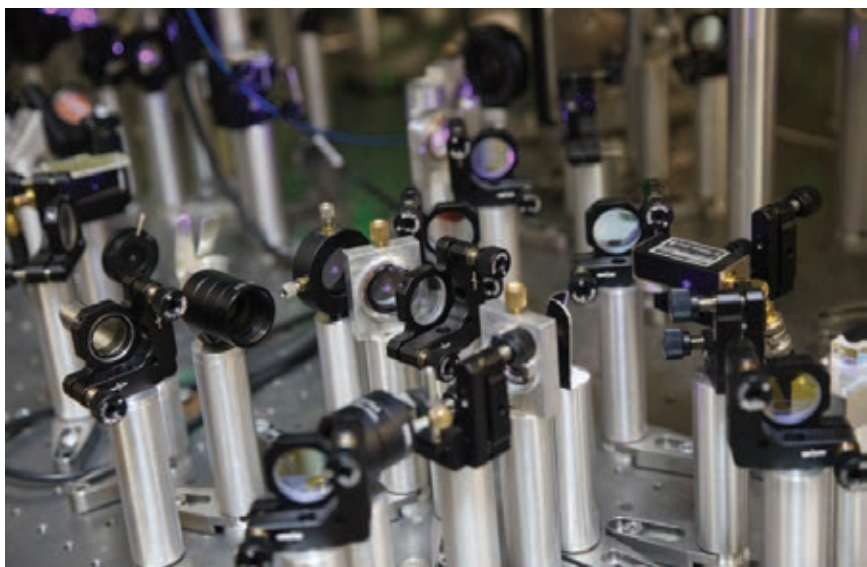
— **Какие проблемы вы имеете в виду?**

— Недавно к нам приезжал президент Австрийской академии наук профессор Антон Цайлингер. Он посетил лаборатории, а потом мы собрали круглый стол обсудить точки взаимодействия. И он всех сразил одним вопросом. То, что касается развития, сказал он, всем понятно. Открывается новое направление, мы туда вкладываем ресурсы, подтягиваем молодежь, специалистов. А вот что делать с теми направлениями, которые надо реформатировать? Как вы решаете эти задачи?

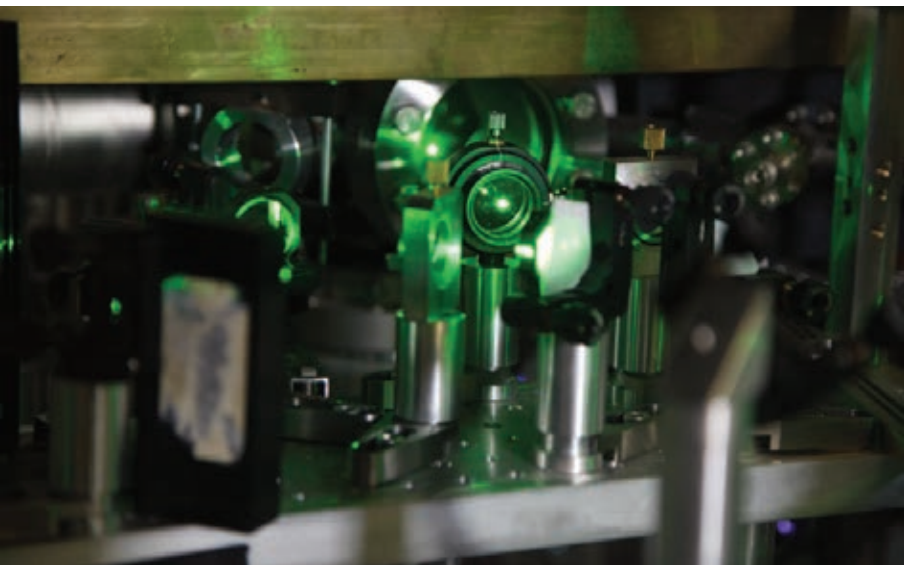
Действительно, в живом организме что-то растет, что-то отмирает. И этот вопрос сейчас — чрезвычайно болезненный для всей нашей научной системы. Потому что если мы ничего не меняем, то попадаем в абсолютно тупиковую ситуацию — по возрасту сотрудников, научным направлениям, привлечению финансирования, новым идеям. Нет ничего вечного. Поэтому вопрос, как грамотно и разумно перебрасывать людей и средства с тыла на переднюю линию, очень важен для меня как директора. Крайне сложная и деликатная работа.

— **Как вы будете выбирать эти главные направления?**

— Главное — не забывать, что ФИАН знаменит прежде всего фундаментальными исследованиями. Фундаментальная физика — это красивое



Чтобы откалибровать/отъюстировать/настроить одну оптическую установку, требуются часы аккуратной работы



Отделить исследования, которые в перспективе могут дать практический выход, от тех, которые закончатся одной-двумя публикациями, невозможно

и непонятное сочетание слов, но именно оно привело нас к очень многим достижениям современной цивилизации. С другой стороны, это понятие эфемерное. Отделить исследования, которые в перспективе могут дать практический выход, от тех, которые закончатся одной-двумя публикациями, невозможно. Сейчас есть такое мнение, что все уже в принципе исследовано, — мы все знаем, и нужно только учиться создавать конкретные прикладные вещи. В таком разрезе ФИАН не может существовать, т.к. это центр фундаментальных исследований. А они все время усложняются и укрупняются.

— Какими крупными научными проектами сейчас занимается ФИАН?

— ФИАН участвует в масштабных международных проектах — *LHC* и *ITER*. Из «родных» главный успех — это, конечно, «Радиоастрон», который отпраздновал четырехлетие на орбите. Прибор абсолютно уникальный. Он собирает данные и взаимодействует с целым рядом наземных установок и телескопов — и наших, и мировых. Сейчас вслед за «Радиоастрономом» мы разрабатываем «Миллиметр», космический телескоп миллиметрового и инфракрасного диапазона, который позволит глубже заглянуть в ядра галактик. Работаем также над проектом «Гамма-400» — орбитальной астрофизической лабораторией, где будут пытаться зарегистрировать сигнал от аннигиляции темной материи. Развиваем и проект по рентгеновской спектроскопии Солнца — тоже очень интересный, с уникальными снимками фотосферы нашего светила, которые можно делать только из космоса.

— Фундаментальная наука, большие проекты... Где взять средства на такие задачи?

— Сейчас для реализации таких проектов нужно очень много ресурсов. На зарплату активно работающего научного сотрудника должно выделяться около полутора миллионов рублей в год. То есть если хочешь собрать группу из пяти серьезных ученых, которые будут целиком работать у тебя, а не подрабатывать еще где-то, нужно понимать, какие это деньги. Плюс нужны средства на инфраструктуру, научное оборудование и т.д. Где их брать? Часть денег поступает в виде грантов, финансирования целевых программ, остальные мы должны находить за счет внутриинститутских возможностей. Например, наш Троицкий технопарк — один из лучших в стране. Там делаются уникальные вещи, которые уже можно в руках поддержать. Одна наша спин-офф-компания заняла почти

весь российский рынок фемтосекундных лазеров, другая запустила линейку по производству томографов с полем 1,5 Тл. Это доходные компании, и Троицкий технопарк нам не стыдно показать.

Как удержать людей в науке

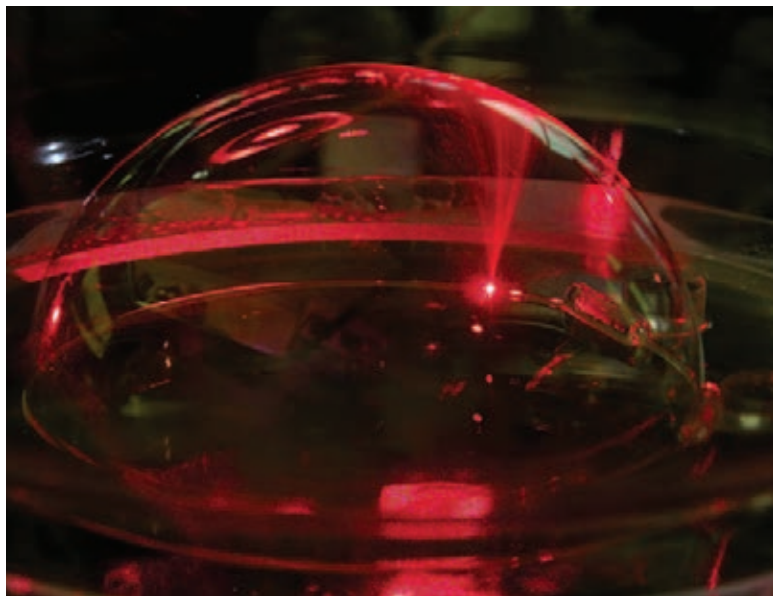
— Молодежь идет в ФИАН?

— Молодежи много. У нас четыре базовых кафедры МФТИ, которые каждый год выпускают около 30 студентов. Есть кафедры в МИФИ, МГУ, Самарском государственном университете. Уровень образования, честно скажу, падает. Но если этих ребят подхватить здесь и доучить у нас, получаются очень грамотные специалисты. Ребята из нашей лаборатории могут легко уехать на Запад. Даже слишком легко... Ученые такого уровня везде востребованы.

— Как вы относитесь к таким отъездам?

— Ни в коей мере не препятствую этому. Я считаю, поездка на два-три года за границу помогает наладить контакты, получить знания, познакомиться с новыми методами. Но хочется, чтобы потом эти ребята хотя бы частично возвращались. Для этого нужно создавать условия, и не только у нас в институте. Понимаете, там другое качество жизни, отношение к ученым... Мы сейчас пытаемся это сдвинуть у нас в стране. В 1990-е гг. ученый жил хуже, чем продавец сотовых телефонов. Сейчас по-другому. И я очень надеюсь, что этот перелом продолжится усилиями как правительства, так и нашими внутренними.

— Ученому можно уехать за границу, а можно уйти в коммерцию. Как решать этот вопрос? Вы в своих предвыборных материалах отмечали, что основная проблема у нас не с молодыми учеными, а с 30–40-летними кандидатами и докторами.



Мы занимаемся довольно изящными вещами...

— Я совсем недавно через это прошел и прекрасно понимаю это состояние: пока ты студент или аспирант, ты чувствуешь поддержку. Доступны стипендии, гранты. Твоя жизненная траектория — творческая. Потом ты защищаешь кандидатскую, становишься молодым специалистом, и все эти программы резко заканчиваются. И как дальше? Этот кризис, кстати, еще может усугубляться, поскольку на него будут накладываться демографические проблемы. Я вижу единственное решение — создание независимых молодежных научных групп. Планирую обсудить это с руководством ФАНО. Кстати, сейчас в Министерстве образования и науки обсуждается возможность создания исследовательских групп под руководством молодых специалистов, которые прошли серьезный отбор. Другая важная задача — привлечение молодежи к организационной деятельности института. У нас это получилось — теперь на выборах ученого совета прописана квота в шесть молодых ученых. Это потребовало серьезной дискуссии, оказалось, что многие к этому не готовы. Как только у молодых специалистов возникает возможность на что-то влиять, они становятся «опасными». Я утрирую немного, но вопрос серьезный, и я буду молодежь в этом плане всячески поддерживать.

— А у вас были когда-нибудь мысли уйти из науки?

— Были. И соблазны были. В 2004 г. мои данные попали к хедхантерам, и мною заинтересовались коллеги из ЮКОС. Я к ним ездил на собеседование, и мне было интересно с ними поговорить. Мне сразу предложили очень высокую позицию, огромную по тем временам зарплату, квартиру в Тюмени. Задача, которую передо мной ставили, была

очень интересной: нужно было просчитывать гидродинамические уравнения по периметру нефтяного месторождения. Вообще, нельзя недооценивать технологические компании. Все-таки львиная доля выпускников вузов в мире идет в технологию, в хай-тек. Там очень интересные научные задачи, и мы тоже должны уметь с ними конкурировать.

— Но вы остались в науке?

— Остался! Я долго думал, советовался и принял решение. Соблазны были, но с какого-то момента они полностью растворились. Вообще, наука очень развлекает и дает много интересных результатов. Меня это всегда поддерживает. Поэтому хочется собрать воедино то активное и живое, что есть у нас в институте. Чтобы люди общались, чтобы не было пустых коридоров. Чем всегда нравятся заграничные институты? Приходишь — везде люди работают. Именно так и видится будущее ФИАИ: фундаментальность, большие проекты и атмосфера живой науки. Когда идешь по коридору, видишь: справа лаборатория работает, слева, а вот место, куда можно привести прессу или гостей любого уровня, вплоть до президента. Это как с домом. Если у тебя уютно и все хорошо, то и гостей позвать не стыдно. ■

! *Справка*

Николай Николаевич Колачевский

- ✓ Директор Физического института им. П.Н. Лебедева (ФИАИ), член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук.
- ✓ В 1994 г. окончил Московский физико-технический институт (МФТИ).
- ✓ В 1999–2000 гг. — научный сотрудник отдела спектроскопии отделения оптики ФИАИ.
- ✓ В 2001–2002 гг. — стипендиат Фонда Александра фон Гумбольдта. Выполнял исследовательский проект в Институте квантовой оптики Общества Макса Планка.
- ✓ В 2003 г. — старший научный сотрудник отделения оптики ФИАИ.
- ✓ В 2010–2013 гг. — ведущий, затем главный научный сотрудник отделения оптики ФИАИ.
- ✓ В 2014 г. — заместитель директора ФИАИ.
- ✓ Область научных интересов: точные измерения частоты, спектроскопия сверхвысокого разрешения, ультрастабильные лазеры, оптические часы, лазерное охлаждение, исследование экзотических атомов (антиводорода), измерения фундаментальных констант, экспериментальные тесты фундаментальных теорий.

«Мы в ФИАН сделали хороший выбор»

Академик **Геннадий Андреевич Месяц** рассказывает о новом директоре

— **Геннадий Андреевич, вы помните, как встретились с Н.Н. Колачевским?**

— Знаю его с 2004 г., когда я был избран директором ФИАН. Николай Николаевич в буквальном смысле вырос в ФИАН. Выпускник Физтеха, он пришел к нам в аспирантуру, получил стипендию президента РФ как аспирант, потом грант президента как молодой кандидат, затем как молодой доктор. Довольно уникальный случай. А в 2011 г. во время выборов в РАН были объявлены молодежные вакансии. Мы избрали нескольких молодых людей, в том числе Николая Колачевского. К тому времени уже было очевидно, что он человек незаурядный, с прекрасными способностями, хороший организатор. Человек, который системно думает.

— **Николай Николаевич был вашим кандидатом на пост директора ФИАН?**

— Да. Полтора года он был помощником директора, потом заместителем, потом я предложил ему стать кандидатом в директора ФИАН. Когда меня 11 лет назад выбрали директором, я понимал, что настанет время, когда нужно будет уходить, и что нужен достойный преемник. Так должен думать каждый директор. Уже перед выборами некоторые кандидаты на этот пост отказались, потому что это очень сложная работа. А Николай Николаевич принял вызов. На выборах конкурировали три кандидата, и он победил.

— **Были ли у вас какие-нибудь формальные критерии для выбора кандидатов?**

— Во-первых, директор должен быть хорошим ученым. Я считал, что при прочих равных условиях директор должен быть экспериментатором — они лучше разбираются в хозяйственных делах, в сути практических вопросов. Например, Николай Николаевич просил меня купить ему один современный, очень дорогой станок. И вот однажды мы приходим с ним в криогенную лабораторию, и он говорит: «Геннадий Андреевич, да вот же такой станок». И мы не стали ничего дополнительно покупать. Вот преимущество экспериментатора. Потом я думал, что кандидат должен быть истинным фиановцем. Кроме того, важно, чтобы кандидат был членом академии. Наш директор эту ступень прошел, он уже член-корреспондент РАН.

И это только формальные критерии. Ведь самое главное, чтобы будущий директор был настоящим ученым, чтобы он обладал пониманием, как развивать ФИАН в интересах науки, а не только в интересах денег. Есть такая шутка: «Почему же вы такие бедные, раз вы такие умные?» Так вот у Николая Николаевича один из предвыборных тезисов был: «Мы такие умные и через это должны быть богатыми». То есть мы будем брать и предлагать работы, которые бесспорно интересны для науки и одновременно находятся на ее передовом крае. Для ФИАН это очень важно, он всегда так жил. Люминесцентные лампы — это фактически один из итогов работы



Справка

Геннадий Андреевич Месяц

- ✓ Основатель научного направления высоко-точной электроники и импульсной электрофизики, академик РАН, член президиума РАН.
- ✓ В 1977–1986 гг. — директор Института высоко-точной электроники (ИСЭ) СО РАН АН СССР, Томск.
- ✓ В 1987–2004 гг. — директор Института электрофизики Уральского отделения АН СССР, Свердловск.
- ✓ В 2004–2015 гг. — директор Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Москва.

основателя института академика С.И. Вавилова. Организация работ по атомному проекту и исследованию космоса — огромная работа второго директора ФИАН академика Д.В. Скобельцына. Открытие лазеров и развитие лазерной науки — заслуга третьего директора ФИАН академика Н.Г. Басова и академика А.М. Прохорова. Долго можно перечислять. Настоящая фундаментальная наука — и теория, и эксперимент — часто заканчивается результатами, которые можно использовать сразу. И я верю, что так будет и дальше. Сергей Иванович Вавилов создавал институт, когда ему было 42 года. Николаю Колачевскому сейчас 43. Люди в этом возрасте обладают большой энергией, хотят многое сделать. Мне кажется, мы в ФИАН сделали хороший выбор. ■

Подготовил Михаил Петров



ОБ АВТОРЕ

Джей Гидд (Jay N. Giedd) — глава отдела детской и подростковой психиатрии в Калифорнийском университете в Сан-Диего, профессор Медицинской школы Блумберга и главный редактор журнала *Mind, Brain, and Education*.



НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Дивный Юнонь И Мозг

Из-за того, что мозг подростков созревает неравномерно, их поведение может становиться рискованным, но в то же время они способны совершать резкие скачки в мышлении и быстро приспосабливаться к различным обстоятельствам

Джей Гидд



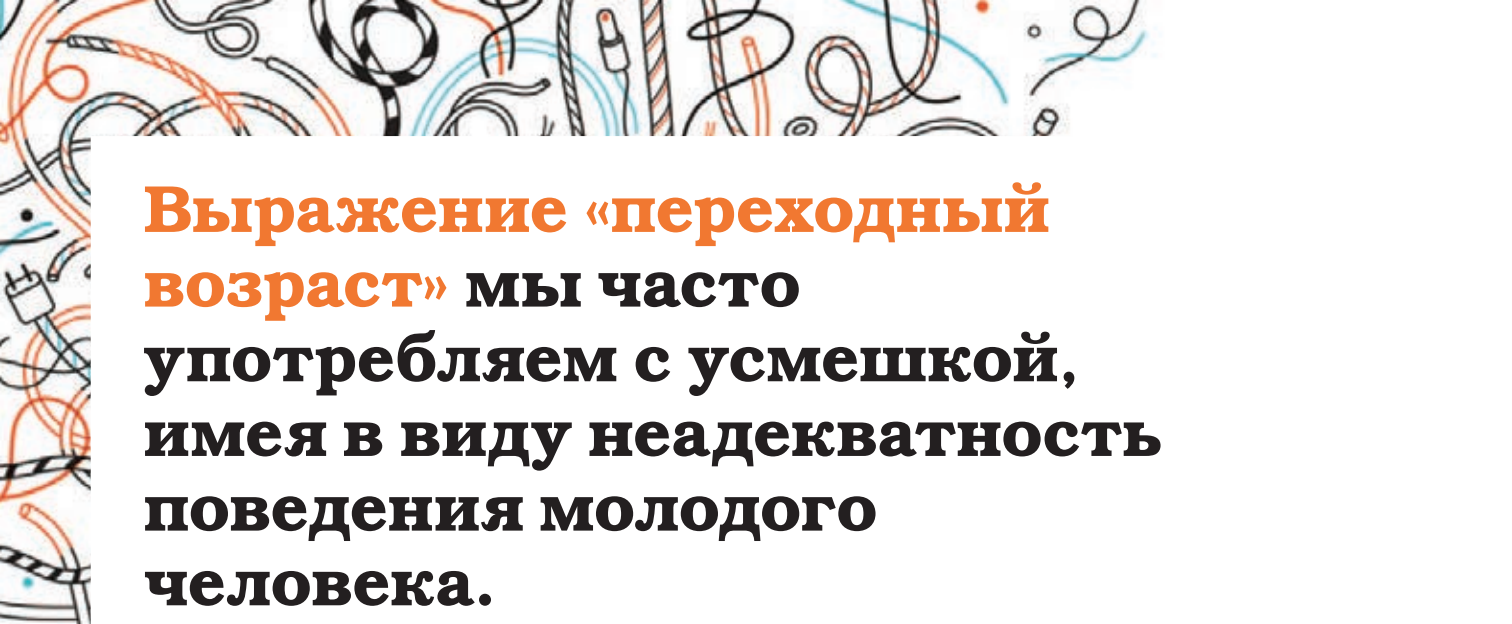
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Судя по томографическим исследованиям, мозг подростка — это не мозг маленького ребенка и не незрелый мозг взрослого человека, а уникальная структура, обладающая большой пластичностью.
- В период полового созревания усиливается работа лимбической системы, которая управляет эмоциями. Однако префронтальная кора, контролирующая нашу импульсивность, созревает только к 20 годам. Из-за такого несоответствия

поведение подростков может быть рискованным, зато они легко приспосабливаются к разным условиям жизни.

- Период этого несоответствия увеличивается, поскольку во всем мире сейчас наблюдается раннее начало полового созревания.

- Для того чтобы помочь родителям и обществу отличать типичное поведение подростка от психических отклонений, нужно понимать, как работает мозг в этом возрасте.



Выражение «переходный возраст» мы часто употребляем с усмешкой, имея в виду неадекватность поведения молодого человека.

Раньше нейробиологи объясняли рискованное, агрессивное или просто странное поведение подростков сбоями в работе мозга. Однако в последнее десятилетие появились важные исследования, опровергающие такую точку зрения. Подростковое поведение не объясняется незрелостью мозга или нарушениями в его работе. В процессе эволюции мозг подростков приобрел функциональные отличия от мозга ребенка или взрослого.

Главная особенность подросткового мозга — способность изменять связи между разными отделами в ответ на воздействия окружающей среды. Такая пластичность на самом деле — палка о двух концах. С одной стороны, она позволяет совершить огромный прорыв в мышлении и социализации. С другой стороны, постоянное изменение структуры повышает вероятность появления опасного поведения и психических расстройств.

Как показывают результаты последних исследований, рискованное поведение возникает из-за несбалансированности работы лимбической системы и префронтальной коры. Лимбическая система отвечает за эмоции, она становится сверхактивной в период полового созревания. Префронтальная кора контролирует импульсивность и обеспечивает разумность суждений; сейчас мы знаем, что она продолжает развиваться до 20 лет. Кроме того, в наше время половое созревание начинается раньше, поэтому период такой несбалансированности увеличивается.

Для появления взрослого поведения важен не размер этих структур, как считалось ранее, а пластичность связей между ними. Зная, что у молодых людей происходит усиление разрыва между эмоциональными и отвечающими за здравый смысл отделами мозга, можно помочь родителям, учителям, воспитателям и самим подросткам понять, что рискованность действий, поиск острых ощущений, разлад в семье и со сверстниками не означает наличия умственных или эмоциональных проблем. Это естественный результат развития мозга, часть обучения подростка знанию о том, как справляться со сложностями окружающего мира.

У 15-летней девушки вкусы в одежде, музыке или политике могут резко отличаться от родительских и даже приводить в ужас маму и папу, однако это не признак психического отклонения. Юноша в 16 лет катается на скейтборде без шлема и принимает рискованные вызовы от своих приятелей скорее всего не из желания себе навредить, а просто потому, что он подвержен влиянию со стороны сверстников и не задумывается о последствиях. А вот другие проявления исследовательской или агрессивной активности, напротив, могут оказаться тревожным сигналом. Чем больше мы знаем об особенностях мозга подростка, тем проще отличить необычное, но свойственное возрасту поведение от симптомов заболевания. Кроме того, такая информация может быть полезна обществу для борьбы с подростковой наркоманией, венерическими заболеваниями, нежелательными беременностями, убийствами, депрессиями и суицидом.

Усиление связей

Скорее всего, родители не удивятся, услышав, что мозг 16-летнего подростка отличается от мозга восьмилетнего ребенка. Однако ученые с большим трудом смогли доказать это утверждение. Мозг окружен плотными оболочками, слоем жидкости и костями, которые надежно защищают его от различных повреждений, а также от любопытства специалистов.

Серьезный прогресс в исследовании мозга был достигнут, когда появилась компьютерная и позитронно-эмиссионная томография, однако применение их для исследования мозга детей и подростков было неэтично из-за ионизирующего излучения. Приподнять завесу тайны удалось после появления магнито-резонансной томографии (МРТ) — безопасного метода для изучения анатомии и физиологии мозга людей всех возрастов. Сейчас идут работы, в процессе которых исследуют тысячи обычных людей на протяжении всей их жизни. Выясняется, что созревание мозга проявляется не в увеличении размера, а в росте числа связей между разными его отделами и усилении их специализации.

На МРТ-изображении этот рост связанности определяется по увеличению объема белого вещества. Аксоны, длинные отростки, отходящие от тела нервной клетки, окружены изолирующей липидсодержащей оболочкой из миелина. Именно он и делает вещество белым. Процесс формирования такой оболочки называется миелинизацией, она начинается с детства и заканчивается по достижении зрелости. Миелинизированные волокна могут проводить нервные импульсы значительно быстрее (в 100 раз), чем немиелинизированные.

Аксоны, покрытые миелиновой оболочкой, быстрее восстанавливаются после проведения импульса и готовы к передаче следующего, что ускоряет процессы обработки информации в мозге. Более быстрое восстановление увеличивает частоту передачи информации в 30 раз. Сочетание скоростного проведения и быстрого восстановления увеличивает вычислительные возможности взрослого мозга в 3 тыс. раз, что позволяет устанавливать протяженные и сложные связи между разными отделами.

В недавних исследованиях была описана еще одна роль миелина. Нейрон, получающий информацию от других нервных клеток, сам сможет сгенерировать импульс, только если пришедший сигнал превысит определенный электрический порог. Когда между нейронами передается сигнал, в синапсе, соединяющем эти клетки, происходят некоторые молекулярные изменения, благодаря которым в следующий раз сигнал проходит легче.

Такие изменения лежат в основе любого обучения. Сейчас ученые исследуют механизм, благодаря которому одновременно возникшие сигналы от близко и далеко расположенных нейронов приходят к цели синхронно. Оказывается, в этой точной настройке важную роль играет миелин. Когда ребенок становится подростком, быстрое образование миелина приводит к росту связей и координации активности разных отделов мозга при выполнении самых разных задач.

Для того чтобы описать, как меняются связи, ученые начали использовать теорию графов — раздел математики, позволяющий количественно оценить соотношения между узлами и ребрами любой сети. В качестве узла может выступать любой наблюдаемый объект, будь то нейрон или структура мозга, например гиппокамп, или даже большой отдел — префронтальная кора. Ребром может быть любая связь между узлами, от физического контакта, например синапса между нейронами, до статистической корреляции, например когда две структуры мозга сходным образом активируются в процессе выполнения той или иной задачи.

Теория графов помогла нам понять, как идет созревание в разных областях мозга, как развиваются связи между ними и как это соотносится с изменением в поведении и мышлении. Изменения в мозге не ограничиваются подростковым периодом. Большинство нейронных сетей формируются еще в утробе матери, и многие из них продолжают изменяться в течение всей жизни. Однако

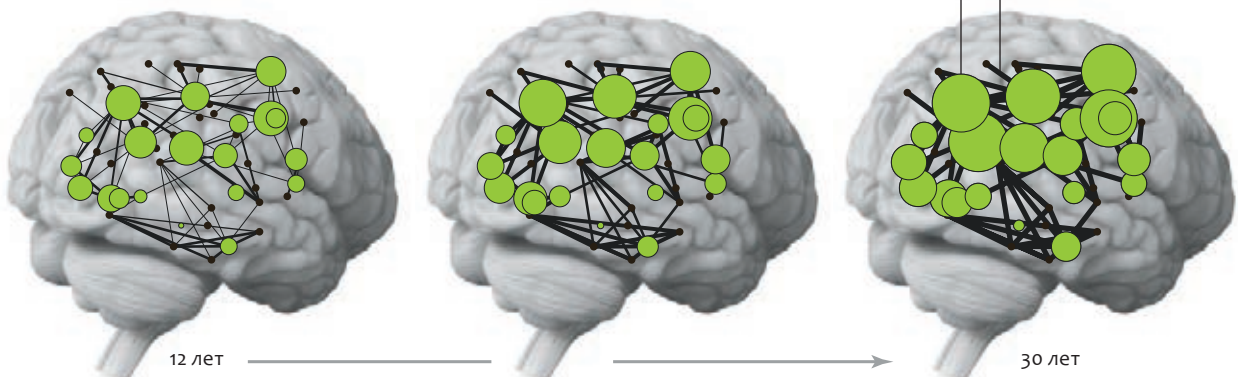
Новый взгляд

ПРИ ВЗРОСЛЕНИИ УЛУЧШАЮТСЯ СВЯЗИ МЕЖДУ СТРУКТУРАМИ

Самые значительные изменения в мозге в подростковом возрасте отражены не в увеличении размера его структур, а в росте связей между группами нейронов. Применение математического метода теории графов к данным, полученным с помощью МРТ, позволяет увидеть, что связи между группами нейронов становятся более сильными (на рисунке черные

линии становятся толще). Благодаря этому методу видно также, что в каждой области мозга увеличивается число связей с другими (на рисунке зеленые круги становятся больше). С помощью этих изменений мозг может специализироваться в любых областях — от сложного мышления до формирования социальных знаний.

Увеличение связей между отделами мозга по мере взросления



SOURCE: "DEVELOPMENT OF BRAIN STRUCTURAL CONNECTIVITY BETWEEN AGES 9 AND 30," BY EMILY L. DENNIS ET AL., IN NEUROIMAGE, VOL. 64, JANUARY 1, 2013 (SUPPLEMENTARY VIDEO 3); Illustration by David Kilpatrick (brains) and Jan Christensen (nodal diagrams)

оказывается, что в подростковый период происходит значительное увеличение связей в структурах, отвечающих за наши способности принимать взвешенные решения, ладить с окружающими и осуществлять долгосрочное планирование, что значительно влияет на нашу дальнейшую жизнь.

Период специализации

В мозге подростка по мере развития белого вещества наблюдаются и другие изменения. В формировании мозга, как и во многих других сложных процессах в природе, чередуются периоды чрезмерного развития с последующим выборочным сокращением. Подобно тому, как Микеланджело из глыбы мрамора высекал статую Давида, многие наши умственные способности возникают в результате удаления неиспользуемых или неадекватных нейронных связей. Часто используемые связи, наоборот, усиливаются. Процессы сокращения ненужных и закрепления нужных связей происходят в течение всей жизни, но в подростковом возрасте наблюдается сдвиг в сторону удаления, поскольку именно в этот период мозг приспособляется к конкретным требованиям окружающей среды.

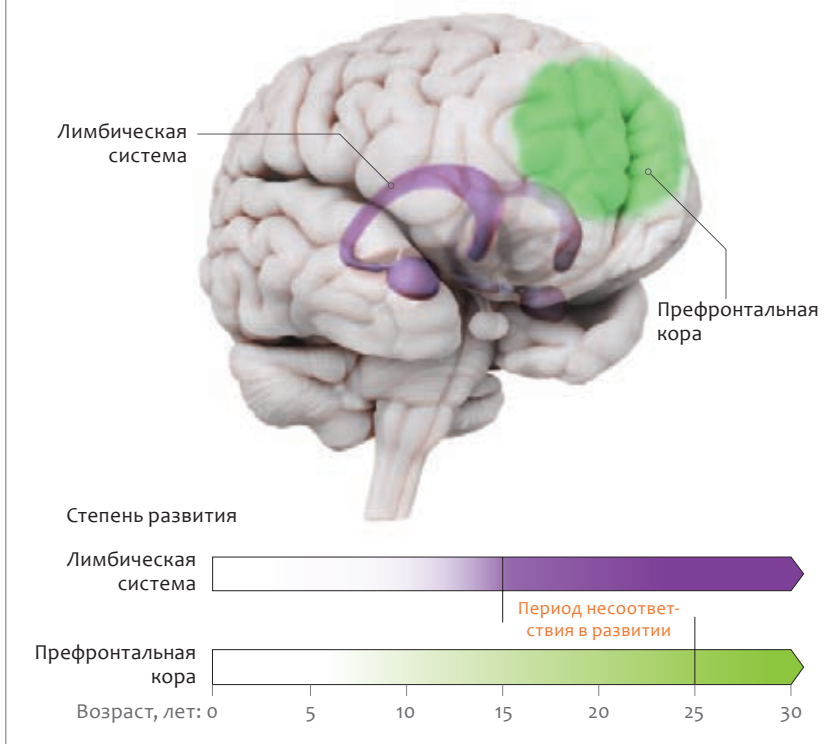
По мере того как неиспользуемые связи отмирают, уменьшая объем серого вещества, возникает специализация. Серое вещество состоит в основном из немиелинизированных структур (таких как тела нейронов), дендритов (ветвистых отростков, по которым информация приходит в клетку) и некоторых типов аксонов. Количество серого вещества увеличивается в детстве, достигая максимума в десять лет, а затем снижается в ходе взросления. У взрослого человека объем серого вещества практически не меняется, и лишь к старости его становится меньше. Похожий процесс происходит и с рецепторами на поверхности нейронов: со временем изменяется количество молекул, связывающихся с нейромедиаторами, такими, например, как дофамин, серотонин или глутамат, и обеспечивающих передачу сигнала между клетками.

Несмотря на то что общее количество серого вещества достигает максимума к моменту начала полового созревания, разные отделы мозга развиваются неравномерно. Раньше всего серое вещество формируется в первичных сенсорных зонах,

Причины рискованного поведения

ЭМОЦИИ БЕЗ КОНТРОЛЯ

Подростки рискуют чаще, чем дети или взрослые, потому что у них наблюдается рассогласование между двумя основными областями мозга. Развитие лимбической системы (фиолетовый), которая управляет эмоциями, запускается гормонами в начале полового созревания (обычно между десятью и 12 годами). Затем система созревает еще около семи лет. При этом префронтальная кора (зеленый), которая удерживает нас от импульсивного поведения, достигает своего полного развития на десять лет позже. Таким образом, в этот период времени создается дисбаланс. В начале полового созревания, когда происходит гормональный взрыв, префронтальная кора еще совсем не зрелая.



как называют области, отвечающие за наши чувства: зрение, слух, обоняние, вкус и осязание. Позже всех развивается управляющий отдел мозга — префронтальная кора, отвечающая за многие наши способности, такие, например, как организованность, принятие решений, планирование, а также контроль над эмоциями.

Важная особенность префронтальной коры — способность создавать представления типа «что было бы, если...» с помощью мысленного путешествия во времени, т.е. рассматривать прошлое, настоящее и предполагаемые будущие последствия, моделируя это в уме, вместо того чтобы подвергать нас потенциально опасной реальной проверке. Как заметил однажды философ Карл Поппер, надо «позволить этим теориям умереть вместо себя». Когда мы взрослеем, управляющий отдел мозга дает нам возможность выбирать большое вознаграждение в долгосрочной перспективе вместо маленького сиюминутного.

Кроме того, префронтальная кора необходима для формирования социального знания — способности ориентироваться в сложных отношениях

между членами сообщества, отличать друзей от врагов, искать поддержку в группе и осуществлять главную задачу подросткового возраста — привлечение полового партнера.

Таким образом, изменения происходят и в белом и в сером веществе, и мозг подростка принимает структуру, характерную для взрослого человека. Неверно утверждать, что у подростков совсем не работает префронтальная кора, просто ее функции еще не устоялись. Поэтому пока человек не повзрослеет, у него будут возникать проблемы с контролем импульсивного поведения и оценкой риска и выгоды.

Несбалансированность взросления

В отличие от префронтальной коры лимбическая система под воздействием гормонов начинает сильно меняться как раз с началом полового созревания (обычно между десятью и 12 годами). Эта система отвечает за эмоции и получение подкрепления. Взаимодействуя с префронтальной корой, она провоцирует подростка к поиску новых впечатлений и риску, а также повышает интерес к отношениям со сверстниками. Такое поведение биологически обусловлено и наблюдается у всех социальных млекопитающих. Оно заставляет молодых особей покидать комфортные и безопасные семьи и исследовать новые территории в поисках новых отношений. Такое поведение генетически улучшает популяцию, препятствуя близкородственному скрещиванию (инбридингу), но оно же и представляет опасность, особенно если встреча с такими современными соблазнами, как наркотики, огнестрельное оружие, быстрая езда, не сдерживается здравым смыслом.

На поведение подростка влияет не столько позднее развитие управляющих функций или раннее развитие эмоционального поведения, сколько несовпадение во времени этих двух процессов. Лимбическая система запускает у молодого человека эмоциональное поведение, а контроль префронтальной коры работает еще не так хорошо, поэтому получается, что на протяжении почти десяти лет процессы в голове подростка разбалансированы. Более того, во всем мире половое созревание наступает все раньше и раньше и период проявления рискованного поведения и поиска новых ощущений удлиняется.

Различия между социальным и биологическим пониманием термина «подростковый возраст» тоже способствует увеличению данного периода. Общество определяет подростковый возраст с момента начала полового созревания до момента, когда человек становится независимым и принимает на себя взрослую роль. Сейчас в США человек начинает взрослое поведение, т.е. вступает в брак, заводит детей, приобретает собственный дом, на пять лет позже, чем в 1970-х гг.

Поскольку на определение того, кого считать взрослым, сильно влияют социальные факторы, психологи пришли к выводу, что подростковый возраст в большей степени определяется изменениями в воспитании детей, произошедшими со времен промышленной революции, чем биологическими причинами. Однако исследования влияния генов и окружающей среды, выполненные на близнецах, растущих в разных условиях, этого не подтверждают. Несмотря на то что окружающая среда немного влияет на темпы созревания белого и серого вещества мозга, сроки принципиальных этапов развития мозга находятся под биологическим контролем. С этим согласны и социологи: склонность к риску, поиск новых ощущений и уход к сверстникам встречаются во всех культурах.

Слабые и сильные стороны

С помощью МРТ у подростков выявляются изменения серого и белого вещества и развитие связей. Это означает, что главная особенность мозга подростка — происходящие в нем серьезные изменения. И хотя с возрастом такая пластичность снижается, все равно у людей она сохраняется гораздо дольше, чем у других видов.

Затянувшееся созревание и длительное поддержание пластичности позволяют нам иметь свободу выбора не только в рамках индивидуального развития, но и в процессе эволюции нашего вида. Мы благополучно живем везде, от холодного Северного полюса до жарких островов на экваторе. С помощью технологий, разработанных мозгом, мы можем обитать даже в космических аппаратах на орбите нашей планеты. Всего 10 тыс. лет тому назад (мгновение для эволюции) мы проводили большую часть жизни в поисках еды и крова. Сегодня многие из нас проводят большую часть времени, взаимодействуя со словами и символами, при том что читать человечество умеет всего 5 тыс. лет. Длительное сохранение пластичности отлично служит нашему виду, но имеет и свои негативные стороны. На подростковый возраст приходится пик возникновения некоторых видов психических расстройств, включая тревожные расстройства, биполярное расстройство, депрессию, нарушения пищевого поведения, психозы и наркоманию. У половины людей с психическими расстройствами симптомы заболевания проявляются до 14 лет, а у 75% — до 24 лет.

Связь между нормальными изменениями в мозге подростка и психическими расстройствами очень сложна, но ее можно описать метафорой «подвижные элементы ломаются». Идея в том, что интенсивный рост мозга и связей увеличивает вероятность возникновения какой-либо проблемы. Например, практически все ненормальные особенности мозга при шизофрении напоминают обычные для подросткового возраста, но зашедшие слишком далеко изменения.

Подростковый возраст по многим причинам — самое здоровое время в жизни. В этот период у большинства людей хорошая иммунная система, низкая вероятность раковых заболеваний, устойчивость к жаре и холоду и много других замечательных свойств. Однако, несмотря на хорошую физическую форму, серьезные заболевания и смертельные случаи среди подростков встречаются в два-три раза чаще, чем у детей. Главная причина — дорожно-транспортные происшествия, на их долю приходится половина всех подростковых смертей. Убийства и самоубийства занимают второе и третье место. На всю жизнь сильные жесткие отпечатки оставляют подростковая нежелательная беременность, венерические заболевания и поведение, приведшее к тюремному заключению.

Итак, что же могут с этим сделать врачи, родители, учителя, да и сами подростки? Поскольку новых психиатрических препаратов мало и мозг подростков интенсивно реагирует на внешние воздействия, лучше использовать немедикаментозное вмешательство, особенно в раннем возрасте, когда мозг еще быстро развивается. Примером может служить лечение обсессивно-компульсивного расстройства, когда пациента помещают в обстановку, вызывающую навязчивые мысли, и постепенно изменяют его реакцию на эту ситуацию. Такой метод весьма эффективен и может избавить пациента от дальнейших проблем. Поняв, что мозг меняется на всем протяжении подросткового периода, пора уже отказаться от представления, что «молодежь неисправима». К счастью, своевременным вмешательством можно поправить жизнь подростка.

Однако необходимы дополнительные исследования. В настоящее время нет подходящих условий для изучения подростков, финансирование данной темы минимально и крайне мало нейробиологов специализируются именно на этой возрастной группе. Обнадёживает, что по мере того, как проявляются механизмы и факторы, влияющие на развитие мозга в подростковом возрасте, все больше и больше ученых начинают интересоваться вопросами, как минимизировать риски для молодых людей и как использовать поразительную пластичность их мозга.

Понимая, что мозг в этом возрасте — уникальная быстро меняющаяся структура, родителям, обществу и самим подросткам будет легче управлять рискованным поведением, они смогут лучше использовать имеющиеся возможности. Родители, зная о том, что управляющие функции префронтальной коры еще не до конца развились, не будут принимать близко к сердцу выкрашенные в ярко-оранжевый цвет волосы своей дочери, но утешатся мыслью, что здравомыслие появится в дальнейшем. Благодаря высокой пластичности мозга

подростка можно надеяться, что конструктивный разговор о вопросах свободы и обязанностей повлияет на развитие этих качеств.

Способность подростков легко адаптироваться заставляет задуматься о влиянии цифровой революции, крупнейшего технологического прорыва в истории. Компьютеры, сотовые телефоны, игры и приложения за последние 20 лет глубоко проникли в жизнь молодых людей. Им доступна любая информация в огромных количествах — однако разное качество. Главным навыком в будущем станет не умение запомнить нужную информацию, а способность критически оценить огромное пространство данных, выбрать из него суть и приложить к решению реальной задачи. Педагогам следует направить обучение подростка на решение задач цифрового века.

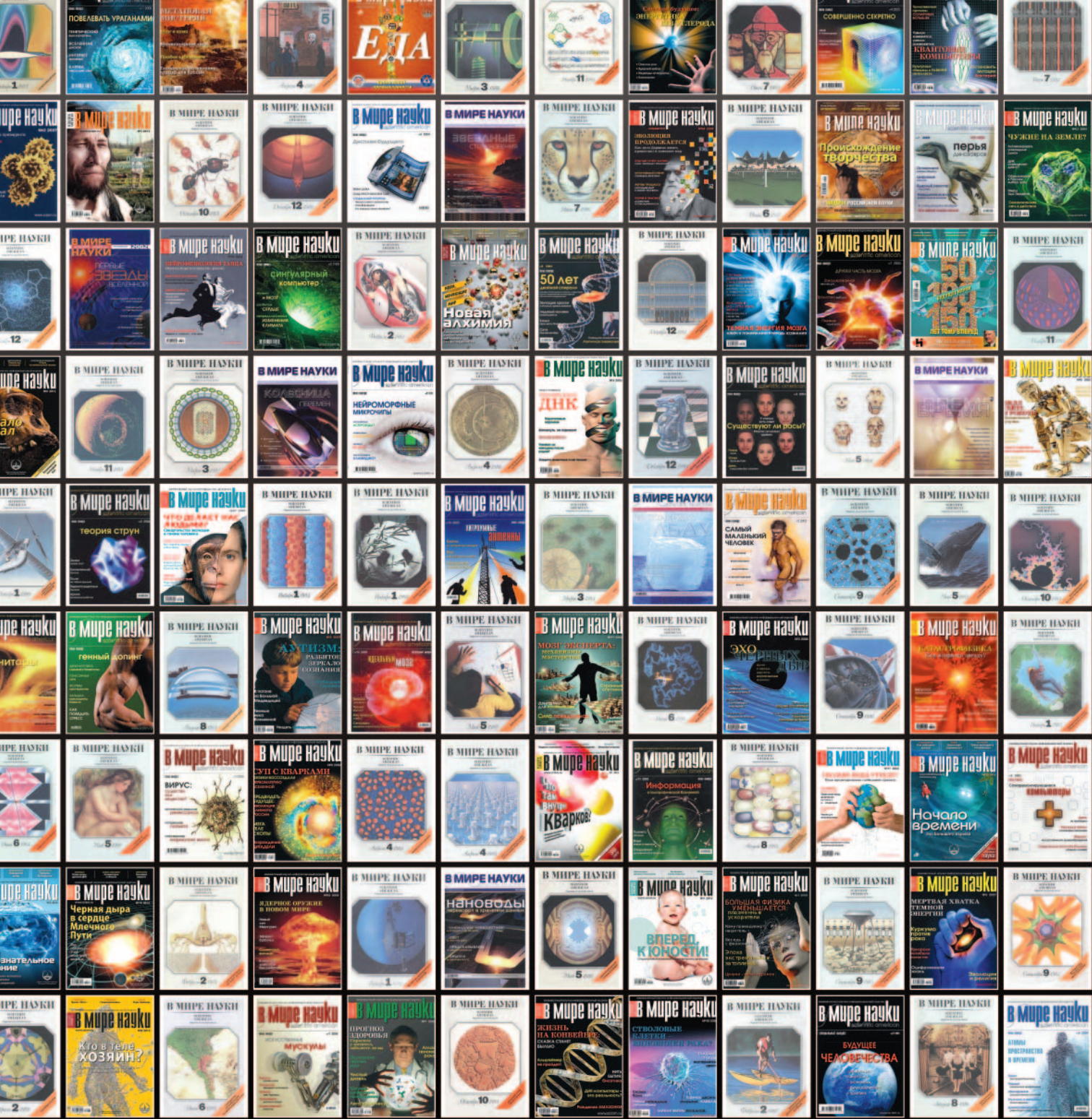
Большое общество предоставляет и большие возможности. Можно, например, использовать стремление к творчеству и находчивость, свойственные уникальному подростковому возрасту. Важно понимать: подростковые годы — это переломный момент, определяющий, вырастет ли человек мирным или же агрессивным гражданином. Во всех культурах именно подростков проще всего завербовать в солдаты или в участники террористической организации, но, с другой стороны, в этом возрасте легко повлиять и на становление будущих учителей или инженеров. Судьям и присяжным тоже надо понимать, что происходит в мозге у подростка, чтобы принимать адекватные решения по уголовным делам.

Самых подростков новые нейробиологические открытия могут побудить начать интенсивно осваивать те навыки, которые они хотят закрепить на всю жизнь. У них есть восхитительная возможность сформировать свою личность и оптимизировать работу мозга в соответствии с тем будущим, которое они для себя выберут, — независимо от настоящего их родителей. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Primal Teen: What the New Discoveries about the Teenage Brain Tell Us about Our Kids. Barbara Strauch. Doubleday, 2003.
- Development of Brain Structural Connectivity between Ages 12 and 30: A 4-Tesla Diffusion Imaging Study in 439 Adolescents and Adults. Emily L. Dennis et al. in *NeuroImage*, Vol. 64, pages 671–684; January 1, 2013.
- Age of Opportunity: Lessons from the New Science of Adolescence. Laurence Steinberg. Houghton Mifflin Harcourt, 2014.
- The Myth of the Teen Brain. Robert Epstein; *Scientific American Mind*, April/May 2007.
- Материал, посвященный эффективности наказания несовершеннолетних правонарушителей, см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2015/giiedd



Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала «В мире науки» — на сайте издания по адресу:
www.sciam.ru/projects/dvd-electronic-catalogue

ежемесячный научно-информационный журнал
SCIENTIFIC AMERICAN
В мире науки

АРХИВ





ПСИХОЛОГИЯ

Музыка для тела и души

Пение объединяет людей и помогает облегчить недомогание. Нейробиологи и психологи исследуют корни этого феномена

Елена Бернард

Тромкое пение разносится по залам Университетской клиники Кельна. То один голос, а то и целый хор почти из 20 пациентов клиники, больных раком, и медицинского персонала. Мелодии просты, тексты легко запоминаются, чтобы каждый мог подпевать. «Здесь не может быть ошибок, только вариации» — говорит музыкальный терапевт Норберт Херманнс (Norbert Hermanns), один из руководителей вокальной группы. Каждую неделю участники собираются в часовне клиники и поют. Ноты или либретто им не нужны. Если песню несколько раз повторить, певцы и так быстро ее запомнят. С пылом и сопровождающими текст жестами они расппевают веселые или спокойные, порой медитативные песни. Иногда после этого следуют слезы. «Многие пациенты ищут через пение выход к собственным чувствам и таким образом дают им волю. Так приходит облегчение» — объясняет Херманнс.



Вновь и вновь он наблюдает за тем, как люди с серьезными заболеваниями, музицируя вместе, обретают надежду и новые силы. «Голос и настрой тесно связаны между собой» — утверждает музыкальный терапевт. Тот, кто повышает голос, чувствует себя более уверенно. В то же время пение способствует самопознанию и налаживанию контактов с другими. «Для больных раком, которые из-за своей болезни часто чувствуют себя изолированными, это очень важно».

То, что музыка способна изменить настроение и вызвать сильные эмоции, каждый испытывал не раз — будь то на концертах, футбольном стадионе или в опере. Но как именно воздействуют звуки на наш мозг? Изучением этого вопроса занимается музыкант и нейробиолог Штефан Кельш (Stefan Koelsch). Профессор биологической психологии и музыкальной психологии Свободного университета Берлина играет участникам своего исследования музыку, вызывающую различные эмоции: от радости до печали. Использование диагностической визуализации демонстрирует, как активируются при этом области мозга.

В дофаминовом дурмане

Уже давно было установлено, что никакой специальной «музыкальной» области мозга не существует. Вместо этого мелодии и ритмы активируют сети всего мозга, в том числе и в системе поощрения. Как, например, секс или еда, приятная музыка усиливает выброс нейромедиатора дофамина, известного как «гормон счастья». Неудивительно, что любимая песня прогоняет плохое настроение. Даже гиппокамп реагирует на музыку. Он играет важную роль для эмоций во время обучения или воспоминания. «Это означает, что чувства основываются не только на реакции системы поощрения», — объясняет Кельш. Так, гиппокамп, в свою очередь, тесно связан с гипоталамусом в мозге, музыка отвечает



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Пение имеет множество благотворных эффектов, которые помогают врачам и психологам в лечении различных заболеваний.
- Наравне с физиологическими эффектами в болеутоляющей терапии совместное музицирование может избавить от страхов и депрессий.
- Многие клиники усиленно внедряют пение и занятия музыкой в концепции лечения.

за отдых: гипоталамус регулирует гормоны стресса, такие как кортизол, и выделяет нейромедиатор окситоцин, способствующий межличностной связи. «Для таких социальных видов, как наш, это базовая потребность», — говорит Кельш.

С объединяющей силой музыки знаком и Штефан Шмидт (Stefan Schmidt). Пианист основал в 2009 г. в Берлине хор для бездомных, наркозависимых и других людей с социальными проблемами. «Уличный хор» в среднем состоит из 40 человек, регулярно репетирующих и уже успевших дать несколько больших концертов. «Люди узнают здесь, что такое уважение и признание. Для многих этот хор стал семьей». Еженедельные встречи стали постоянной величиной в чаще всего беспорядоч-

Ученые говорят: тот, кто занимается музыкой, чаще смеется — она улучшает настроение

ной жизни участников хора. Во время репетиций никто не может быть пьяным или находиться под действием наркотиков. Это правило помогло уже многим бороться со своей зависимостью. Некоторые певцы, пришедшие бездомными в «уличный хор», смогли найти работу или начали учиться.

«Войти вновь в рабочую жизнь бездомному сложно. В нашем же хоре процент успешно восстановившихся велик», — рассказывает Шмидт. Причиной этому может быть то, что люди, которые больше не верили в себя, через свои вокальные успехи и признание другими снова обретают доверие к самим себе. «Они замечают, что если постоянно над чем-то работать, то из этого может получиться что-то хорошее. Это дает надежду в том числе и на то, что можно попробовать себя и в других областях».

Свои музыкальные требования Штефан Шмидт, также руководящий камерным хором, для «уличного» не снижает: «Для певцов очень важно быть востребованными. Кроме того, они верят в то, что все сложные куски мы освоим вместе». Часто концерты перед большой публикой становятся и важным опытом: «Бездомные привыкли, что люди воротят нос при их виде. С хором же они находятся в центре внимания и в конце собирают овалции».



Вокальная группа больницы под руководством Норберта Херманнса наоборот репетирует не ради выступлений. Пение имеет здесь скорее медитативную функцию, а сообщество играет важную роль. Несмотря на то что сюда постоянно приходят новые люди, царит интимная атмосфера, способствующая чувству защищенности. «Мы подбадриваем друг друга с помощью мелодий, жестов и текстов. Это трогает меня почти так же, как молитва», — рассказывает одна певица.

Заболевания участников хора не скрываются, но и не выходят на первый план во время совместного пения. Для Агаты Клевер (Agatha Klewer), одной из основателей группы, это важно. Уже пять лет у нее хроническое раковое заболевание лимфатической системы. Она знает, что,

несмотря на многочисленные сеансы терапии, опухоль рано или поздно вернется. Пение помогает ей оставить прошлое позади и меньше беспокоиться о будущем. «Когда я здесь, я чувствую себя здоровой, — говорит она. — Так я набираюсь сил для своей повседневной жизни».

Большая часть певцов — онкологические больные, лишь немногие из них лечатся паллиативно. Вокальная группа открыта и для людей с такими заболеваниями, и для сотрудников клиники. Одна из медсестер рассказывает: «У меня были кровоизлияния в мозг и депрессии. Участие в хоре, более нацеленном на конкретный результат, было бы для меня слишком трудным. Но пока существует эта группа, я знаю, что не окажусь снова в глубокой депрессии».



Пение может укрепить не только душу, но и тело: дыхание становится глубже и — в такт музыке — более равномерным. На этом эффекте строятся, например, практики музыкальной терапии для людей с заболеваниями легких, такими как ХОБЛ (хроническая обструктивная болезнь легких, также известная как «болезнь курильщика»). Пение помогает пациентам сознательно контролировать свое дыхание, правильно выпрямляться, чтобы воздух оптимально поступал и выходил. Таким образом повышается и качество их существования. Первые исследования показывают, что регулярные занятия в хоре улучшают функционирование легких и облегчают такие симптомы, как, например, одышка.

Толчок для иммунной системы

Пuls адаптируется к ритму музыки. Так, сердца людей, поющих вместе в хоре, бьются синхронно, что, опять-таки, по аналогии с окситоцином в мозге, способствует межличностным связям и сотрудничеству. Пение воздействует даже на иммунную систему: исследователи во главе с Гюнтером Кройцем (Gunter Kreutz) во Франкфуртском университете им. Гете измерили уровень антител иммуноглобулина А у участников любительского хора до и после репетиции. Он обеспечивает защиту от патогенных микроорганизмов. Результаты исследования показали, что в конце часовой репетиции хора уровень иммуноглобулина а в слюне выше, чем в начале. Просто прослушивание музыки не оказало никакого эффекта на иммунную систему.

Тем не менее, по данным других исследований, даже прослушивание музыки имеет значительные эффекты. Она способна не только поднять нам настроение, но и помочь организму выработать болеутоляющие эндорфины. Этот эффект может быть использован в терапии: исследователи во главе с Ульрикой Нильсон (Ulrica Nilsson) из шведского Университета Эребру обнаружили, что люди, которые слушают музыку непосредственно во время операции или сразу после нее, испытывают меньшую боль и, как следствие, нуждаются в более низкой дозе обезболивающих.

К похожим результатам пришли ученые под руководством Шитцу Хуана (Shih-Tzu Huang): в рамках исследования 126 больных раком из Тайваня они обнаружили, что люди, которые в течение 30 минут слушали буддийские гимны или народные

песни, обозначали свою боль как более слабую по сравнению с теми, кто эти песни не слушал. Конечно, музыкальная терапия не может заменить обезболивающее. Но исследователи утверждают, что этот способ из-за его низкой стоимости и простоты методики стоит использовать в клиниках в качестве дополнения.

Кельнский музыкальный терапевт Норберт Херманнс, однако, исходит из того, что активное пение еще более эффективно, — в конце концов, таким образом стимулируется не только мозг, но и весь организм. Не зря большинство репетиций начинаются с упражнений на расслабление тела. Перед тем как певцы возьмут первую ноту, они встряхивают руками и ногами, массируют челюсть и шею, активируют диафрагму короткими вдохами.

Люди поют по совершенно разным причинам; по ту сторону художественных амбиций для многих членов хора на первом плане стоят радость от музыки и друг от друга

Участники вокальной группы Херманнса также начинают каждую репетицию с расслабления мышц. «Это важно, потому что страх и стресс часто вызывают болезненное напряжение, — говорит руководитель. — Пение способствует релаксации, совместно со спонтанным выражением чувств оно снимает боль».

Некоторые из участников группы до болезни играли на музыкальных инструментах или пели, кто-то — даже профессионально. Многие, наоборот, прежде были уверены, что они немзыкальны, и впервые пришли к пению во время терапии. «Предыдущий опыт не имеет значения. Важно, что человек получает удовольствие от этого, — говорит Херманнс. — К этому приходят сами!» Невролог Штефан Кельш пошел еще дальше: «Немузыкальных людей нет». Музыка может принести радость любому, считает он, вне зависимости



от того, насколько он в этом искусен. «Музыка — в природе человека. Когда мы слышим захватывающую песню, это совершенно нормально, что мы чувствуем необходимость к ней присоединиться. Мы притопываем ногой, двигаемся в такт или начинаем вслух подпевать».

Голосом поднимать настроение

Кроме прочего, настроение музыки передается слушателям. Как именно это работает, изучали французские исследователи под руководством Стефани Обер-Хальфа (Stéphanie Aubert-Khalifa) из Средиземноморского университета в Марселе. Они сыграли ряд композиций 50 участникам исследования, которые в результате почувствовали либо грусть, либо радость. Параллельно они фиксировали различные физические реакции.

Бессознательно активировались мышцы, отвечающие за улыбку, когда человек слышал радостную музыку, электропроводность кожи становилась выше, как и частота дыхания. Печальная музыка, наоборот, заставляла нахмуриться. Последующий опрос подтвердил, что музыка воздействует на настроение респондентов.

Для сравнения исследователи включили просто ритмы, отказавшись от мелодий, и отметили, что в таком случае физические реакции в значительной мере отсутствовали, эмоционального «заражения» также практически не было. Вероятно, именно эти бессознательные телесные реакции во многом гарантируют эмоциональный отклик человека на музыку. Аналогичный эффект знаком исследователям мимики: люди невольно подражают мимике своего окружения. Так они могут не просто более глубоко сопереживать другим, но и одновременно «заражаться» чужим настроением.

Например, люди, страдающие аутизмом, имеют большие трудности с чтением эмоций на лицах окружающих. Но так ли они слепы к эмоциям музыки? Канадский психолог Ева-Мари Квинтин (Eve-Marie Quintin) из Квебекского университета в Монреале со своими коллегами просила 26 подростков-аутистов и их нормально развивающихся ровесников прослушать различные аудиоклипы и оценить, были ли они радостными, грустными, вселяющими страх или безмятежность. Подростки-аутисты справились с заданием почти так же хорошо, как их ровесники.

Возможно, музыка помогает людям, страдающим аутизмом, лучше воспринимать и выражать свои эмоции. Мелодии активируют в лобной доле головного мозга языковые области, которые у аутистов обычно не реагируют на речь. Это доказали исследования Грейс Лэй (Grace Lai) и ее коллег из Колумбийского университета в Нью-Йорке, проведенные с помощью методов диагностической визуализации. В исследовании приняли участие 36 детей-аутистов.

В целом музыка и язык тесно связаны между собой. Штефан Кельш выяснил, что в нашей голове существует некоторый вид музыкального синтаксиса: во время прослушивания композиции неожиданный аккорд вызывает те же мозговые сигналы, что и грамматически неправильное слово в предложении. «Многие респонденты после эксперимента утверждают, что ничего особенного в музыке не заметили. Тем не менее их ЭЭГ четко показывает наличие определенной реакции. Наш мозг, видимо, изначально музыкален, даже если мы не замечаем этого».

В нашем обществе чаще всего поют только те, у кого это хорошо получается, — по крайней мере за пределами ванной и в трезвом состоянии. Тот, кто еще в детском саду выводил трели, часто не решается даже в день рождения спеть песню с коллегами. Возможно, этот страх показаться смешным потому так велик, что мы во время пения должны отпустить эмоции и открыть себя. Как раз в этом и заключается большая сила. ■

Перевод: Е.С. Новоселова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Kreutz, G.: Warum Singen glücklich macht. Psychosozial, Gießen, 2014.
- Bradt, J. et al.: Music Interventions for Improving Psychological and Physical Outcomes in Cancer Patients. The Cochrane Collaboration, 2011.
- Koelsch, S.: Brain Correlates of Music-Evoked Emotions. In: Nature Reviews Neuroscience 15, S.170-180, 2014.
- Vickhoff, B. et al.: Music Structure Determines Heart Rate Variability of Singers. In: Frontiers in Psychology 10.3389/fpsyg.2013.00334, 2013.
- Больше информации см. по адресу: www.spektrum.de/artikel/1317680



Социальное животное

У многих видов животных дружеские отношения между отдельными особями влияют на поведение

**Ли Алан Дугаткин
и Мэтью Хасенъягер**

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Представители многих видов животных, как и люди, образуют сложную социальную систему, которая влияет на поведение отдельных особей и группы в целом.
- Для анализа социальных систем у животных исследователи используют методы, изначально разработанные для анализа человеческих отношений.
- Структура сообщества у животных играет важную роль в формировании половых отношений, распространении болезней, передаче информации и обучении жизненно необходимым навыкам.
- При анализе социальных отношений выяснилось, что существуют особи, не участвующие в поддержании общего благополучия сообщества.

О

чень многое в нашей жизни зависит от того, с кем мы поддерживаем социальные отношения. Мы полагаемся на мнения родственников, друзей наших друзей, коллег и их знакомых практически во всем: какие книги читать, за кого голосовать, какую искать работу. И в этом уникальностью нас никак не назовешь. У множества видов животных социальные отношения влияют на повседневное поведение и, конечно, на выживание. Уже многие десятилетия известно, что и шимпанзе, и другие приматы формируют сложные социальные отношения. Как выяснилось из более свежих исследований, чтобы полностью понять поведение отдельной птицы, дельфина и другого животного, необходимо учитывать социальный контекст. Эти открытия могут повлиять на многие области начиная от проблемы сохранения видов и заканчивая попытками разобраться в наших социальных связях.

ОБ АВТОРАХ

Ли Алан Дугаткин (Lee Alan Dugatkin) — профессор биологии Луисвиллского университета, автор научно-популярных книг «Формула альтруизма: семь ученых в поисках истоков доброты» (*The Altruism Equation: Seven Scientists Search for the Origins of Goodness*) и «Мистер Джефферсон и гигантский лось: естествознание в эпоху становления американского государства» (*Mr. Jefferson and the Giant Moose: Natural History in Early America*) и 150 научных статей.

Мэтью Хасенъягер (Matthew Hasenjager) — аспирант в лаборатории Дугаткина. Его диссертация посвящена социальным взаимодействиям у животных.



Используя на животных методы, разработанные для исследования группового поведения людей, мы получаем возможность иначе взглянуть на наше собственное поведение.

Почему необходимо исследовать социальные связи

Чтобы понять, насколько важны социальные связи, потребовались много времени и новые подходы в этологии — науке об изучении поведения животных.

В 1930-х гг. будущий нобелевский лауреат Конрад Лоренц описал явление запечатления (импринтинга) у гусей — врожденную способность вылупившегося птенца в определенный критический период формировать эмоциональную привязанность к первому встреченному опекуну. Тогда утвердилась идея, что большинство животных — по сути своей автоматы с жестко запрограммированным поведением, которое контролируется генами.

Однако вскоре исследователи поняли, что со встроенными генетическими программами взаимодействуют факторы внешней среды. Поведение животных определяется совместным влиянием генов и индивидуального опыта. Кажется, что данное утверждение многое объясняет, но на самом деле оно не несет большой пользы: результат любого воздействия на организм определяется генами и средой.

Далее ученые начали выяснять, как обучение методом проб и ошибок влияет на формирование поведения. Благодаря этим работам и полевым наблюдениям стало ясно, что животные гораздо умнее, чем считалось ранее: шимпанзе и вороны используют орудия, попугаи решают логические задачи, слоны отключают электрические изгороди, сбрасывая на них большие камни. Изучая проявления интеллекта, исследователи заметили, что некоторые животные, живущие группами, могут обучаться, копируя поведение сородичей. Так, какая-то особь может получить полезную информацию, посмотрев, куда обращено внимание других членов группы.

Физики знают, что как только проблема выходит за пределы задачи о двух телах, она становится невероятно сложной. Первые попытки изучения социальных отношений охватывали взаимодействия двух или трех особей. В этих работах изучалось, как одна особь выбирает того же полового партнера, что и другая, как член группы оценивает боевые способности своего конкурента или как ловкий тунаец ворует еду у более обеспеченного сородича. Однако чем больше этологи изучали такое поведение, тем сильнее крепло их убеждение в том, что взаимодействия нескольких особей — лишь бледная тень по сравнению со сложными социальными отношениями, объединяющими всех членов группы. Чтобы полностью понять, как устроено общество у животных, надо было признать, что животные, как и люди, образуют сложные социальные сети, связывающие каждую особь со всеми другими членами группы.

Как изучают социальные связи

Современный этап развития исследований начался около 15 лет назад, когда этологи стали применять методы, разработанные социологами для изучения связей внутри человеческого общества. Социологи сначала использовали этот подход для исследования связей среди коллег по работе и соседей, а затем для анализа взаимодействий в виртуальных сетях вроде *Twitter* или *Facebook*.

Социальные отношения у животных варьируются от самых простых, как, например, косяк рыб, передвигающихся вместе, до значительно более сложных, как у павианов, где каждая особь вовлечена в разные системы отношений (брачные, иерархические и другие), которые могут напрямую или косвенно влиять на членов группы. Социальная структура часто меняется: особи приходят и уходят, в результате болезни или благодаря полученным знаниям изменяются их положение в группе и связи с ее участниками.

И в сложных и в простых сообществах взаимодействия между членами группы крайне важны для выживания и размножения. От социальной структуры зависят точность и скорость поступления

информации о доступной пище, хищниках или половых партнерах. Структурой группы определяется, кто с кем дерется, кто кому помогает или кто от кого зависит. Даже заболевания и паразиты могут передаваться не только напрямую от особи к особи, но и через общение двух животных с третьим — посредником.

При исследовании социальности животных ученые выделяют несколько ключевых понятий: основная особь (та, у которой максимальное количество социальных связей и чье изъятие разрушит всю структуру); узлы (любая особь, входящая в группу); плотность сети (отношение числа реальных связей в сети к общему числу потенциально возможных); степень вершины (общее число связей каждой особи); охват (число друзей у друзей особи) и центральность (соотношение числа социальных связей, включающих данную особь, к общему числу связей в группе). Например, у большинства жителей США в масштабе страны очень

«полицейский отряд» состоит из высокоранговых самцов, тратящих свои силы и время на прекращение драк между членами группы.

В середине 2000-х гг. Джессика Флак (Jessica Flack) из Института Санта-Фе со своими коллегами (в их числе был известный приматолог Франс де Вааль (Frans de Waal) из Университета Эмори) изучали роль такой полиции в группе из 84 макак, живущих в Национальном центре приматологических исследований им. Йеркса при Университете Эмори. Чтобы узнать функцию какого-нибудь гена, ученые могут выключить его и наблюдать за произошедшими изменениями. Группа под руководством Флак применила аналогичный подход к макакам. Исследователи удалили из группы обезьян трех «полицейских» и стали ждать.

Потеря низкоранговых самцов мало повлияла бы на социальную структуру группы, но, как и ожидалось, отсутствие полиции привело к росту агрессивности в группе и ослаблению примирительных



Социальные связи могут влиять на очень многое в жизни животных: на вероятность спаривания длиннохвостого манакина (слева), на групповую чистку шерсти у макак (в центре) и на стремление афалин ловить кефаль вместе с рыбаками у берегов Бразилии (справа)

низкая центральность, но практически каждый из них знает президента и может обратиться к нему через местные службы. Центральность президента, соответственно, приближается к 100%.

Чтобы показать, как социальные связи работают в природе и как они могут определять поведение группы, мы рассмотрим особенности социальных взаимодействий у трех видов животных.

Полиция макак следит за целостностью группы

Свинохвостые макаки (*Macaca nemestrina*) создают множество социальных объединений, каждое из которых состоит из партнеров по играм или по грумингу (чистке шерсти). Объединения могут различаться по размеру, и у каждой обезьяны могут быть разные предпочитаемые партнеры в разных объединениях. Какая-нибудь макака может в одном случае занимать более важное положение, в другом — менее. Все обезьяны пристально контролируются несколькими авторитетными особями, которые поддерживают порядок. Этот

ритуалов после драк. Менее предсказуемым результатом было то, что социальные объединения для игр или груминга подверглись глобальной перестройке.

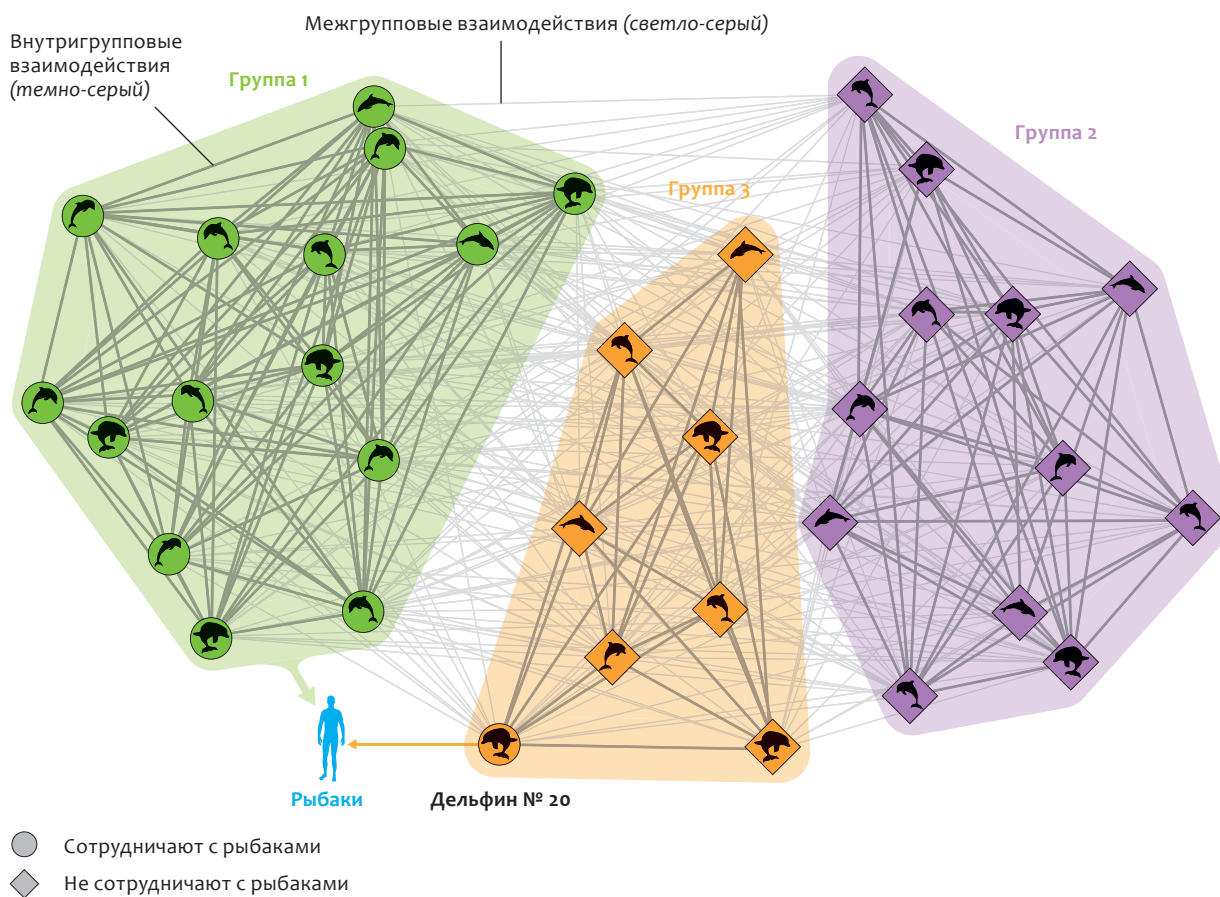
С исчезновением полиции количество партнеров по игре или грумингу заметно снизилось, т.е. снизился показатель степени вершины для каждой из этих сетей. Кроме того, для оставшихся обезьян уменьшился и показатель охвата, т.е. числа друзей их друзей. Более того, сплоченность всей группы ослабла, произошло что-то вроде балканизации — распада большой группы на несколько меньших, более однородных и редко контактирующих друг с другом. На основе этих наблюдений Флак пришла к выводу, что именно присутствие полиции помогает поддерживать многочисленную группу в хорошем состоянии, с обширными дружественными контактами между участниками.

Эксперименты, в которых показано, что некоторые особи особенно важны для сохранения группы,

ДЕЛЬФИН И ЧЕЛОВЕК ОБЪЕДИНЯЮТСЯ ДЛЯ ЛОВЛИ РЫБЫ

Некоторые (только некоторые!) особи из популяции дельфинов, обитающих около Лагуны в южной Бразилии, образовали уникальный альянс с местными рыбаками для ловли кефали с помощью сети. Местные дельфины создали три группы. Все особи из первой группы (зеленый) сотрудничают с рыбаками (обведены в кружки) и интенсивно общаются между собой (линии, связывающие особей). В группе 2 (фиолетовый), особи менее интенсивно общаются между собой и никто из них

не помогает рыбакам (обведены в квадрат). В группе 3 (оранжевый) также никто не интересуется контактом с рыбаками, кроме одного интересного исключения. Это дельфин под номером 20 (в оранжевом кружке). Эта особь помогает людям и связывает свою группу и группу 1. Возможно, потом он еще научит группу 3 ловить рыбу вместе с людьми. В результате сотрудничества людей и дельфинов улов увеличивается и у тех и у других.



убедительно свидетельствуют о значимости знаний о социальной структуре животных для сохранения вида. Возьмем, например, косаток (*Orcinus orca*). По всей видимости, важнейшими узлами для передачи информации о возможности питания и других аспектах жизни в море служат молодые самки. Соответственно, все действия, приводящие к разрушению связей между ними или уничтожению этих особей, например охота или постройка каких-либо барьеров, мешающих их свободному передвижению, нарушат социальную сеть косаток, что снизит способность к выживанию целой группы. Если наши политики будут знать эти факты, то, может быть, удастся снизить силу разрушительного воздействия человека на этих удивительных животных.

Социальная сеть птиц: песни и танцы

Поведение птиц в естественной среде обитания можно использовать для анализа их социальных связей. Длиннохвостый красноногий манакин (*Chiroxiphia linearis*) живет в Центральной Америке. Самцы этих птиц поразительно красивы. Их тела покрыты сине-фиолетовыми перьями, на голове красная шапочка, и, что очевидно из названия, у них длинный тонкий хвост. Увидев двух самцов вместе на одной веточке, можно с удовольствием наблюдать ритуальную последовательность песен и танцев. Самки манакина смотрят и оценивают такие представления. Множество самцов желают выступить в этом состязании, но, к несчастью, путь к месту в таком дуэте труден и часто сопряжен с агрессией и конфликтами.

SOURCE: "THE STRUCTURE OF A BOTTLENECK DOLPHIN SOCIETY IS COUPLED TO UNIQUE FORAGING COOPERATION WITH ARTISANAL FISHERMEN," BY F. G. DAURA-JORGE ET AL., IN BIOLOGICAL LETTERS, VOL. 8, NO. 5, OCTOBER 23, 2012

Дэвид Макдональд (David McDonald) из Вайомингского университета провел более десяти лет в Коста-Рике, потратив на наблюдения за птицами 9288 часов. Используя методы анализа социальных сетей, он обнаружил, что место в этом ночном шоу с большей вероятностью получают самцы с высоким значением показателя степени вершины.

Это состязание, равно как и любой танцевальный турнир, устроено довольно сложно. Вкратце его можно описать так: группа из 8–15 самцов располагается в зоне, где имеются одна или несколько веток, на которых в конечном итоге и будет происходить выступление. Вне сезона размножения (с конца февраля по начало сентября) или даже во время этого сезона, пока самки нет рядом, любой самец может попробовать спеть и станцевать. Но с появлением самки только два самых высокоранговых самца (альфа и бета) могут петь и танцевать на ветке. Эти две особи объединяются и прогоняют всех других самцов в округе.

Обычно побеждает альфа-самец. Выгода для бета-самца в том, что когда альфа умрет, именно он займет главенствующее положение. Такая система предоставляет огромное преимущество для этих двух особей: у них есть то, чего все хотят, но мало кому удается достичь.

Молодые самцы в возрасте от года до шести лет активно передвигаются между разными зонами около «сцены», устанавливая социальные связи с другими самцами. К десяти годам, а это возраст, в котором самцы приступают к размножению, каждая особь включается в большую социальную сеть с другими самцами. За почти 10 тыс. часов наблюдений Макдональд проследил, кто среди самцов с кем общался в каждый из годов на протяжении более десяти лет. Он построил карту этих социальных связей, по которой можно было бы предсказать, какой из самцов победит и выйдет на сцену в состязательном дуэте.

Показатели, которые он измерял, учитывали как короткие и прямые связи между особями, так и длинные, когда две птицы связаны через несколько особей. Это можно описать так: «Я не знаю Берта лично, но я знаю Кермита, который знает Эрни, а он уже знает Берта». Макдональд показал, что ключевым параметром в данном случае была центральность. Чем выше была центральность у самца, тем выше было его место в иерархии птиц, позволяя даже достичь статуса альфы или беты, подняться на сцену и с помощью песен и танцев найти путь к сердцу самки.

Важно отметить, что такие исследования выявляют социальную структуру и сопоставляют ее с наблюдаемым поведением. При этом прямая причинно-следственная связь между ними лишь предполагается, но не доказана. Возможно, что

альфа- и бета-самцы получают свой статус не потому, что у них много социальных связей, а потому, что у них есть свои индивидуальные особенности, которые обеспечивают популярность у сородичей и, соответственно, множество связей.

Дельфины и рыбаки

Как уже говорилось, многие методы изучения структуры групп у животных пришли к нам из социологии. Неудивительно, что одними из первых животных, кого стали исследовать таким образом, были дельфины афалины. Эти умные создания похожи на нас (в лучшие наши годы) большим мозгом и сложной социальной структурой.

В конце 1990-х гг., аспирант Дэвид Луссо (David Lusseau) увлекся афалинами (*Tursiops truncatus*), обитающими в изумительном Даутфул-Саунде, фьорде на юге Новой Зеландии, недалеко от Университета Отаго, где Луссо в то время писал дис-

Наше представление о поведении животных принципиально изменилось с тех пор, как считалось, что животные похожи на роботов, строго выполняющих генетические программы

сертацию. Семь лет Луссо следил за этими красивыми животными. С помощью фотографий он смог идентифицировать каждого из 64 дельфинов этого фьорда по уникальному расположению естественных меток и пятен на теле.

Сделав более тысяч наблюдений за тем, как эти 64 особи образовывали стаи различного размера, Луссо определил, что эти дельфины формируют одну большую социальную сеть, дистанционно объединяющую всех их. Более того, он показал, что отдельные особи предпочитали компанию только определенных других особей. Однако Луссо не понял, почему так происходит. Какую роль выполняют дельфины стаи, как среди их членов распространяется информация и в чем их преимущество?

Чтобы ответить на эти вопросы, Луссо объединился с Пауло Симоэш-Лопешем (Paulo C. Simões-Lopes), сотрудником лаборатории водных млекопитающих в Федеральном университете штата Санта-Катарина в Бразилии. Вместе они изучили группу из 55 афалин, обитающую на другой стороне земного шара. Дельфины этой популяции демонстрируют уникальное поведение: они взаимовыгодно сотрудничают с местными рыбаками вида *Homo sapiens*.

Каждую весну с апреля по июнь бразильские рыбаки, живущие рядом с городом Лагуной, рыбачат, применяя технологии, пришедший с Азорских островов более 200 лет назад. Они забрасывают в море длинные сети, чтобы поймать косяки кефали (*Mugil platanus*), мигрирующей из более холодных аргентинских вод. В последнее время рыбакам стали помогать некоторые (но только некоторые!) афалины, которые гонят косяк рыбы под водой прямо на рыбаков. В нужный момент дельфин шлепает по воде хвостом или головой. Этот звук говорит партнеру-человеку, когда и куда надо забросить сеть. В результате этого удивительного сотрудничества оба вида ловят вместе больше рыбы, чем поодиночке.

Преыдушие исследования Луссо подсказали ему, что метод изучения социальных сетей может выявить важные детали этого невероятного поведения. С сентября 2007 г. по сентябрь 2008 г. Луссо, Симоэш-Лопеш и их коллеги объезжали систему лагун на катерах, рассматривая и идентифицируя дельфинов, и выясняли, какие особи плавают вместе. Ученым удалось получить достоверные данные про 35 из 55 животных из этой популяции. Даже такой неполный материал однозначно свидетельствовал о сложной структуре социальной системы дельфинов.

Статистический анализ показал, что дельфинов можно разделить на три группы, в которых особи проводят большую часть своего времени. Животные каждой группы предпочитали плавать и взаимодействовать между собой, хотя у каждого из них встречались редкие контакты с особями из других групп. Такая сплоченность может облегчать передачу информации среди членов группы.

Первая группа состояла из 15 дельфинов, каждый из которых сотрудничал с местными рыбаками. В этой группе были сильно развиты внутренние связи: каждый дельфин общался с каждым другим дельфином как во время сезона ловли кефали, так и в оставшееся время года. Они легко могли обмениваться информацией. Неудивительно, что эта группа получала пользу от общения с рыбаками, в то время как дельфины из других групп были лишены такой возможности. Вторая и третья группы очень сильно отличались от первой. Ни один из дюжины дельфинов, образующих вторую группу, не взаимодействовал с рыбаками. Хотя афалины из этой группы также часто проводили время вместе в течение всего года, их социальные отношения были слабее, чем между особями первой группы.

Среди восьми особей третьей группы только один дельфин, известный под номером 20, сотрудничал с рыбаками. Как и все дельфины в этой популяции, «номер 20» большую часть времени проводил в своей группе. Получается, что этот дельфин выступал как бы посредником между своей и сотрудничающей первой группами. В будущих

исследованиях было бы полезно заняться выяснением значения таких связей в сложной разветвленной социальной сети. На основе имеющихся пока результатов можно предположить, что такие тесные социальные связи, как в первой группе, вероятно, помогают животным решать задачи, с которыми они не могут справиться в одиночку. В данном случае был изобретен способ эффективного общения с представителем другого вида — человеком-рыбаком.

Исследователи пока не знают, учат ли старые опытные дельфины молодых особей тому, как надо сотрудничать с рыбаками. Учитывая, что такое обучение было показано для других сложных форм пищедобывательного поведения, вполне может быть, что оно обнаружится и здесь. Такие традиции, передающиеся через социальное обучение, составляют основу культуры у животных. Социальные связи сильно облегчают процесс передачи традиций.

Наше представление о поведении животных принципиально изменилось с тех пор, как считалось, что животные похожи на роботов, строго выполняющих генетические программы. Современные ученые знают, что многие животные гораздо умнее, их поведение гибче и они более способны к обучению, чем могли предполагать этологи в середине прошлого века. Мы ожидаем, что представления людей будут и дальше меняться по мере увеличения числа работ, посвященных социальным взаимодействиям животных, а также роста внимания к этим исследованиям. Множество организмов живут вовсе не как запрограммированные автоматы, а почти как люди, в сложной социальной среде, где прямое и косвенное взаимодействие с другими особями имеет большое значение для выживания. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Monkey Police Provide Social Stability. David Biello: www.scientificamerican.com/article/monkey-police-provide-soc
- Policing Stabilizes Construction of Social Niches in Primates. Jessica C. Flack et al. in *Nature*, Vol. 439, pages 426–429; January 26, 2006.
- The Structure of a Bottlenose Dolphin Society Is Coupled to a Unique Foraging Cooperation with Artisanal Fishermen. F. G. Daura-Jorge et al. in *Biology Letters*, Vol. 8, No. 5, pages 702–705; October 23, 2012.
- Herd Composition, Kinship and Fission-Fusion Social Dynamics among Wild Giraffe. Fred B. Bercovitch and Philip S. M. Berry in *African Journal of Ecology*, Vol. 51, No. 2, pages 206–216; June 2013.
- Structure of Male Cooperation Networks at Long-Tailed Manakin Lekes. Andrew J. Edelman and David B. McDonald in *Animal Behavior*, Vol. 97, pages 125–133; November 2014.



При поддержке
Правительства
Москвы



МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ,
ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПОЛИТИКИ И
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
ГОРОДА МОСКВЫ



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
М.В.ЛОМОНОСОВА

НАУКА + ФЕСТИВАЛЬ МОСКВА 9-11 ОКТЯБРЯ

www.festivalnauki.ru



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР ИНОВЕТОК



ГОСРЕДАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР



ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПАРТНЕР



ОБЛАДАТЕЛЬ ПАРТНЕР



ОБЛАДАТЕЛЬ СПОНСОР



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР



ОБЛАДАТЕЛЬ ПАРТНЕР



ОБЛАДАТЕЛЬ ПАРТНЕР



ГОСМЕДИАСПОНСОР



МЕДИАСПОНСОР



СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



ОБЛАДАТЕЛЬ ПАРТНЕР





ОБ АВТОРЕ

Ваджахат Мехал (Wajahat Z. Mehal) руководит рядом исследовательских программ по изучению природы воспаления и параллельно оказывает помощь пациентам, страдающим заболеваниями печени, которые проходят лечение в Медицинском центре Министерства по делам ветеранов в Уэст-Хейвене, штат Коннектикут.



МЕДИЦИНА

КЛЕТКИ

В ОГНЕ

Не так давно обнаружены клеточные структуры, запускающие воспалительные процессы, где бы те ни протекали. Это открытие может привести к революции в борьбе с такими разными заболеваниями, как атеросклероз, болезнь Альцгеймера и ожирение печени

Ваджахат Мехал



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Покраснение, опухание, боль, жжение — все это признаки воспаления, возникающего при инфицировании ткани или ее повреждении.
- Не так давно обнаружилось, что в клетках образуются белковые структуры инфламмосомы, которые запускают воспалительные процессы.
- Многие, казалось бы, совсем не родственные заболевания, например болезнь Альцгеймера, подагра, сердечно-сосудистые патологии, связаны с активностью одних и тех же инфламмосом.
- Есть надежда, что на основе полученных данных удастся разработать новые лекарственные препараты, эффективные в отношении широкого круга хронических заболеваний.



юбому, у кого хоть раз вскакивал прыщик, хорошо знакомы такие сопутствующие этому неприятному событию симптомы, как покраснение кожи, припухлость, жжение, боль. Все они — признаки инфекции. Эта реакция организма, называемая воспалением, известна людям с давних времен. Но процесс, который обычно запускается клетками иммунной системы, может возникать и тогда, когда никакой инфекции нет, например при ударе ногой обо что-то твердое или — в более серьезном случае — при сердечном приступе. Эта вторая ситуация называется стерильным воспалением и при хроническом течении иногда приводит к таким на первый взгляд различающимся состояниям, как болезнь Альцгеймера, диабет и заболевание печени.

О самом хроническом воспалении и его роли в патогенезе различных заболеваний ученым известно уже не один десяток лет, но лишь в последние годы им удалось проникнуть в тайну его возникновения. Один из самых интересных фактов заключается в том, что воспаление — не какая-то автоматическая реакция; ему предшествует сборка специфических молекулярных структур. Клетки, получившие сигнал опасности, строят эти структуры — инфламмосомы — очень быстро и так же быстро ликвидируют их, обычно в течение суток после травмы или другого инцидента. (Представьте, что для производства некоего продукта вы за несколько минут возводите промышленное предприятие, а как только потребность в этом продукте отпадает, вы это предприятие тут же разрушаете.) Вероятно, столь быстрая ликвидация позволяет избежать слишком сильной иммунной реакции. В некоторых случаях воспаление полезно: оно способствует уничтожению патогена и блокирует его распространение в организме. Но часто его последствием становится повреждение прилежащих тканей и увеличение размеров пораженного участка.

Инфламмосомы интересны не только с чисто биологической точки зрения, их открытие очень ценно для медицины. Обнаружилось, что нарушение процесса их сборки/дезинтеграции приводит к хроническому воспалению. Многие лекарственные вещества, снимающие боль и опухание, инактивируют некоторые белки, усиливающие воспаление. Согласно же последним данным, препараты, блокирующие сборку инфламмосом или ускоряющие их дезинтеграцию, могут препятствовать выработке этих белков и, следовательно, замедлять повреждение ткани в целом совершенно новым способом. Такие препараты — сами

по себе или в сочетании с другими — могут помочь в борьбе с воспалительными процессами, которые сегодня не удастся подавить обычным путем.

Эти открытия заставили меня и других исследователей пересмотреть прежние представления о патогенезе многих заболеваний. Вместо того чтобы классифицировать их по локализации патологических процессов (сердце, печень и тому подобное), мы сконцентрировались на клеточных механизмах, неполадки в работе которых могут вызвать ту или иную патологию. К настоящему времени охарактеризованы четыре варианта инфламмосом, но скорее всего их гораздо больше. Одно из преимуществ такого подхода состоит в том, что, убедившись в эффективности какого-то препарата, скажем, при подагре, связанной с активацией конкретного типа инфламмосом, можно надеяться, что этот же препарат поможет и пациентам, страдающим сердечно-сосудистыми заболеваниями, провоцируемыми теми же инфламмосомами.

Свой или чужой

Воспаление — это один из ответов системы врожденного иммунитета, образующего первую линию обороны организма, на любые чужеродные агенты. Эта система работает следующим образом: макрофаги и родственные им клетки отыскивают в организме патогены и вырабатывают вещества, вызывающие воспаление и привлекающие к месту его возникновения все больше иммунных клеток. (Гной, образующийся в инфицированной ранке, состоит как раз из таких клеток.)

Долгое время считалось, что система врожденного иммунитета запускает каскад этих реакций только в ответ на «чужаков». Макрофаги распознают специфические молекулы на их поверхности

Воспаление

КАК ЗАГАСИТЬ ПЛАМЯ, СЖИГАЮЩЕЕ НАШЕ ТЕЛО

К удивлению научного сообщества, все клетки организма используют для запуска воспалительных реакций один и тот же механизм — они строят некую белковую структуру, инфламмасому, высвобождающую в цитоплазму так называемые цитокины. Обычно последние вызывают кратковременное воспаление, проявляемое покраснением пораженного участка, припухлостью, болью и жжением. Если инфламмасы остаются в активном состоянии слишком долго, могут развиться такие тяжелые патологии, как болезнь

Альцгеймера и подагра, — все зависит от количества вырабатываемых цитокинов и реакции на них различных тканей. К активирующим веществам относятся сигнальные молекулы микробного происхождения или вещества, образуемые самим организмом при повреждениях тех или иных тканей. Одинаковые инфламмасы дают начало самым разным заболеваниям, и, найдя средство, избавляющее от одного из них, можно использовать его для борьбы с другими.

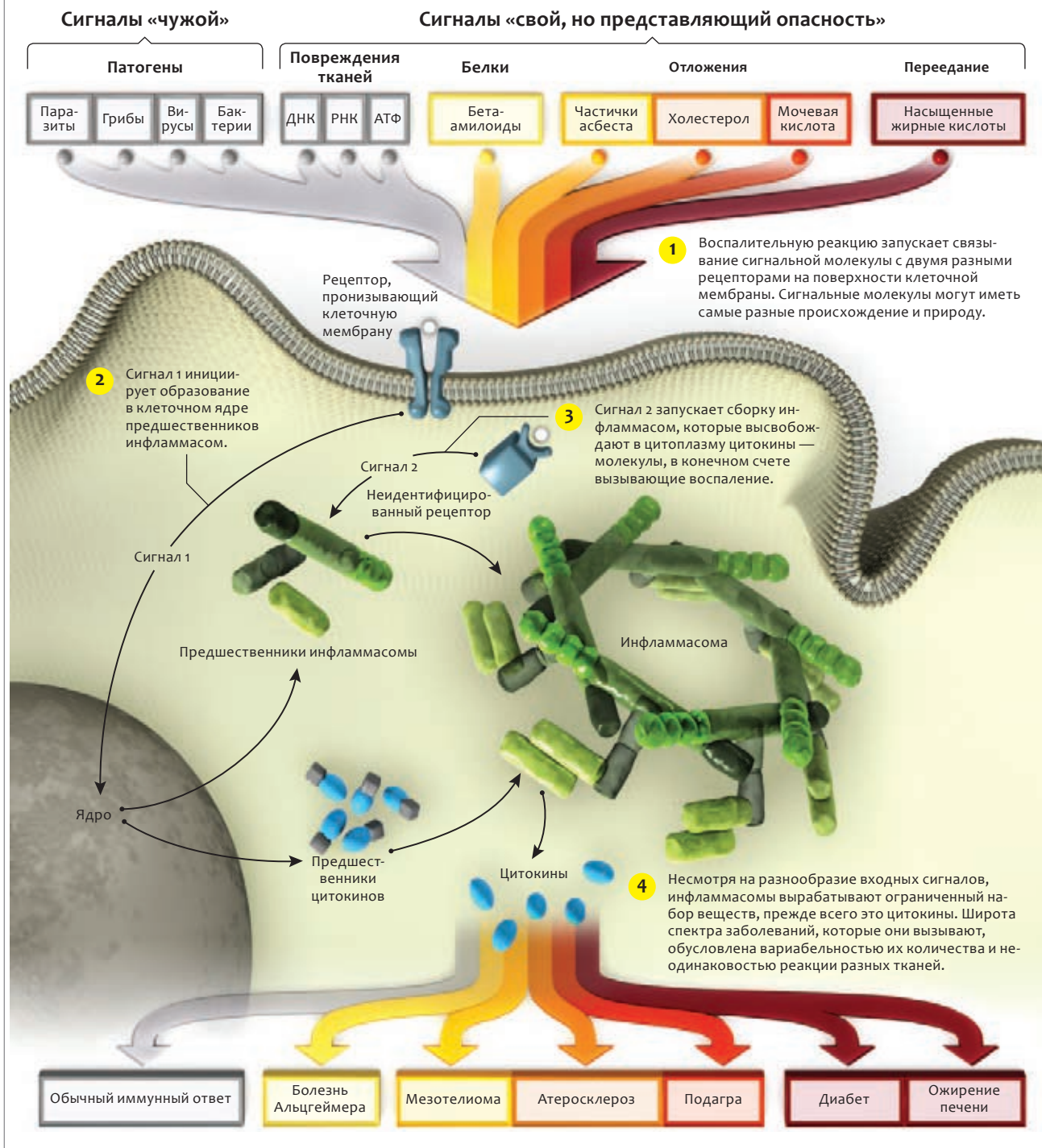


Illustration by Emily Cooper

и высвобождают белки, которые активируют следующие компоненты воспалительной реакции. Эти молекулы, имеющиеся только у патогенов и отсутствующие у клеток организма-хозяина, называют чужеродными сигналами. Чарлз Джейньюэй (Charles Janeway, Jr.) и Руслан Меджитов (Ruslan M. Medzhitov), сотрудники Йельского университета, заложили фундамент этого направления исследований в конце 1980-х — середине 1990-х гг.

Однако в дальнейшем выяснилось, что макрофаги чрезвычайно чувствительны и к некоторым молекулам, вырабатываемым самим организмом, в частности к АТФ (универсальному накопителю и переносчику химической энергии), а также к ДНК и РНК (носителям генетической информации). Обычно эти молекулы находятся внутри клеток и недоступны для макрофагов. Но когда они попадают в межклеточное пространство — например, если вы случайно ударяете молотком по пальцу, — их идентифицируют так называемые *toll*-подобные рецепторы и некоторые другие компоненты иммунной системы. Последняя воспринимает эти молекулы как чужеродные сигналы и отвечает на них точно так же, как на патогены, т.е. вызывает воспаление.

Эта цепная реакция имеет серьезные последствия, самое опасное из которых — увеличение размеров поврежденной ткани, если она не способна справиться с воспалением.

На все случаи жизни

Общее представление о воспалительной реакции сложилось более 15 лет назад, но в последнее время, в связи с выяснением некоторых ее деталей, интерес к этой проблеме значительно вырос. Что именно внутри макрофага запускает столь мощный защитный ответ? Ранее иммунологи предполагали, что добраться до ее корней можно, только отслеживая сотни молекулярных сигналов, которые воздействуют на множество типов клеток, в том числе на макрофаги. Сосредоточившись на последних, они очень скоро поняли, что для запуска сигнала вполне достаточно короткой цепочки межмолекулярных взаимодействий, причем такой же механизм действует и в других клетках. Когда выяснилось, что круг исследований не столь широк, как думали, появилась надежда на успешную разработку лекарственных средств, которые либо блокируют образование инфламмосом, либо ускоряют их дезинтеграцию, и эти средства будут работать при самых разных патологических состояниях.

Итак, что же происходит внутри макрофага? Прежде всего важно отметить, что макрофаги, находящиеся поблизости от разрушенных клеток, буквально купаются в осколках молекул ДНК, РНК и других веществ, сигнализирующих о неполадках

в организме. Некоторые из них связываются со специфическими белками на поверхности макрофагов, другие присоединяются к молекулам, чья природа и локализация пока не установлены. Эти «рецепторы» запускают один из двух внутриклеточных процессов: первый ускоряет выработку молекул, необходимых для запуска воспалительной реакции, второй опосредует сборку инфламмосом. Полностью сформированная инфламмосома модифицирует новообразованные молекулы, отвечающие за воспаление, и те невыясненным пока способом высвобождаются из макрофага.

Независимо от происхождения сигнала — вызвал его чужеродный агент или повреждение какой-либо ткани — каждая из четырех известных на сегодня инфламмосом вырабатывает и высвобождает два вещества — интерлейкин- 1β (*IL-1\beta*) и интерлейкин-18 (*IL-18*). Эти соединения, относящиеся

Характер заболеваний, сопровождаемых воспалением, определяется типом сигнала, локализацией воспалительного процесса и его продолжительностью

к группе сигнальных молекул под названием «цитокины», вызывают воспаление, и об их наличии было известно уже давно. Но до открытия инфламмосом никто не знал, как и где они образуются. Оказавшись вне макрофагов, цитокины распространяются по всему организму, стимулируя образование все новых и новых цитокинов, которые попадают в кровоток и мобилизуют другие иммунные клетки, вызывая полномасштабную воспалительную реакцию.

Но самое интересное начинается потом. Появляется все больше свидетельств того, что инфламмосомы находятся у истоков широкого круга заболеваний и патологических состояний, при которых воспаление, казалось бы, играет в лучшем случае второстепенную роль. И в самом деле: инфламмосомы образуются в клетках всех типов, а не только в макрофагах и других компонентах иммунной системы. (Так, они присутствуют в некоторых клетках стенок кишечника, и секретируемые ими цитокины запускают выработку слизи в ответ на какое-либо повреждение или чужеродного агента.) Интересен и другой факт: в различных частях тела образуются микроскопические отложения, становящиеся причиной различных патологий. Обнаружилось, что одна из инфламмосом, *NLRP3*, найденная во многих клетках,

по-видимому, ответственна за большинство эпизодов воспаления, провоцируемого этими отложениями, — будь то частички асбеста в легких (мезотелиома) или микрокристаллы мочевой кислоты в суставах (подагра). Не исключено, что виновником склеротических изменений кровеносных сосудов, приводящих к инфаркту и инсульту, выступает не сам холестерол, а его кристаллы, образуемые при определенных условиях. Сходным образом скопление бета-амилоидов в межнейронном пространстве приводит к активации инфламмасомы *NLRP3* в клетках микроглии — эквиваленте макрофагов в головном мозге, что приводит к атрофии нейронов. Итак, широкий круг веществ — асбест, мочевая кислота, бета-амилоид, холестерол и другие — вызывают целый спектр заболеваний, затрагивающих разные органы и проявляющихся по-разному, но ко всем им имеют отношение инфламмасомы.

Пищевой шок

Однако самым удивительным, по моему мнению, стало открытие, состоящее в том, что воспалительную реакцию способна спровоцировать пища. Обильная еда может вызвать острую воспалительную реакцию, которая проходит сама по себе, если эпизод был единичным. Но если переедание имеет регулярный характер и организм вынужден запасаать излишек калорий в виде жиров, возникает хроническое воспаление. У биологов не было достаточно оснований полагать, что еда как-то связана с развитием воспалительной реакции. Ведь питательные вещества — не патогенные микробы или инородные частицы, представляющие опасность для организма. Однако проведенные в последние годы исследования на животных подтвердили, что такие вещества, как насыщенные жирные кислоты (они содержатся в жирном мясе и сыре, а также вырабатываются в организме), употребляемые в большом количестве, активируют *NLRP3*-инфламмасомы макрофагов и других клеток. Это открытие привело к появлению новой области исследований, цель которой — выяснить влияние различных метаболитов на активность инфламмасом. Так, установлено, что потребление излишнего количества углеводов косвенным образом сказывается на процессе воспаления; организм должен вначале превратить их избыток в жирные кислоты.

Воспаление, связанное с перееданием, затрагивает многие органы, но в первую очередь печень, возможно потому, что через нее проходит много жирных кислот. Кроме того, в печени содержатся в большом количестве иммунные клетки, которые легко активируются и могут вызвать повреждения органа. В совокупности эти процессы приводят к увеличению размеров печени и воспалению. Это состояние обратимо, но часто его бывает трудно

отличить от такового при злоупотреблении спиртным. (По неизвестным пока причинам ожирение печени иногда приводит к циррозу, опасному для жизни заболеванию.)

К этому достаточно тревожному наблюдению следует добавить, что примерно треть детей с избыточным весом страдают ожирением печени и по крайней мере у некоторых из них в молодом возрасте развивается цирроз. Если, как показывают опыты на животных, *NLRP3*-инфламмасомы опосредуют связанное с перееданием воспаление, то помочь страдающим ожирением можно, предотвратив их образование и тем самым уменьшив вероятность ожирения печени. В пользу этой идеи говорят данные о том, что у мышей с избыточным весом и отсутствием некоторых составляющих инфламмасом печень находится в отличном состоянии.

Имея в виду, что переедание может провоцировать воспаление, я вместе с коллегами из Йельского университета решил проверить, не приведет ли недоедание к инактивации инфламмасом. Противовоспалительный эффект поста и физических упражнений хорошо известен, причем в организме в этот период повышается концентрация двух веществ: бета-гидроксibuтирата и молочной кислоты. Мы выяснили, что последние связываются со специфическими рецепторами на поверхности макрофагов, запуская каскад биохимических реакций, приводящих в конце концов к выключению генов, которые опосредуют запуск сборки инфламмасом. Теперь мы намереваемся выяснить, как подстегнуть этот процесс, чтобы умерить воспаление, сопровождающее многие патологические состояния.

Хроническое воспаление

Поиски способа инактивации инфламмасом разумнее всего начать с выяснения того, как это происходит в естественных условиях, когда процесс дезинтеграции обычно завершается в течение 18–24 часов после сборки. Интересно узнать, какие молекулярные механизмы ответственны за аномальное «долгожительство» инфламмасом при различных патологических состояниях, и попытаться инактивировать этих долгожителей.

По имеющимся данным, все известные сигналы опасности — независимо от их типа — приводят к кратковременному резкому воспалению, даже если они поступают из межклеточного пространства. Но затем иммунная система просто перестает реагировать на слишком продолжительные сигналы типа 1. В отличие от этого, сигналы типа 2 (те, что запускают процесс сборки инфламмасом) провоцируют гибель иммунных клеток, если они функционируют слишком долго. В результате и в том и в другом случаях воспаление прекращается.

Отсюда следует, что для поддержания инфламмасом в рабочем состоянии на протяжении длительного времени требуются дополнительные сигналы, как это происходит при диабете и заболеваниях печени. Мои сотрудники вместе с коллегами из других лабораторий установили, что аденозин, высвобождаемый при расщеплении высокоэнергетической молекулы аденозинтрифосфата (АТФ), отсрочивает демонтаж *NLRP3*-инфламмасом. По иронии судьбы долгое время аденозин считался противовоспалительным средством, поскольку он нейтрализует продукты воспалительного процесса.

В надежде на новые подходы

Все те открытия, о которых здесь говорилось, заставили нас по-новому посмотреть на природу воспаления. Теперь мы знаем, что все сигналы опасности — как внутренние, так и внешние, и даже реакция на обычные продукты расщепления

Новые экспериментальные лекарственные препараты, уменьшающие воспаление, направлены на блокирование разных этапов сборки инфламмасом, в частности связывания активирующих молекул с их рецепторами

пищи — сходятся в одноклеточной структуре инфламмасоме, которая отвечает на них образованием всего нескольких соединений. Характер заболеваний, сопровождаемых воспалением, определяется типом сигнала, локализацией воспалительного процесса и его продолжительностью. Так, кристаллы мочевой кислоты, образуемые в суставах, вызывают острую воспалительную реакцию, которая спадает самопроизвольно до следующего приступа несмотря на присутствие кристаллов, а отложения асбестовой пыли в легких приводят к хроническому воспалению и образованию рубцов.

Новые экспериментальные лекарственные препараты, уменьшающие воспаление, направлены на блокирование разных этапов сборки инфламмасом, в частности связывания активирующих молекул с их рецепторами. Сразу несколько компаний уже начали тестирование различных веществ на их способность воздействовать на сами инфламмасомы. Но дойти до стадии клинических испытаний этих веществ на эффективность и безопасность удастся лишь лет через десять.

Тем временем началось тестирование препаратов, уже доказавших свою эффективность (и одобренных *FDA*) при одном заболевании, на пригодность для применения при других патологиях, опосредуемых теми же инфламмасомами. Так, лекарственное средство анакинра, давно используемое при ревматоидном артрите и блокирующее рецептор, с которым связывается *IL-1 β* после высвобождения из инфламмасомы, проверяется на эффективность в отношении широкого круга заболеваний, связанных с *NLRP3*-инфламмасомой, в том числе редкого воспалительного синдрома у детей.

Мы со своей стороны занимаемся проверкой давно известного лекарственного средства дигоксина, который применяется при некоторых видах аритмии, на способность ослаблять воспаление при таких патологиях, как болезнь Альцгеймера. Недавно было показано, что дигоксин подавляет активность вещества под названием *HIF-1 α* , которое, по данным сотрудников моей лаборатории в Йельском университете, необходимо для поддержания в рабочем состоянии *NLRP3*-инфламмасомы. Последняя проявляет особенно высокую активность в клетках головного мозга при болезни Альцгеймера, поэтому есть основания полагать, что дигоксин окажется полезным в преодолении этого тяжелого недуга. Следует помнить, однако, что в больших дозах он вызывает спутанность сознания и другие симптомы, сходные с таковыми при деменции.

Последние несколько лет отмечены особым интересом к биологии воспаления, и, возможно, в скором будущем мы станем свидетелями прорыва в этой области. Начувшись подавлять воспаление в зародыше, мы облегчим участь огромного числа людей, страдающих различными связанными с ним заболеваниями. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Стикс Г. Всепожирающее пламя // *ВМН*, № 11, 2007.
- The Inflammasomes. Kate Schroder and Jurg Tschopp in *Cell*, Vol. 140, No. 6, pages 821–832; March 19, 2010. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20303873
- Inflammasomes in Health and Disease. Till Strowig et al. in *Nature*, Vol. 481, pages 278–286; January 19, 2012.
- Inflammasome Biology in Fibrogenesis. Xinshou Ouyang, Ayaz Ghani and Wajahat Z. Mehal in *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular Basis of Disease*, Vol. 1832, No. 7, pages 979–988; July 2013. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23562491
- Наглядно о функционировании инфламмасом см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2015/mehal

ВСЕГДА ЧТО-ТО НОВОЕ...



www.naukatv.ru

РЕКЛАМА

Спрашивайте у операторов платного телевидения



www.naukatv.ru



www.facebook.com/nauka20



vk.com/tvnauka20



16+

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

КАК ОДОЛЕТЬ ДЕНГЕ

Чтобы комары
не переносили
заболевания,
ученые заражают
их бактериями

СКОТТ О'НИЛ





ОБ АВТОРЕ:

Скотт О'Нил (Scott O'Neill) руководит научными исследованиями в Университете Монаша в Австралии и возглавляет международную научную группу, которая занимается борьбой с лихорадкой денге и изучением бактерий рода *Wolbachia*.



В

Северной Австралии лучшее время для комаров — позднее утро. Позже ветер сдует насекомых и у них не будет шансов найти себе полового партнера. До этого нужно успеть приехать и выпустить их из контейнера. Итак, душным январским утром в самый разгар австралийского лета я сел за руль моего белого фургона с тысячами комаров, упакованных в пластиковый контейнер на заднем сиденье.

В 2011 г. мы таким образом выпускали комаров раз в неделю на протяжении трех месяцев. Мы сконцентрировались на двух районах в городе Кэрнс — популярном туристическом месте неподалеку от Большого Барьерного рифа. В каждом четвертом доме, чьи хозяева согласились принять участие в нашем эксперименте, мы ставили контейнер с комарами, открывали крышку и выпускали на свободу около 50 особей.

Это были необычные комары. Каждый из них был инфицирован бактериями рода *Wolbachia*. Для нас самой интересной особенностью этих бактерий было то, что они подавляют репликацию вируса лихорадки денге в организме комара. Поскольку вирус не может размножаться, то комар не передаст его своим жертвам.

Заражение комаров бактерией — конечно, не прямой путь борьбы с денге, но других методов у нас нет. Лихорадка денге, получившая также название костоломной (поскольку вызывает боль в суставах), поражает ежегодно 390 млн человек. Не существует никакого лечения или профилактики

данного заболевания, и поэтому единственный метод борьбы направлен на основных переносчиков вируса — желтолихорадочных комаров (*Aedes aegypti*). Комары обретают устойчивость к обычным инсектицидам, например темефосу, поэтому такие средства теряют свою эффективность. Один из перспективных способов борьбы с распространением денге и, возможно, малярии — заражение диких комаров бактерией *Wolbachia*.

На первый взгляд, это не самый очевидный способ борьбы с денге. Дело в том, что в естественной среде бактерии не живут в комарах, переносящих вирус. Мы должны заразить насекомых бактерией *Wolbachia* искусственным способом в лаборатории, а затем выпустить их на волю, где, как мы надеемся, они передадут микроорганизм своим потомкам. Эта бактерия практически безвредна для комаров, она лишь несколько снижает у них производство яиц. Для человека же выгода бесспорна: если зараженные комары станут преобладать в природной популяции, то можно ожидать падения частоты встречаемости денге у людей.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

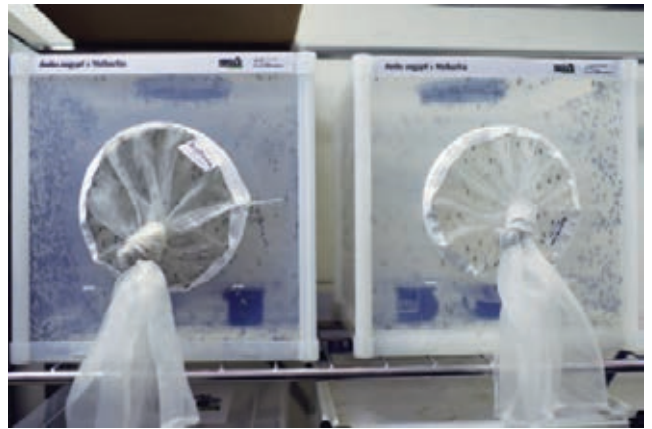
- Ученые борются с лихорадкой денге с помощью обычной бактерии рода *Wolbachia*, которая может препятствовать репликации вируса в комарах, переносящих это заболевание. Других способов борьбы с денге нет.
- Несмотря на то что эта бактерия встречается у насекомых, обычно она не поражает основного переносчика лихорадки — желтолихорадочного комара (*Aedes aegypti*). Ученым приходится заражать комаров в лаборатории, чтобы затем выпустить их в дикую природу.
- Цель проекта — добиться, чтобы инфицированные бактерией комары размножились и передавали микроба своим потомкам. Если это получится, то подавляющее большинство комаров будут инфицированы и не смогут переносить денге.

Желтолихорадочный комар (*Aedes aegypti*) (внизу) — самый распространенный переносчик лихорадки денге во всем мире. Однако комары, зараженные бактерией *Wolbachia*, не переносят вирус денге. Ученые выращивают таких комаров в лаборатории и затем выпускают их в дикую природу (внизу справа), где они могут вытеснить неинфицированных сородичей и остановить распространение лихорадки.



Борьба с паразитами

Комары — пожалуй, самые смертоносные существа на Земле. Во время Испано-американской войны желтая лихорадка (переносимая тем же видом комаров) забрала больше жизней, чем снаряды противника. Малярия, вызываемая паразитом, живущим в комарах, только в 2012 г. убила 627 тыс. человек. Сейчас желтолихорадочный комар, которого легко узнать по белым отметинам на лапках и груди, распространяет денге по всему миру. По данным Всемирной организации здравоохранения, примерно половина населения мира рискует подхватить это заболевание. Желтолихорадочный комар может размножаться в любой непроточной лужице, поэтому практически невозможно контролировать его численность. Насекомое обитает в тропическом и субтропическом климате на всех континентах: в Африке, Америке, Восточном Средиземноморье, Юго-Восточной Азии и западной части Тихого океана. Однако вирус лихорадки для комара не естествен, он получает денге от людей.



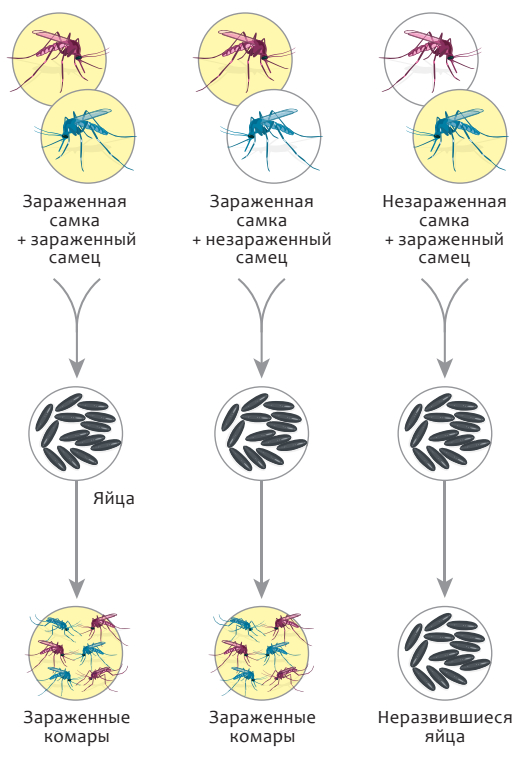
Механизм заражения прост. Самки комаров кусают людей, поскольку им нужен белок из человеческой крови для откладки яиц; самцы не кусаются. Если комар укусит больного денге, а затем, через 8–12 дней (период репликации вируса), нападет на кого-нибудь еще, то вирус попадет в кровь новой жертвы. Бактерия *Wolbachia* может нарушать данный процесс, препятствуя репликации вируса.

Впервые бактерия была описана в 1924 г. при препарировании обыкновенных комаров. Однако ею не интересовались до 1970-х гг., когда было открыто, что *Wolbachia* в определенных условиях

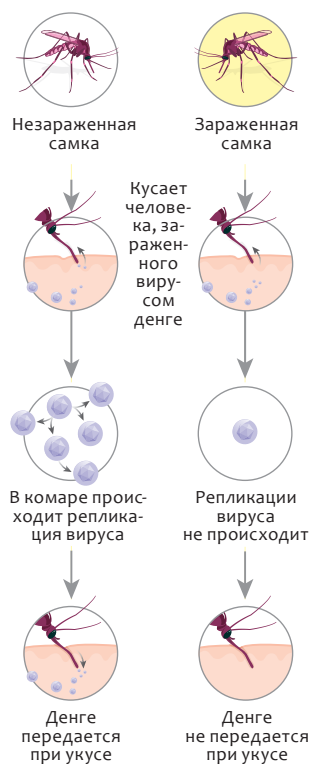
СЕКРЕТ УСПЕХА БАКТЕРИЙ *WOLBACHIA*

Вакцины против денге не существует, но заражение комаров бактерией *Wolbachia* не позволяет насекомым передавать лихорадку людям. Микроорганизм заселяется в самцов и самок комаров, зараженная самка откладывает яйца, содержащие бактерии. Если незараженная самка спаривается с зараженным самцом, то из яиц никто не вылупляется. Сейчас исследователи пытаются внедрить зараженных самок в природу в Австралии, Вьетнаме, Индонезии и Бразилии.

Как бактерия распространяется...



...и останавливает денге



Как заразить комара

Представьте себе, что у вас в руках спица, которой вы проткнули воздушный шарик. Теперь вам надо вытянуть ее так, чтобы шарик не лопнул. Это сравнение довольно точно передает процесс заражения яиц комара бактерией рода *Wolbachia*. В нашей лаборатории мы используем микроиглы, чтобы взять микроба из дрозофилы и ввести его непосредственно в яйцо комара. Вначале от соприкосновения с иглой яйца лопались как воздушные шарик. Потребовалось провести тысячи опытов, прежде чем у нас начало что-то получаться.

Когда мы научились заражать яйца, не повреждая их, перед нами встали новые проблемы, требующие решения. У потомков комаров бактерии часто исчезали, что означало, что они не смогут распространиться в дикой природе так, как нам хотелось. В итоге мы обнаружили, что прежде чем ввести бактерий из дрозофилы в комара, надо их предварительно адаптировать к новым хозяевам. Для этого мы выращивали взятых у дрозо-

филов бактерий в культуре клеток комара. В 2005 г. мы наконец добились успеха: мы заразили комаров и наблюдали, как бактерии передаются потомкам на протяжении всех исследуемых 13 поколений. С тех пор род *Wolbachia* успешно существовал во всех последующих поколениях комаров. Как и предполагалось, по крайней мере один штамм бактерий укорачивал жизнь желтолихорадочно-го комара.

Я начал заниматься родом *Wolbachia* в середине 1980-х гг., когда учился в аспирантуре. В то время я думал, как можно было бы привлечь эту бактерию к борьбе с передачей человеческих заболеваний комарами. Если бы нам удалось хоть на немного сократить продолжительность жизни комара, это могло бы значительно снизить способность данных насекомых передавать заболевания между людьми.

Вся загвоздка была в том, что желтолихорадочные комары не заражались бактериями рода *Wolbachia*. Эти бактерии встречаются у более 60% всех видов насекомых, в том числе и комаров, которые кусают людей, но от одного вида к другому они просто так не передаются. Перед нами встала задача, как перенести различные штаммы бактерий, живущие в дрозофиле, на комара, который распространяет вирус денге. Поиск решения был утомителен и занял у нас более десяти лет.

Кроме того, оказалось, что бактерии *Wolbachia* помогают в борьбе с денге даже лучше, чем мы думали изначально. До сих пор до конца не ясно, почему вирус денге не развивается в комарах, если они заражены бактерией. Нам удалось это обнаружить через несколько лет после того, как мы научились успешно вводить бактерий *Wolbachia* в организм комара, когда в другой работе показали, что бактерии блокируют размножение вируса *C* дрозофилы, смертельного для мушек. Мы ввели вирус денге непосредственно в зараженных бактериями комаров, и, к нашей радости, вирус не смог

размножаться в их телах. Мы неоднократно повторяли эксперимент с множеством комаров и убедились, что наши результаты всякий раз воспроизводятся.

Сейчас мы используем такой штамм бактерий, который блокирует репликацию вируса, но не сокращает жизнь комарам. Ведь мы же хотим, чтобы наши комары прожили как можно дольше и отложили как можно больше зараженных яиц. Еще со времен моей аспирантской работы мы знаем, что самка комара, зараженная бактерией *Wolbachia*, передаст ее практически всем своим потомкам. Всего через несколько поколений после введения бактерии практически каждый комар в популяции будет заражен ею.

В одном из наших экспериментов, проведенных в северной Австралии, мы показали, что еженедельный выпуск десяти комаров в каждом доме на протяжении десяти недель приводит к тому, что более 80% комаров в этом регионе оказываются за-

Сотрудники нашей лаборатории сидели по 15 минут с засученными рукавами в камере, полной комаров, чтобы дать насекомым возможность напиться досыта

раженными бактерией *Wolbachia* даже при тестировании через два месяца после окончания выпусков. Поскольку бактерии так хорошо передаются из поколения в поколение, мы можем обойтись потом без повторных выпусков, микроорганизмы распространятся самостоятельно.

В дикой природе

Перед тем как выпускать зараженных бактерией *Wolbachia* комаров в их естественную среду, нужно было решить ряд социальных вопросов. Мы целыми днями ходили от двери к двери, спрашивая разрешения у хозяев на выпуск насекомых около их дома. Мы проводили официальные ознакомительные собрания и спонтанные встречи около торговых центров. Перед тем как выдать разрешение на выпуск зараженных комаров, австралийские федеральные чиновники тщательно проверяли наш метод на безопасность.

Бактерии *Wolbachia* не представляют никакой явной угрозы для человека. Эксперименты, проведенные в нашей лаборатории, показали, что, поскольку бактерии слишком крупные, они не могут пройти по слюнному протоку комара и попасть в кровяное русло человека. Мы также проводили эксперименты по поиску подходящих для человека антител. Однако оказалось, что у испытуемых

даже спустя три года после укусов комаров в крови не обнаружилось следов этих микроорганизмов. Сотрудники нашей лаборатории и добровольцы часто сидели по 15 минут с засученными рукавами в камере, полной комаров, чтобы дать насекомым возможность напиться досыта.

Мы не нашли никаких признаков того, что бактерии *Wolbachia* наносят вред окружающей среде. С 2011 г., когда мы начали выпускать зараженных комаров, мы отслеживали все виды животных, с которыми могли контактировать наши комары, и выяснили, что бактерии встречается только в клетках насекомых и других членистоногих. Более того, мы считаем, что бактерия рода *Wolbachia* не может выжить в организме человека и других млекопитающих, даже если она туда попадет. И действительно, сейчас известно, что эти микроорганизмы встречаются у многих других видов комаров, в том числе и тех, кто регулярно пьет кровь у человека. У гекконов и пауков, питавшихся зара-

женными комарами, тесты не выявили каких-либо признаков болезни или даже присутствия бактерии в тканях тела.

Перед тем как выпустить первую партию зараженных комаров, мы заказали независимый анализ в Государственном объединении научных и прикладных исследований (CSIRO). Группа экспертов оценивала возможную опасность

от выпуска зараженных комаров, экологические последствия и то, как это повлияет на людей. Эксперты тщательно изучили нашу работу и проконсультировались у специалистов в области эволюционной биологии. Обсуждались и такие сложные вопросы, как изменение плотности популяции комаров, возможности эволюции вируса, увеличение числа кровососущих насекомых и вероятность заболеть лихорадкой денге. На итоговом докладе был сделан вывод, что опасность от выпуска зараженных комаров ничтожна, и это самая низкая из всех возможных оценок риска.

Бактерии *Wolbachia* распространяются по миру

Кроме Австралии полевые испытания метода проходят во Вьетнаме и Индонезии. В сентябре прошлого года мы начали выпускать комаров в Бразилии. Обнаружилось, что в пределах небольшой территории бактерии могут самостоятельно стабильно закрепляться в популяции комаров. Сейчас мы хотим попробовать сделать то же самое на более обширных территориях. Это может потребовать модификации наших методов, поскольку будет сложно вырастить достаточное количество взрослых зараженных комаров. В Кэрнсе мы тестируем эффективность выкладки комариных яиц, зараженных бактериями *Wolbachia*.

В то же время другие ученые ищут альтернативные методы борьбы с комарами. Есть предложение выпускать мутантных самцов, несущих в сперматозоидах летальный ген. Они будут спариваться с самками в дикой природе, а их потомство будет погибать. Это оригинальный и потенциально мощный метод, но, скорее всего, очень дорогой. Чтобы он был эффективным, надо постоянно выпускать генетически модифицированных особей, иначе нормальные комары из соседних областей будут занимать их место в популяции. Кроме того, использование трансгенных комаров вызовет сильные протесты со стороны противников генной инженерии.

Бактерии *Wolbachia* могут снизить вероятность переноса комарами вируса желтой лихорадки и чикунгуньи, случай заболевания которой был зарегистрирован в июле 2014 г. на территории США. Кроме того, исследователи пробуют применить зараженных комаров и для борьбы с распространением малярии и лимфатического филяриатоза — тяжелого заболевания, вызываемого круглыми червями

Наш же метод требует лишь начальных расходов на создание зараженных бактериями комаров, дальше процесс идет сам по себе. Для бедных тропических стран, где лихорадка денге широко распространена, стоимость метода борьбы с болезнью может иметь большое значение. Другое преимущество нашего метода в том, что мы не используем никакой генетической модификации, но, тем не менее, будет не так просто убедить общество в безопасности нашего проекта и потребуются годы, чтобы запустить его полностью.

Еще одна сложность — оценить, насколько снижается заболеваемость после выпуска зараженных комаров. В тех районах, где мы работаем, нет достоверных данных обо всех случаях лихорадки, кроме того, частота заболевания меняется от года к году. Чтобы точно определить эффективность нашего метода, мы должны сравнить распространенность денге в тех областях, где мы выпускали

зараженных комаров, и там, где не выпускали. Для этого понадобится трудоемкая работа: нужно будет брать множество образцов крови и проводить их анализ.

Несмотря на все сложности, мы полагаем, что наша работа поможет не только в борьбе с лихорадкой денге. Комаров с живущими в них бактериями можно использовать и при лечении других заболеваний. У нас есть свидетельства, что бактерии *Wolbachia* могут снизить вероятность переноса комарами вируса желтой лихорадки и чикунгуньи, случай заболевания которой был зарегистрирован в июле 2014 г. на территории США. Кроме того, исследователи пробуют применить заражен-

ных комаров и для борьбы с распространением малярии и лимфатического филяриатоза — тяжелого заболевания, вызываемого круглыми червями.

Открываются поразительные перспективы. Но в ближайшее время наша исследовательская группа в первую очередь будет изучать эффективность метода борьбы с лихорадкой денге. Я надеюсь, что настанет день, когда максимальной неприятностью от комариного укуса будет лишь небольшая припухлость. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Триведи Б. Лихорадка денге: битва генов // ВМН, № 1, 2012.
- Dietary Cholesterol Modulates Pathogen Blocking by *Wolbachia*. Eric P. Caragata in PLOS Pathogens, Vol. 9, No. 6, Article No. e1003459; June 27, 2013. <http://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1003459>
- Limited Dengue Virus Replication in Field-Collected *Aedes aegypti* Mosquitoes Infected with *Wolbachia*. Francesca D. Frentiu et al. in PLOS Neglected Tropical Diseases, Vol. 8, No. 2, Article No. e2688; February 20, 2014. <http://journals.plos.org/plosntds/article?id=10.1371/journal.pntd.0002688>
- Modeling the Impact on Virus Transmission of *Wolbachia*-Mediated Blocking of Dengue Virus Infection of *Aedes aegypti*. Neil M. Ferguson et al. in Science Translational Medicine, Vol. 7, Article No. 279ra37; March 18, 2015.
- Видео про профилактику денге с помощью бактерии см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2015/dengue



АВГУСТ 1915

Инфракрасная астрономия.

Исследователи из Калифорнийского технологического института использовали 2,5-метровый телескоп Обсерватории Маунт-Вильсон для проведения измерений полос поглощения CO_2 в инфракрасном излучении, отраженном от поверхности

Марса. Они пришли к выводу, что CO_2 в атмосфере Марса меньше, чем показывали прежде, менее точные измерения. Это значит, что атмосферное давление на поверхности Марса составляет всего около 14 мм рт. ст., т.е. 2,5% атмосферного давления на Земле на уровне моря (760 мм рт. ст.). Таким образом, марсианская атмосфера может быть слишком разреженной, чтобы в качестве посадочных средств для капсул с аппаратурой с космического корабля можно было использовать крылатые летательные аппараты или парашюты.



АВГУСТ 1915

Противотифозная вакцина.

В ходе франко-прусской войны многие тысячи солдат умерли от брюшного тифа. В нынешней войне эта болезнь практически отсутствует, что отчасти обусловлено лучшим пониманием принципов санитарии, а в огромной степе-

ни — лабораторными исследованиями. Годы кропотливой работы в лабораториях позволили создать вакцину, которая спасает армии мира от эпидемий брюшного тифа. В армии США вакцинация от брюшного тифа стала обязательной еще в 1911 г. Ее пользу демонстрирует тот факт, что в 1912 г. общая смертность от брюшного тифа в США составляла 16,5 человек на 100 тыс. населения, а в армии была нулевой.

Подводная война. У Германии, понимавшей, что ее боевые корабли надежно заперты в ее портах, что ее торговый флот изгоняется с открытых морей и что она отрезана от большей части морских поставок, оставался лишь один способ ведения войны на море — использование мин и подводных лодок (на илл.).



Немецкая подводная лодка тихо подкрадывается к своей жертве, 1915 г.

Примечание: картины боевых действий на море в ходе Первой мировой войны см. по адресу: www.ScientificAmerican.com/aug2015/navy-1915

Кинопрогноз. Показывать прогноз погоды на экранах кинотеатров впервые начали в январе 1912 г. в Бирмингеме, штат Алабама. С тех пор эту традицию переняли 27 кинотеатров в 15 городах. Бюро погоды США готово предоставлять прогнозы всем желающим кинотеатрам, но спрос на них невелик, поскольку большинство кинотеатров открываются только вечером, когда те же прогнозы уже опубликованы в вечерних газетах.



АВГУСТ 1865

Сбор урожая хлопка.

После окончания войны (имеется в виду Гражданская война в США между Севером и Югом. — Примеч. пер.) внимание многих людей обратилось на выращивание хлопка с похвальным намерением снова насытить рынок и запустить

фабрики, чтобы удовлетворить потребности населения. Разумеется, прежние принципы выращивания этой культуры не подходят. Эти медлительные и неряшливые методы должны уступить место энергичным и деловым, чтобы там, где прежде вырастала одна семенная коробочка, теперь появлялись две. Для этого требуется техника, а прежде всего — хлопкоуборочные машины.

Примечание: эффективных хлопкоуборочных машин пришлось ждать еще 80 лет.

Слишком дорогое жилье.

Один из социальных пороков больших городов состоит в недоступности жилья для людей со скромными доходами. Острее всего чувствуют это заводские рабочие. После тяжелой работы среди шума и вибрации им нужно отдохнуть в чистом и тихом доме, чтобы набраться сил для следующего рабочего дня. Но в Нью-Йорке и в большинстве других крупных городов это невозможно. Плата за комфортабельное жилье намного превосходит доход рабочего. За доступную цену он может получить только место в переполненной комнате и дышать там спертым и зловонным воздухом. ■

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

НЕЗДОРОВАЯ АРКТ

Северные области Земли становятся все теплее, а их обитатели — от овцебыков до жителей растущих городов — болеют все чаще

Кристофер Соломон



И К А

Мускусные быки (овцебыки), сгрудившись, готовы отразить натиск жестокой арктической бури, но не имеют средств защиты от легочных паразитов, повсюду наводняющих тундру



ОБ АВТОРЕ

Кристофер Соломон (Christopher Solomon) — автор ряда публикаций, посвященных проблемам окружающей среды. Его статьи на эти и другие темы можно прочесть в *New York Times* и *Outside*.



Морские выдры (каланы) плещутся в океанских волнах неподалеку от Алеутского побережья Аляски. Эти милые пушистые зверьки, казалось бы, имели все условия для процветания здесь, на севере — у себя дома и вдали от настырной цивилизации. Увы, вместо этого численность их популяций как на самих Алеутских островах, так и на всей юго-западной Аляске стремительно сокращается — примерно на 70% за десять лет.

Трейси Голдстейн (Tracey Goldstein) из Калифорнийского университета в Дэвисе и ее коллеги решили проверить, чем это вызвано. Результаты исследований насторожили: виновником оказался вирус чумки ластоногих, убивший за два десятилетия более 50 тыс. тюленей по всему побережью Европы. Он же, как выяснилось позднее, стал причиной гибели множества тюленей и на восточном побережье Канады и США, однако в северной части Тихого океана этот возбудитель ни разу не себя не проявлял. Как мог он попасть туда? Подобно ищейкам, группа исследователей шла по следам гибели животных, и они привели ее далеко на север, к арктическим льдам, вернее — туда, где их уже не было. В 2002 г., когда эпидемия чумки вспыхнула среди европейских тюленей, в Арктике было зафиксировано чрезвычайно сокращение площади плавающих льдов в течение всего лета. Голдстейн выдвинула гипотезу, согласно которой таяние льдов открыло морской путь и Северо-Западный проход, в результате чего зараженные вирусом атлантические тюлени, такие как кольчатая нерпа,

вступили в контакт с морскими животными из северной части Тихого океана, распространяя вирус среди них, так что в конечном счете он дошел и до каланов. Частным случаем той же гипотезы могло быть попадание в тихоокеанские воды не самих животных, а их фекалий, которые тоже содержат вирус чумки. Хотя описанная схема подтверждается идентичностью вирусов, найденных у морских выдр на Аляске и у тюленей в Европе, некоторые ученые относятся к ней скептически. Но если Голдстейн, которая сейчас заведует лабораторией по изучению и диагностике болезней морских экосистем Калифорнийского университета в Дэвисе, права, то распространение вируса в Арктике и Тихом океане угрожает не только каланам, но и многим другим морским млекопитающим, в особенности же обыкновенному тюленю.

Что еще хуже, различные виды сейчас сталкиваются друг с другом и в Северо-Западном проходе, что тоже может приводить к переносу возбудителей с одних особей на других. Например, летом 2010 г. спутниковые наблюдательные системы

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Потепление в Арктике способствует распространению ранее неизвестных там инфекционных заболеваний.
- На Крайнем Севере Канады овцебыки (мускусные быки) страдают от легочных паразитов, энцефалитные клещи атакуют местное население в Швеции, а атлантические тюлени, похоже, заразили смертельным вирусом своих тихоокеанских собратьев, когда отступление льдов привело к смешению популяций.
- Климатические изменения могут быть благоприятны для некоторых животных, но вредят гораздо большему их числу. Новая экологическая угроза требует разработки мер коллективной безопасности в Арктике.

Модельные исследования

БОЛЕЗНИ ДВИЖУТСЯ НА СЕВЕР

Ученые все чаще обнаруживают необычные заболевания в самых неожиданных местах на Крайнем Севере. Леса наступают на тундру, а с ними идут на север животные, несущие на себе клещей и других паразитов, передающих тяжелые инфекции. Комары приносят новые болезни в северные широты. Тюлени из Атлантического и Тихоокеанского бассейнов обмениваются патогенами. Ниже приведены некоторые из множества подобных примеров.

Алеутские острова, Аляска

Вирус чумки ластоногих, встречающийся в норме среди североатлантических тюленей, атакует сейчас каланов в северной части Тихого океана.

Остров Святого Лаврентия, Берингово море

В 200 км от побережья Аляски от птичьей холеры погибли сотни глупышей, кайр и гагарок — арктических птиц, которые раньше никогда не знали этой болезни.

Сахту, Северо-Западные территории (Канада)

Клещи, в прошлом не известные так далеко на севере, обнаружены на коже американских лосей.

Остров Виктория, Канадский Арктический архипелаг

Легочная нематода расселилась на сотни километров в сторону севера и угрожает местным популяциям овцебыков.

Остров Хэй, Новая Шотландия

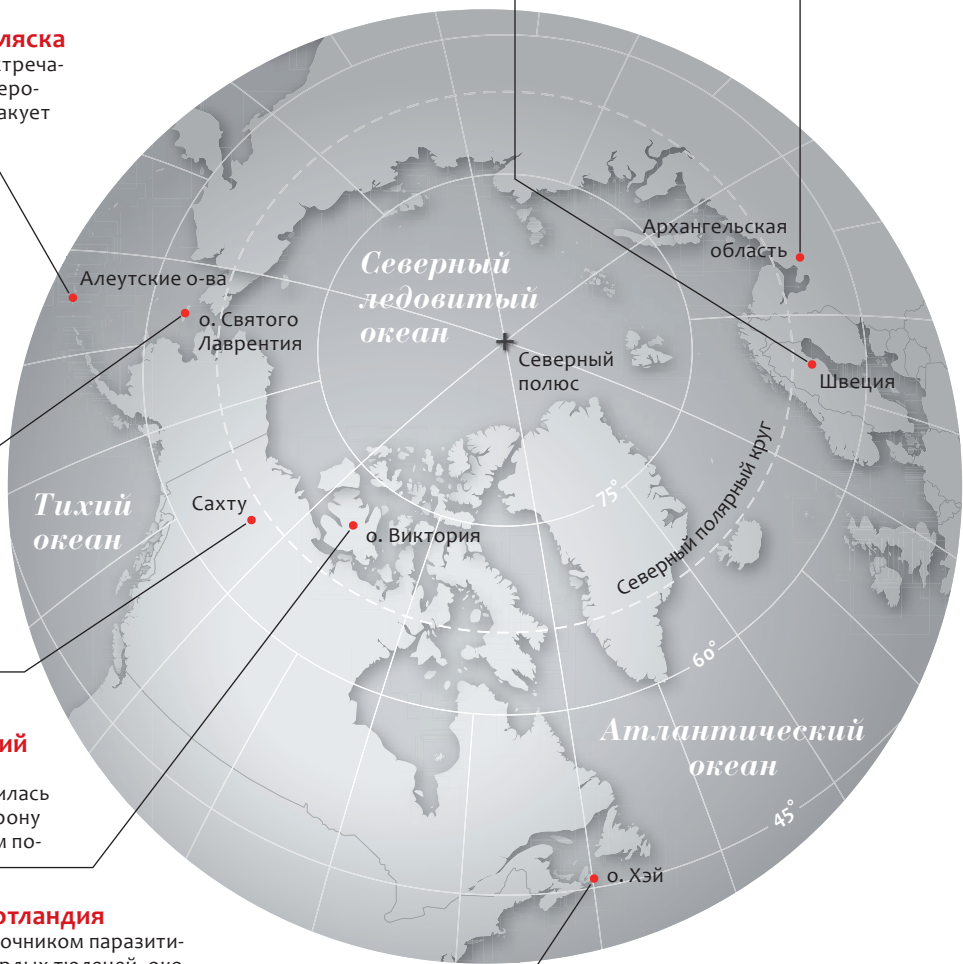
Кольчатые нерпы стали источником паразитических амёб для длинномордых тюленей, около 400 детенышей которых погибло в 2012 г.

Швеция

Комары оказались новыми переносчиками туляремии в этой северной стране.

Архангельская область, Россия

Уровень заболеваемости клещевым энцефалитом у людей возрос здесь в 2000–2009 гг. в 50 раз по сравнению с 1980–1989 гг.



зарегистрировали здесь встречу атлантических и тихоокеанских популяций гренландских китов — событие, которое, возможно, последний раз случилось 12 тыс. лет назад — на самой заре голоценовой эпохи. По мере того как в высоких широтах нашей планеты становится теплее (именно здесь изменение климата сказывается сильнее, чем в любых других географических поясах), все больше арктических животных, как морских, так и сухопутных, превратились в жертвы различных заболеваний. Средние температурные показатели возросли на Аляске за последние 50 лет на 1,9° C, в то время как на Земле в целом они повысились лишь на 0,7° C. При этом зимние температуры

на Аляске растут быстрее летних, повысившись за тот же период на 2,6° C. Потепление вполне способно создать благоприятные условия для существования паразитов и патогенных микроорганизмов и вызвать продвижение на север таких опасных переносчиков, как, например, иксодовые клещи. Новые виды надвигаются на север по суше и по воде, и с ними идут микробы, которых в Арктике никто никогда не наблюдал.

Все эти волны миграции сулят неприятности и людям. В мире становится все теснее, и барьеры, созданные геологической историей, порой тают в буквальном смысле слова, открывая патогенным микроорганизмам новые пути для атаки

на человечество. Действительно, начиная с 1942 г. более 60% всех новых инфекционных заболеваний человека во всем мире возникли из-за переноса возбудителей с животных на людей. Примеры включают такие опасные инфекции, как вирусная геморрагическая лихорадка Эбола и тяжелый острый респираторный синдром, или SARS (более известный как «атипичная пневмония»), также вызываемый вирусом. «Проще говоря, — поясняет Майкл Григг (Michael Grigg), заведующий отделом молекулярных исследований в Национальном институте по изучению аллергии инфекционных заболеваний, — если болеют животные, то болеют и мы».

Изменения в составе патогенов могут влиять на популяции различных видов животных и тем самым негативно сказываться на условиях жизни коренных народов, привыкших к определенным видам пищи и часто зависящих от стабильности природных условий в своей среде обитания. Конечно, сейчас еще нельзя быть уверенными в том, что множество новых микроорганизмов, обнаруженных на севере, не обитали там и раньше, а нынешний всплеск открытий — не всего лишь результат более пристального внимания к этому вопросу со стороны ученых. Было бы преждевременным заявлять, что жизнь в Арктике вот-вот исчезнет по причине инфекционных заболеваний. Но динамика процесса, как утверждает Клэр Хэффернан (Claire Heffernan), специалист по глобальному здравоохранению из Оксфордского университета, такова, что Арктика кажется нам теперь таким «ящиком Пандоры, внутри которого таятся и заразные болезни, и само глобальное потепление».

Паразиты не ждут

Один из механизмов, способствующих распространению болезней на далеком Севере, — это ускорение жизненного цикла паразитических беспозвоночных. Наглядный пример тому — круглый червь *Umingmakstrongylus pallikuukensis*, паразитирующий в легких мускусных быков, этих длинношерстных, кривоногих и резко пахнущих живых ископаемых, сохранившихся на крайнем северо-западе Канады со времен ледникового периода. Цикл развития легочного червя вполне характерен



Иксодовые клещи вбуравливаются в шкуру теплокровных животных, таких как лоси, чтобы пережить зимние холода. Сейчас этих паразитов находят гораздо дальше на севере, чем в прошлом.



для всей группы нематод, к которой он относится. Женские особи (они могут достигать в длину 65 см) откладывают яйца в виде крупных цист внутри легких овцебыка. Из яиц выходят личинки, раздражая дыхательные пути хозяина. Овцебык кашляет и тут же проглатывает личинок, которые невредимыми проходят через его желудочно-кишечный тракт и выходят наружу с пометом. Затем они внедряются в организм промежуточных хозяев — брюхоногих улиток и слизней, которые нередко кормятся на бычьем помете. В организме улиток личинки растут, пока не повзрослеют, и тогда они снова попадают в организм овцебыков, которые вместе с травой глотают и улиток.

Более чем скромное тепло арктического лета до сих пор было хорошим сдерживающим фактором в распространении этого паразита. В высоких широтах крайне редко бывает так, чтобы одного лета личинкам нематоды хватило для достижения взрослой вирулентной стадии, так что им, как правило, необходимо зимовать в незрелой фазе и продолжать рост лишь следующим летом.

Однако потепление в Арктике достигло накопец критической стадии, утверждает Сьюзан Куц (Susan Kutz), адъюнкт-профессор из Университета Калгари, занимающаяся вопросами охраны здоровья в связи с состоянием экосистем. Теплый период в тундре теперь длится так долго, что личинки легочного червя достигают зрелости за одно лето. «Вероятность того, что личинки, проглоченные мускусным быком, опять готовы его заразить и завершить жизненный цикл, в настоящее время стала несравненно выше, — продолжает Куц, — и, стало быть, возможностей процветать и распространяться у этого паразита сегодня гораздо больше».

Легочный паразит овцебыка набирает силы и осваивает новые территории. Уже в 2008 г. Куц и ее коллеги обнаружили, что ареал этого червя продвинулся к северу на несколько сотен километров — до острова Виктория в Канадском Арктическом архипелаге, где обитает не менее 30% всех овцебыков, на Земле. В результате на острове Виктория буквально каждый бык заражен *U. pallikuukensis*.

Но высокая активность паразитов — это лишь часть куда более серьезной проблемы. В «правильном» мире, полагает Сьюзан Куц, *U. pallikuukensis* не доставлял бы своим хозяевам слишком много неприятностей, разве что некоторое подобие кашля курильщиков. Однако более жаркое лето вредит мускусным быкам и само по себе: ведь для них «теплая погода» означает «плохая погода». Если овцебыки страдают от перегрева, а их легкие — от множества цист паразита, животные легко могут ослабеть и стать восприимчивыми к самым различным заболеваниям. «В конечном счете, — заключает исследовательница, — ухудшение условий становится для этого вида вопросом жизни и смерти».

Это не преувеличение: популяции овцебыков сокращаются прямо у нас на глазах. Северные коренные народы весьма обеспокоены данным фактом, поскольку их собственные пропитание и одежда во многом зависят от благополучия этих реликтовых животных.

Кровососы атакуют

Потепление способствует и тому, что целый ряд животных и растений теперь мигрируют к северу, принося туда и свойственные им заболевания. Полевки, зайцы-русаки, ежи, кабаны и несколько видов лесных птиц движутся вслед за наступающей тайгой, а среди их паразитов самые опасные — иксодовые клещи. В Северной Америке эти кровососущие членистоногие переживают морозные времена, вбуравливаясь осенью в кожу лосей и других животных, используя тепло их тела, чтобы не замерзнуть. В 2013 г. Синтия Кайо Кашивакура (Suntia Kayo Kashivakura) обнаружила клещей

на пяти особях американского лося из 30 в Сахту, аборигенном районе далеко в глубине Северо-Западных территорий в Канаде, — первый случай обнаружения здесь этих по своей биологии таежных кровососов.

Клещи и подобные им переносчики заболеваний — проблема не только для животных, ведь здесь живет примерно 4 млн человек, и они тоже подвергаются опасности. Примерно 10% местного населения обитают в маленьких поселках, но подавляющее большинство — в быстро растущих городах, численностью до 300 тыс. жителей, таких, например, как Мурманск. Геологические изыскания и туризм также способствуют внедрению новых видов. Одна из стран, где это ощущается особенно отчетливо, — Швеция, где в 2011 г. был зафиксирован рекорд по числу заболеваний клещевым вирусным энцефалитом, повторенный затем и в 2012 г. Главной причиной вспышки было сильное увеличение здесь численности косули, которая стала продвигаться на север в связи с повышением годовых температур и удлинением вегетационного периода. Косули — излюбленная жертва для самок иксодовых клещей, а лабораторные данные показывают, что количество энцефалитных вирусов в слюнных железах этих кровососов может в течение теплого сезона достичь огромных значений.

Численность комаров в Швеции тоже растет. Некоторые из них переносят бактерию *Francisella tularensis*, вызывающую туляремию — заболевание, сопровождающееся жестокой лихорадкой, воспалением и нередко заканчивающееся смертью. Возбудитель туляремии — один из самых вирулентных в мире, так что во времена холодной войны и США, и СССР хранили запасы этой бактерии в качестве биологического оружия. Впрочем, штамм, обнаруженный в Швеции, вызывает лишь заболевание, сходное с гриппом и длящееся около недели. Причины процветания комаров и туляремии в этой стране неясны, однако Андерс Шюстедт (Anders Sjøstedt) из Университета Умео считает, что ключевым моментом стало, видимо, повышение позднелетних температур. Согласно математической модели, построенной Шюстедтом и его коллегами, ситуация грозит ухудшением: к концу нынешнего столетия потенциально опасный период вспышек туляремии удлинится на срок от трех с половиной недель до шести с половиной (в зонах повышенного риска).

Угроза поджидает людей и с другой стороны. Климатический фактор может изменить местообитания различных животных таким образом, что это будет способствовать передаче инфекционных заболеваний от них людям. Зимой 2006–2007 гг. Швеция пережила локальную эпидемию (около 500 случаев) хантавирусных заболеваний, вызванных попаданием возбудителей в организм человека

при вдыхании частиц мочи или кала больных грызунов. (Хантавирусные инфекции — группа заболеваний, вызываемых вирусами грызунов и проявляющихся в различных формах: от простудных симптомов до тяжелой почечной недостаточности.) Эпидемический нефрит, вызванный вирусами в Швеции, привел к госпитализации примерно 150 человек; как минимум три случая оказались летальными.

Эпидемиологи смогли в конце концов установить причину вспышки — необычную, но вполне объяснимую. Зимние температуры в стране тогда побили все рекорды по теплу, и вместо снега в Швеции выпадали то град, то дожди. Хантавирусы паразитируют в природе исключительно на водяных полевках, а тем в зимний период совершенно необходим нормальный снежный покров. Поскольку снега в Швеции не выпадало от 25 до 31 дня, полевки, очевидно, стали искать убежище в амбарах и сельских домах, что, естественно, способствовало передаче вируса людям. Похоже, что в будущем теплые и влажные зимы станут для Швеции обычным явлением.

Тюлени убивают друг друга

Опасение вызывают миграции животных не только на суше. Рыбы и морские млекопитающие тоже массово двинулись из теплеющих средних широт в направлении полюсов в поисках более прохладных вод. Ученые постоянно находят новые и новые патогены морского происхождения в северных регионах, всякий раз все ближе и ближе к полюсу. Например, стаи трески, одной из главных промысловых рыб во всем мире, сейчас достигли рекордной численности в Баренцевом море к северо-востоку от Норвегии. Неудивительно, что вместе с этими рыбами путешествуют и вирусы. Вслед за косяками рыб отправляются хищники, а с ними на север перемещаются и патогенные микроорганизмы.

Иногда возникают и противоположные, но ничуть не менее опасные ситуации, когда возбудитель, давно обосновавшийся на севере, находит новые жертвы среди мигрантов с юга. В частности, речь идет о случае с длинномордыми (серыми) тюленями, которые тоже преследуют косяки рыб в погоне за пищей и заходят все дальше на север. В феврале 2012 г. 400 детенышей этого вида (примерно шестая часть ежегодного рождающегося молодняка) были найдены мертвыми на острове Хэй вблизи берегов Новой Шотландии. Ученые полагают, что виновником массовой гибели молодых тюленей был одноклеточный паразит, близкий к виду *Sarcocystis canis*, который в свою очередь приходится родственником хорошо известному возбудителю малярии. Этот еще не описанный паразит, похожий на *S. canis*, далеко не всегда однозначно губителен для своих хозяев, но в некоторых популяциях он может производить настоящее опустошение.

В поисках первичного носителя инфекции ученые протестировали больше десятка местных арктических животных и определили наиболее вероятного кандидата — кольчатую нерпу, обычный вид в канадской Арктике, проводящий большую часть своей жизни на морских льдинах. В исследовании, результаты которого будут опубликованы в ближайшее время, специалисты предполагают, что кольчатые нерпы, судя по всему, могут играть двоякую роль в распространении упомянутого выше паразита. Предоставляем слово Кэти Хаман (Katie Haman), ветеринару и будущему доктору медицины из Университета Британской Колумбии: «Они способны выступать в качестве либо промежуточного хозяина, заражая им других животных, либо окончательного (дефинитивного) хозяина, в котором паразит завершает свой цикл фазой полового размножения, после чего его яйца (ооцисты) выходят в окружающую среду с фекалиями. Ооцисты заразны для многих других животных, включая новоприбывших длинномордых тюленей: они легко проникают в их организм и вызывают острые заболевания». Уже знакомый нам Майкл Григг (кстати, научный руководитель Кэти Хаман) добавляет: «Это первый случай за всю историю зоологии, когда ученые наблюдали смешение популяций длинномордого тюленя и кольчатой нерпы. Подтверждают эти наблюдения и местные рыбаки. Теперь специалисты надеются обнаружить в природе кольчатую нерпу с ооцистами, чтобы тем самым подтвердить роль данного вида в качестве дефинитивного хозяина.

Зловеще выглядят и другие результаты, полученные группой исследователей под руководством Майкла Григга: буквально у каждого вида морских млекопитающих, которых они успели исследовать, были найдены ранее неизвестные патогенные микроорганизмы. По словам Григга, Арктику можно сравнить с «книгой темных пророчеств, в которую мы, на свою беду, так и не удосужились заглянуть вовремя».

Рейнджеры против патогенов?

С незапамятных времен арктические холода и вечные льды сдерживали распространение болезней на Крайнем Севере; тому способствовало и отсутствие населения в этих краях. Животные, обитающие там, привыкли к естественной «стерильности» этих мест, равно как и к отсутствию неожиданных гостей из других широт. Некоторые ученые даже предполагают, что ежегодные миграции птиц в Арктику возникли как эволюционное приспособление, направленное на то, чтобы тратить летом энергию на размножение, а не на борьбу с паразитами и болезнями, обычными на юге.

Теперь же за Северным полярным кругом происходит «реорганизация экосистем», как сухо выражаются ученые; на деле же это выглядит подобно

вавилонскому столпотворению. Животные сталкиваются друг с другом самым неожиданным и причудливым образом. Утверждают даже, что в Кактовике на Аляске видели, как гризли и белые медведи то дрались, то совокуплялись друг с другом.

В 2011 г. на одном из берегов Аляски высадили десант из 20 тыс. моржей, поскольку в тот год морские льды в Чукотском море, где эти животные обычно проводят летнее время, попросту исчезли. Все увеличивающаяся численность местных жителей, многочисленные приезжие, экологические стрессы любого происхождения — все это резко увеличивает вероятность распространения новых заболеваний, утверждают специалисты.

Хворающая Арктика — одно из последствий куда более масштабных процессов: весь наш мир обременен новыми болезнями, спровоцированными меняющимся климатом. Вирусы, бактерии, грибы, паразитические животные наводняют не только северные широты, но и экваториальные области, проникая в тропические леса и на коралловые рифы. Тропические же болезни, в свою очередь, прорываются в умеренные климатические пояса — так, тропическая лихорадка денге внезапно появилась во Флориде и в Техасе.

Не станем сгущать краски: Арктика пока еще не испытала серьезных потрясений от надвигающихся извне недугов. Все зафиксированные до сих пор вспышки заболеваний имели достаточно ограниченное распространение. Некоторые животные, возможно, даже получили определенные преимущества от потепления климата. Черные казарки, предпочитающие селиться на засоленных приморских болотах, сейчас находят на Арктической низменности Аляски все больше подходящих местобитаний, т.к. вечная мерзлота протаивает и берега Северного Ледовитого океана опускаются. Ряд существовавших ранее эпидемиологических проблем тоже могут найти разрешение в меняющихся условиях.

И все-таки ученые чуть ли не ежемесячно выявляют в северных широтах все новые и часто необычные заболевания — облысение белых медведей, птичью холеру и многое другое. Что это — реальная опасность или же просто результат более регулярных и внимательных наблюдений? Трудно сказать. В чем ученые, однако, не сомневаются, так это в необходимости иметь больше первичной информации о самых различных болезнях в высоких широтах. Конечно, куда проще пожелать, чем получить это. Крайний Север далек и необъятен, а работать там дорого и опасно. Но ученые знают, о чем говорят: их опыт подсказывает, что мы стоим перед лицом растущей проблемы.

К тому же более интенсивные исследования могли бы позволить различным странам договориться о мерах борьбы с новыми заболеваниями по мере

того, как они будут выявляться. «Все, чем мы занимаемся сейчас в Арктике, — замечает наш оксфордский респондент Клэр Хэффернан, — это спорами по поводу прав на энергетические ресурсы, водружая свои флаги на дне океана и мутя воду в поисках нефти. А следовало бы нам вести переговоры о коллективной безопасности в области эпидемиологии». Она добавляет, что необходимо вырабатывать соглашения и о том, как снизить опасность возникновения массовых заболеваний, и о том, как предотвращать появление новых инфекций, равным образом среди животных и людей.

Майкл Григг настаивает на том, что подобные соглашения требуются прямо сейчас. По его словам, Арктика была долгое время отрезана от всего остального мира, в ней существовала собственная динамика экологических условий и сформировался естественный баланс между патогенными организмами и их хозяевами. Однако новые условия снимают выработанные веками ограничения, и ситуация меняется — повсюду и все возрастающими темпами.

Иногда эти изменения довольно быстро разрешаются возникновением нового равновесия и не причиняют серьезного вреда. В этой связи Григг описывает случай с вирусной энцефалитной лихорадкой, возбудитель которой попал с Западного Нила в США и почти вызвал панику, но весьма быстро стабилизировался, не вызвав тяжелых последствий. Но вслед за этим Григг напоминает про крыс, заразивших бубонной чумой пол-Европы, и про то, как косила индейское население обеих Америк оспа, попав туда вместе с конкистадорами: «Вы можете выбирать любые слова, но все равно порой слово "изменения" означает не что иное, как "катастрофа"».

Перевод: В.Э. Скворцов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Стурм М. Арктические растения и глобальное потепление // ВМН, № 7, 2010.
- Соломон К. Как кошки убивают дельфинов // ВМН, № 7-8, 2013.
- Phocine Distemper Virus in Northern Sea Otters in the Pacific Ocean, Alaska, USA. Tracey Goldstein et al. in Emerging Infectious Diseases, Vol. 15, No. 6, pages 925-927; June 2009. www.cdc.gov/eid
- Invasion, Establishment and Range Expansion of Two Parasitic Nematodes in the Canadian Arctic. Susan J. Kutz et al. in Global Change Biology, Vol. 19, No. 11, pages 3254-3262; November 1, 2013.
- Дополнительную информацию о том, как различные болезни приспосабливаются к условиям Крайнего Севера, см. по адресу: ScientificAmerican.com/aug2014/solomon

АСТРОНОМИЯ

Весь СВЕТ во Вселенной

Галактики, зародившиеся когда-то в разных уголках Вселенной, испускали фотоны в течение всего времени своего существования. Сегодня астрономы начинают разбираться в информации, которую несет этот фоновый межгалактический свет

Труди Белл, Альберто Домингес и Джоэл Примац



ОБ АВТОРАХ

Труди Белл (Trudy E. Bell) — бывший редактор журналов *Scientific American* и *IEEE Spectrum*, автор десятка книг.

Альберто Домингес (Alberto Dominguez) — научный сотрудник кафедры физики и астрономии Университета Клемсона. Занимается изучением эволюции галактик и космологией.

Джоэл Примак (Joel R. Primack) — почетный профессор физики Калифорнийского университета в Санта-Крузе. Круг интересов — космология, темная материя.



Почему ночью небо темное?

Если Вселенная состоит из миллиардов галактик и каждая из них населена миллиардами звезд, которые в течение миллиардов лет испускали фотоны, то почему она не залита светом? Немецкий астроном Вильгельм Ольберс (Wilhelm Olbers, 1758–1840) задумался над этим в 1820-х гг., а загадка получила название парадокса Ольберса, или фотометрического парадокса. Еще древние астрономы и философы удивлялись, почему небо темное, и задавались вопросом, не стоит ли за этой темнотой тайна эволюции Вселенной. Эти ученые мужи были настоящими провидцами!

На самом деле во вселенской тьме больше света, чем нам кажется. Даже в глубоком космосе, вдали от звезд Млечного Пути, межгалактическое пространство не абсолютно черное. Оно светится благодаря так называемому рассеянному внегалактическому фоновому излучению (ВФИ). Это излучение состоит из фотонов, испущенных всеми когда-либо существовавшими звездами и галактиками, и представлено светом всех длин волн — от ультрафиолетового до инфракрасного. Свет удаленных галактик очень слаб, поскольку межгалактическое пространство огромно и в этих масштабах в нем не так уж много светящихся

галактик (или тех, которые светились когда-то). Поскольку Вселенная расширяется, фотоны, испущенные галактиками за всю ее историю, разлетались по всему космическому пространству и постепенно разредились. Кроме того, в результате расширения свет от далеких галактик претерпевал красное смещение — длина его волны увеличивалась, перемещаясь в невидимую для глаза область электромагнитного спектра.

Наблюдать внегалактическое фоновое излучение напрямую невозможно вследствие высокой яркости современных звезд и галактик. Но в 2012–2013 гг. группа астрофизиков (в том числе двое из нас,

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Ночное небо, кажущееся нам темным, на самом деле наполнено светом галактик, образовавшихся на протяжении всей истории существования Вселенной.
- Внегалактическое фоновое излучение сложно обнаружить, поскольку оно доходит до нас, преодолевая огромные расстояния, и его затмевают находящиеся вблизи Земли яркие источники света.
- Сегодня появилась возможность измерить плотность этого излучения, определяя, как ослабевает поток гамма-лучей от удаленных ярких галактик (блазаров) в результате взаимодействия с фотонами внегалактического фонового излучения.
- Новый метод позволяет получить информацию об эволюции Вселенной.

Альберто Домингес и Джоэл Примак) смогли «увидеть» внегалактическое фоновое излучение, опираясь на данные, полученные с помощью Космического гамма-телескопа «Ферми» и наземных детекторов гамма-излучения очень высокой энергии, так называемой системы атмосферных гамма-телескопов с использованием эффекта Черенкова. Поскольку звезды дают наибольший вклад в ВФИ либо сами по себе, либо раскаляя межзвездную пыль, которая испускает свет больших длин волн, ВФИ представляет собой хранилище «памяти» об образовании звезд в разные эпохи на протяжении всей истории Вселенной. Отслеживая изменение ВФИ за несколько миллиардов лет, мы сможем проследить эволюцию галактик с древнейших времен до сегодня. Со временем это позволит нам изучить самое первое поколение галактик, существовавших 13 млрд лет назад, свет от которых слишком слаб, чтобы его можно было увидеть напрямую с помощью современных телескопов.

Происхождение внегалактического фонового излучения

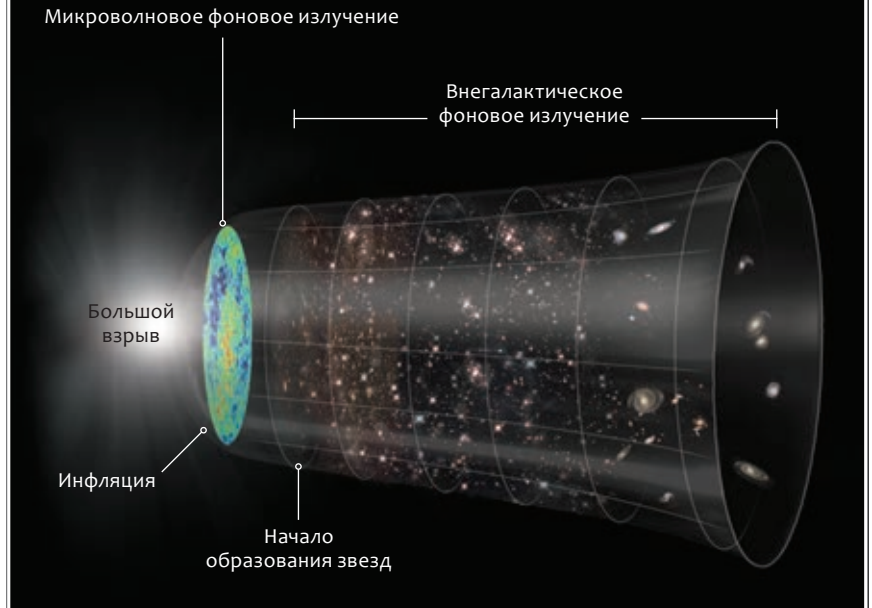
Парадокс Ольберса оставался по сути философским вопросом вплоть до 1960-х гг., когда благодаря выдающимся астрономическим открытиям, затрагивающим все области электромагнитного спектра, космология перешла от умозрительных построений к строгим наблюдениям. Обнаруживались все новые и новые галактики причудливой формы и межгалактические объекты. Становилось ясно, что Вселенная наполнена разреженным фотонным «газом». Составляющие его фотоны имели самые разные длины волн и, следовательно, обладали разной энергией (чем меньше длина волны, тем выше энергия, и наоборот). Этот газ включал фоновое и ряд других видов излучений, которые распространялись по всем направлениям. Самое интенсивное из них — космическое микроволновое фоновое (или реликтовое) излучение, отголосок Большого взрыва. Его открыли в 1965 г. молодые американские астрофизики Арно Пензиас (Arno Penzias) и Роберт Вудро Вильсон (Robert Woodrow Wilson), работавшие тогда в AT&T Bell Laboratories, за что получили в 1978 г. Нобелевскую премию по физике. В 1960-х гг. с помощью геофизических зондирующих ракет был

Illustrations by Don Foley

Радиационные поля

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОЕ ФОНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Внегалактическое фоновое излучение (ВФИ) — это свет от всех объектов, когда-либо существовавших во Вселенной. Оно восходит к временам образования первых звезд и галактик, наступившим примерно через 200 млн лет после Большого взрыва. К ВФИ постоянно добавляется свет новых галактик. Но поскольку космическое пространство столь обширно (и продолжает расширяться), на своем пути этот свет меркнет и рассеивается. Вселенную пронизывает еще один вид излучения — космическое микроволновое фоновое, или реликтовое. Оно возникло одномоментно спустя примерно 400 тыс. лет после Большого взрыва и не увеличивается со временем.



зарегистрирован другой вид излучения — диффузное внегалактическое рентгеновское гамма-излучение, а в конце 1960-х гг. орбитальная солнечная обсерватория обнаружила еще один тип фонового излучения — гамма-лучи очень высокой энергии.

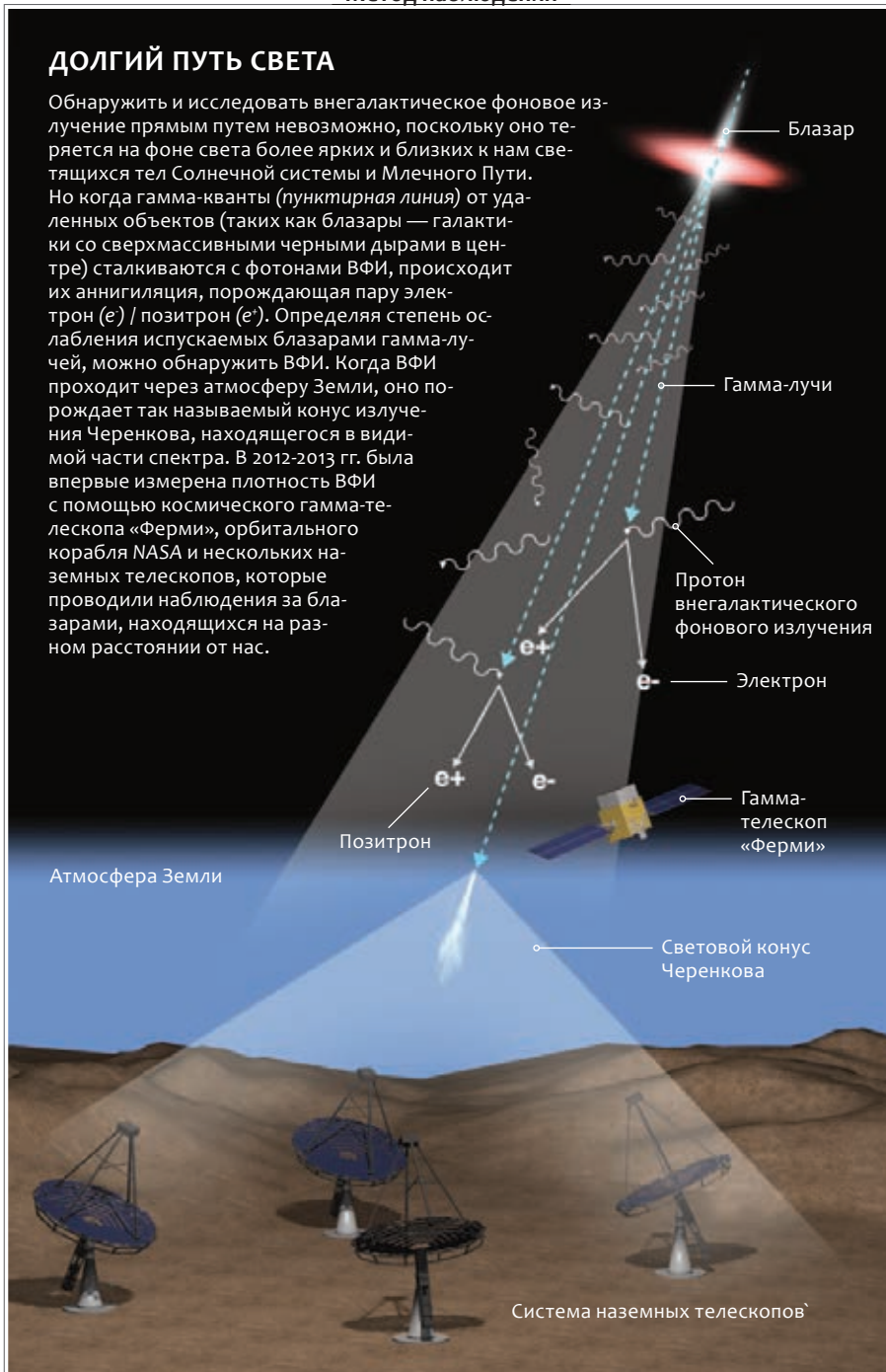
ВФИ включает ближний ультрафиолет, видимый свет и инфракрасное излучение; оно второе по энергии и интенсивности после реликтового. В отличие от последнего, оно возникло не одномоментно, а нарастало в течение миллиардов лет, с момента образования первых звезд в первых галактиках спустя примерно 200 млн лет после Большого взрыва. ВФИ увеличивается и сегодня с рождением новых звезд.

Прямое измерение ВФИ посредством регистрации составляющих его фотонов с помощью телескопов сродни наблюдению за тусклой лентой Млечного Пути ночью среди ярко сияющих театральных афиш, рекламных щитов и небоскребов на площади Таймс-сквер в Нью-Йорке. У ВФИ много «конкурентов» в видимом и инфракрасном диапазонах. Земля находится в чрезвычайно яркой галактике, состоящей из миллиардов звезд и облаков светящегося газа, и этот свет затмевает внегалактическое фоновое излучение. Что еще

Метод наблюдения

ДОЛГИЙ ПУТЬ СВЕТА

Обнаружить и исследовать внегалактическое фоновое излучение прямым путем невозможно, поскольку оно теряется на фоне света более ярких и близких к нам светящихся тел Солнечной системы и Млечного Пути. Но когда гамма-кванты (пунктирная линия) от удаленных объектов (таких как блазары — галактики со сверхмассивными черными дырами в центре) сталкиваются с фотонами ВФИ, происходит их аннигиляция, порождающая пару электрон (e^-) / позитрон (e^+). Определяя степень ослабления испускаемых блазарами гамма-лучей, можно обнаружить ВФИ. Когда ВФИ проходит через атмосферу Земли, оно порождает так называемый конус излучения Черенкова, находящегося в видимой части спектра. В 2012-2013 гг. была впервые измерена плотность ВФИ с помощью космического гамма-телескопа «Ферми», орбитального корабля NASA и нескольких наземных телескопов, которые проводили наблюдения за блазарами, находящимися на разном расстоянии от нас.



гораздо более мощное свечение Солнечной системы и Млечного Пути? Вряд ли. По крайней мере наземные и космические телескопы не смогли этого сделать. В 2000 г. Пьеро Мадау (Piero Madau) из Калифорнийского университета в Санта-Крузе и Лючия Поццетти (Lucia Pozzetti), работающая в Астрономической обсерватории Болоньи, суммировали интенсивность света, идущего от галактик, обнаруженных с помощью Космического телескопа «Хаббл». (Напомним, что внегалактическое фоновое излучение — это весь свет, излучаемый в диапазоне от ближнего ультрафиолета до инфракрасной области, включая свет от самых ярких галактик, измерить который не составляет труда, плюс свет от таких тусклых галактик, что их невозможно увидеть в телескоп.) Но при таком способе нельзя вычлнить свет тусклых галактик или другие возможные источники света, следовательно, он дает лишь нижний предел возможной яркости ВФИ при различных длинах волн.

В 2011 г. Домингес и Примак вместе с другими нашими коллегами установили более строгие нижние пределы для ВФИ, суммировав интенсивность инфракрасного и видимого света, зарегистрированного с помощью наземных и космических телескопов, который испустили ближайшие галактики примерно 8 млрд лет назад, что соответствует немногим больше половины времени от настоящего момента до Большого взрыва. (Заглянуть в глубокий космос на огромные расстояния — это примерно то же, что заглянуть назад в бесконечность, поскольку мы видим космические объекты сейчас, когда свет от них достиг наших телескопов, такими, какими они были миллиарды лет назад.) Мы сравнили спектры излучения галактик, удаленных от нас на разное расстояние — т.е. относящихся к разным космическим

хуже — Земля «обитает» в очень хорошо освещенной Солнечной системе: рассеяние солнечного света космической пылью в окрестностях ее орбиты порождает зодиакальный свет — иногда настолько яркий, что в темное время суток в определенное время года его по ошибке можно принять за утреннюю зарю. Длины волн этого рассеянного света находятся в том же диапазоне, что и у ВФИ.

Так можно ли надеяться, что когда-нибудь удастся напрямую идентифицировать низкоэнергетические ВФИ-фотоны, если их «забивает»

SOURCE: NINA MCCURDY AND JOEL R. PRIMACK University of California High-Performance Astro Computing Center; FRAME FROM A CONCEPTUAL ANIMATION OF 3C 200 CREATED BY YU FONG AND STEFFEN NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO (BLAZAR)

эпохам. Это наилучший на сегодня способ определения яркости ВФИ, основанный на наблюдениях. Мы оценили верхнюю и нижнюю границы ВФИ даже для более удаленных и старых галактик, у которых параметр красного смещения больше 1.

Но чтобы оказаться внутри этого предела — т.е. реально измерить яркость внегалактического фонового излучения, — нужны другие подходы.

Сталкивающиеся фотоны

В 1960-х гг. у астрофизиков возникла идея «проникнуть внутрь» ВФИ через его взаимодействия с другими, более легко поддающимся наблюдениям излучениями.

Известно, что фотоны иногда сталкиваются друг с другом, в частности высокоэнергетические гамма-кванты могут сталкиваться с низкоэнергетическими фотонами, например квантами света, испускаемого звездами. В момент столкновения фотоны исчезают, а на их месте появляются электрон и его античастица, позитрон. Возникает вопрос: что произойдет, если гамма-лучи высокой энергии, идущие из далекого космоса, встретятся на пути к Земле с низкоэнергетическими фотонами ВФИ? Будут ли последние ослаблять видимую с Земли яркость гамма-излучения их источника? Если ослабление обнаружится, можно будет установить структуру ВФИ.

Этот вопрос оставался открытым до 1992 г., когда установленный на борту орбитальной гамма-обсерватории «Комптон» (*Compton Gamma Ray Observatory*) гамма-телескоп *Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET)* впервые зарегистрировал новый тип источников гамма-лучей — блазары, галактики со сверхмассивными черными дырами в центре, испускающими мощные струи гамма-частиц. Некоторые блазары, например *Markarian 421 (Mrk 421)*, испускают гамма-лучи колоссальной — 20 трлн эВ — энергии, что примерно в 100 млн раз больше энергии рентгеновских лучей, применяемых в медицине.

Markarian 421 находится от нас на расстоянии примерно 400 млн световых лет, т.е. относительно близко в межгалактическом масштабе. Обнаружив в 1990-х гг. такой мощный источник гамма-лучей, Примак подумал: может быть, аналогичные блазары есть и на значительно большем удалении от Земли, что помогло бы в изучении ВФИ? Впоследствии такие очень далекие «теравольтовые» блазары действительно были обнаружены. Как использовать этот факт, Домингес понял в 2006 г., во время работы над кандидатской диссертацией

в Севильском университете в Испании, где он изучал блазары с помощью системы телескопов Черенкова (*MAGIC*).

В 2012 г. Домингес стал членом коллектива из 150 астрофизиков, возглавляемых Марко Аджелло (*Marco Ajello*), который первым измерил количество света блазара, поглощаемого ВФИ. Исследователи тщательно изучили данные, полученные с помощью запущенного *NASA* Космического гамма-телескопа «Ферми», проанализировали результаты наблюдений за 150 блазарами, находящимися на разном удалении от Земли, чтобы определить, как сильно ослабляются гамма-лучи по мере прохождения сквозь «толщу» ВФИ. Наблюдения расширились до параметра красного смещения 1,6, что соответствует свету, излученному почти 10 млрд лет назад.

Обнаружение внегалактического фонового излучения было одной из самых сложных задач в наблюдательной астрономии — регистрация такого слабого рассеянного света потребовала координированной работы нескольких телескопов и целых научных коллективов по всему миру

Чтобы продвинуться дальше, нужно было разобраться в природе блазаров и таким образом выяснить, какое количество гамма-лучей разной энергии блазар испустил до того, как некоторые из этих лучей были поглощены в результате соударения с протонами ВФИ по всему внегалактическому пространству в миллиарды световых лет.

Оптимальным подходом к оценке исходной плотности излучения блазаров представляется объединение теоретических моделей их «деятельности» — прежде всего способа генерирования высокоэнергетического гамма-излучения — с результатами телескопических наблюдений испускаемых ими низкоэнергетических гамма- и рентгеновских лучей, которые были поглощены ВФИ. По-видимому, высокоэнергетическое гамма-излучение многих блазаров порождается в ходе так называемого синхротронного обратного комптоновского (*Synchrotron-Self-Compton, SSC*) рассеяния. Электроны и позитроны струй блазара, взаимодействуя с магнитными полями, испускают рентгеновские лучи. Часть их соударяется с электронами такой же энергии, порождая гамма-лучи.

SSC-модели позволяют предсказать исходную интенсивность высокоэнергетического гамма-излучения, сопоставляя ее с интенсивностью низкоэнергетического гамма-излучения, которую мы можем измерить.

В 2013 г. Домингес, Примак, Джастин Финк (Justin Finke) из Научно-исследовательской лаборатории ВМФ США, Франциско Прада (Francisco Prada) из Института астрофизики Андалусии и трое других ученых сопоставили результаты проведенных практически одновременно наблюдений за 15 блазарами, находящимися на разных космологических расстояниях. Для этого были задействованы шесть космических кораблей NASA и несколько наземных телескопов, работающих в разных диапазонах длин волн. Мы сравнили данные, полученные с помощью гамма-телескопа «Ферми», с интенсивностью рентге-

Ночное небо только кажется темным. На самом деле оно наполнено светом всех когда-либо существовавших галактик. Это фоновое излучение, пронизывающее каждый кубический сантиметр космического пространства, постоянно пополняется светом от вспышек сверхновых, ярким свечением облаков газа, светом новых звезд

новских лучей, испускаемых теми же блазарами, измеренной спутниками космической рентгеновской обсерваторией «Чандра», орбитальной обсерваторией «Свифт», космическими рентгеновскими телескопами «Росси» и «Ньютон», а также наземными обсерваториями в оптическом и радиодиапазонах.

Сопоставляя эти наблюдения, сделанные на различных длинах волн, с предсказаниями SSC-моделей, мы смогли оценить неослабленную яркость гамма-лучей, испускаемых девятью самыми мощными блазарами, чья энергия излучения измеряется теравольтами. Сравнив эти данные с результатами прямых измерений, сделанных наземными телескопами, ослабленного гамма-излучения тех же самых блазаров, которое доходит до Земли, мы определили плотность ВФИ по его «отпечатку», оставленному в спектре излучения блазаров с разным параметром красного смещения, т.е. находящихся на разном удалении от Земли.

Окно в прошлое

Обнаружение внегалактического фонового излучения было одной из самых сложных задач в наблюдательной астрономии: регистрация такого слабого рассеянного света потребовала координированной работы нескольких телескопов и целых научных коллективов по всему миру. Зато теперь мы имеем новый мощный инструмент для изучения истории космоса. Как только стало ясно, что блазары — весьма ценный объект с точки зрения исследований ВФИ, а произошло это в 1990-х гг., Примак и Донн Макминн (Donn MacMinn), в то время подающий большие надежды дипломник колледжа Калифорнийского университета в Санта-Крузе, задались вопросом: нельзя ли извлечь из получаемых результатов информацию об эволюции галактик? У нас до сих пор остаются без ответа множество фундаментальных вопросов отно-

сительно их образования. Так, мы не знаем, что представляют собой многочисленные массивные звезды на разных стадиях формирования, каким образом космическая пыль поглощала свет звезд и переизлучала его при больших длинах волн, как изменяются звезды, образовавшиеся в галактиках, по ходу эволюции Вселенной. Макминн и Примак поставили перед собой цель исследовать гамма-излучение блазаров, находящихся от нас на разном расстоянии, т.е. излучение, прошедшее сквозь разную толщину ВФИ, чтобы попытаться ответить на некоторые из этих основопо-

лагающих вопросов и приоткрыть завесу над тайной формирования звезд в разные эпохи.

Так, известно, что удаленные галактики ранней Вселенной визуально существенно отличаются от близлежащих галактик: это не правильные сфероиды или изумительные по красоте спирали, а компактные образования нерегулярной формы. Последнее отчасти объясняется столкновениями между ранними галактиками, поскольку юная Вселенная была намного плотнее сегодняшней. Кроме того, ранние галактики излучают гораздо больше света в инфракрасном диапазоне, чем близлежащие. Это значит, что спектр ВФИ, исходящего от далеких старых галактик, отличается от такового ВФИ, порождаемого более молодыми галактиками, которые находятся ближе к нам.

Таким образом, особенности поглощения гамма-лучей ВФИ-фотонами из глубокого космоса — т.е. в далеком прошлом — тоже должны отличаться от таковых для ближнего космоса. Действительно,

к 1994 г. Макминн и Примак, основываясь на многочисленных модельных построениях, пришли к выводу, что главный фактор, определяющий характеристики ВФИ, это время формирования галактики — источника фотонов. Введя ряд космологических допущений, мы спрогнозировали, как будет расти во времени затухание потока фотонов под действием ВФИ, и в конце концов продемонстрировали, что, опираясь на данные о поглощении ВФИ гамма-квантов, исходящих от теравольтовых источников, которые находятся от нас на разном расстоянии, можно сравнивать альтернативные теории эволюции галактик.

Теперь, когда у нас есть первые характеристики ВФИ, основанные на данных об ослаблении излучения блазаров, можно попытаться получить картину формирования звезд и галактик за все время существования Вселенной. Например, полученный нами спектр ВФИ дает представление о том, что происходило на пике формирования звезд — в «космический полдень» — в период между 8 и 12 млрд лет назад. В спектре четко видны два всплеска: один связан с ультрафиолетовым и оптическим излучением звезд, другой, более сильный — с излучением в дальнем инфракрасном диапазоне, вероятно, связанным с космической пылью. Известно, что вспыхивающие звезды порождают пыль, состоящую из таких элементов, как углерод, водород и железо, которая окутывает области формирования звезд; в «космический полдень» эта пыль поглотила большую часть света звезд и переизлучила его в инфракрасном диапазоне. ВФИ позволяет узнать, насколько обычными в то время были такие «запыленные» галактики, а это, в свою очередь, дает ключ к пониманию процесса образования твердых планет (в том числе Земли), поскольку такие планеты содержат большое количество космической пыли.

Взгляд в будущее

Трудно передать словами, что испытывает человек, когда его давняя мечта воплощается в жизнь. Мы оказались такими счастливыми: наблюдения за внегалактическим фоновым излучением с применением множества разнообразных телескопов подтвердили наши предположения. И какое же удовольствие — анализировать теперь эту информацию, полученную с помощью совершенно нового космологического инструмента, прослеживая связь эволюции ВФИ и всей Вселенной.

Дальнейшие исследования могут поведать нам, что происходило во Вселенной в еще более ранние периоды. Если нам удастся включить в наблюдения несколько источников гамма-излучения с еще большим параметром красного смещения, мы сможем проникнуть в тайну реионизации Вселенной (когда ультрафиолетовое излучение от самых первых звезд выбивало электроны из атомов водорода)

в первый миллиард лет после Большого взрыва. Эту цель преследует масштабный международный проект *Cherenkov Telescope Array*, который сейчас находится на стадии разработки и предполагает возведение в Северном и Южном полушариях массивов телескопов, предназначенных для регистрации гамма-лучей в широком диапазоне энергий. И когда мы получим окончательные количественные оценки ВФИ, у нас появится возможность вскрыть природу блазаров, этих экзотических объектов Вселенной.

Интересно, что плотность ВФИ, измеренная косвенным путем с помощью нашего метода оценки ослабления гамма-лучей, согласуется с величиной, оцененной независимо по данным для наблюдаемых галактик более ранних космических эпох. Это свидетельствует об адекватности метода изучения ВФИ с помощью ослабления гамма-лучей, что приближает нас к истине.

С совершенствованием наблюдательных методов совпадение между результатами разных способов измерений будет либо становится еще более полным, тем самым значительно уменьшая вероятность существования альтернативных источников света во Вселенной (таких, например, как распадающиеся гипотетические реликтовые частицы в юной Вселенной), либо, напротив, ухудшаться. И тогда придется предположить, что существуют какие-то неизвестные нам астрофизические явления (например, превращение экзотических гипотетических частиц в гамма-лучи). Установить истину помогут такие проекты, как строящаяся сейчас обсерватория *Cherenkov Telescope Array*, орбитальный космический телескоп «Джеймс Уэбб», наземный широкоугольный телескоп-рефлектор *Large Synoptic Survey Telescope (LSST)* и система тридцатиметровых наземных телескопов.

Итак, объяснение парадоксу Ольберса найдено: ночное небо только кажется темным. На самом деле оно наполнено светом всех когда-либо существовавших галактик, просто этот свет трудно обнаружить. Это фоновое излучение, пронизывающее каждый кубический сантиметр космического пространства, постоянно пополняется светом от вспышек сверхновых, ярким свечением облаков газа, сиянием новых звезд. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ Detection of the Cosmic γ -ray Horizon from Multiwavelength Observations of Blazars. A. Domínguez et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 770, No. 1, Article No. 77;

■ Анимационный видеоролик о блазарах см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2015/eb1



РОЖДЕНИЕ

«Система космических запусков» NASA — летающий

CAUTION
DO NOT CRUSH
INSULATION

CAUTION
DO NOT CRUSH
INSULATION

ТЕХНИКА

РАКЕТЫ

кусок казенного пирога или уникальный шанс доставить людей в далекий космос?

Дэвид Фридман

Жидкостный ракетный двигатель RS-25 выводил в космос космический челнок «Спейс Шаттл», а в скором времени его установят на другом космическом аппарате NASA, предназначенном для исследования глубокого космоса и названном «Система космических запусков» (SLS)

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Фридман (David H. Freedman) — помощник редактора литературного журнала *The Atlantic*, автор пяти книг, последняя из которых, «Неверно» (*Wrong*), посвящена проблемам, связанным с опубликованием результатов исследований ученых-медиков и других специалистов.



На территории огромного, но мало кому известного завода NASA целые коллективы специалистов (ученых, инженеров, конструкторов) годами занимались разработкой космических проектов, порою весьма сомнительных. И это не какое-то ни на чем не основанное предположение, а скорее грустная история принадлежащего NASA сборочного завода в Мичауде (*Michoud Assembly Facility, MAF*), грандиозного производственного комплекса в Новом Орлеане, где агентство уже десятилетиями строит свои самые крупные ракеты.

В 2011 г. после завершающего полета «Спейс Шаттла» расположенные в огромных ангарах производственные площади завода были сданы в аренду киностудиям Голливуда: здесь снимались сцены фильма «Игра Эндера» и других научно-фантастических кинокартин.



! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- После закрытия программы «Созвездие», которая должна была стать преемником системы «Спейс Шаттл», США решили обратиться к частным подрядчикам для доставки грузов на низкую околоземную орбиту и создания сверхтяжелой ракеты под названием «Система космических запусков» (*SLS*), которая будет доставлять астронавтов и грузы в далекий космос.
- Основанная на компонентах «Шаттла», при восторженной поддержке политических деятелей от штатов, где производится ее комплектующие, *SLS* получила название «ракета в никуда». Эта лоббируемая Конгрессом программа не имела определенных целей, и шансы на ее запуск были невелики.
- Однако до сих пор она реализуется и финансируется из бюджета. Полным ходом идет планирование экспедиции с ее участием, а первый запуск намечен на 2018 г. Долговечность *SLS*, как и любой рассчитанной на несколько десятилетий программы, зависит от будущих политиков. Станет ли этот «летающий кусок казенного пирога» лучшим способом попасть на Марс — большой вопрос.

Однако позже сюда прибыл коллектив инженеров и техников NASA, в задачу которых входили разработка и изготовление новой важной продукции — продолжение великих идей агентства по запуску человека в космос. *MAF* вернулся в бизнес, занявшись изготовлением самого крупного и амбициозного в истории космического летательного аппарата — сверхтяжелой ракеты-носителя под названием «Система космических запусков» (*Space Launch System, SLS*). С его помощью NASA планирует осуществить эпохальный запуск экипажа астронавтов с мыса Канаверал, Флорида, в длительное — более года — путешествие к Марсу, с целью доставить на планету, покрытую толстым слоем ржавой пыли, модули для жилья, транспортные средства и продовольствие, на что уйдет несколько недель. Для реализации данной программы понадобится еще лет 25. За это время *SLS* могла бы доставить



Не позднее следующего года инженеры NASA проведут на стендах Космического центра им. Джона Стенниса в штате Миссисипи огневые испытания 64-метровой основной ступени ракеты-носителя SLS

из них закончились катастрофами. В 2004 г., спустя год после разрушения корабля «Колумбия» во время возвращения на Землю, повлекшего гибель семерых астронавтов, президент США Джордж Буш потребовал от NASA прекратить эксплуатацию «Шаттлов» и начать разработку подобной «Аполлону» программы, возвращающей нас к полетам на Луну, а затем и к Марсу. Результатом стал космический проект «Созвездие», в рамках которого были созданы две новых ракеты-носителя: «Арес I» для вывода на орбиту пилотируемого исследовательского корабля и сверхтяжелая грузовая «Арес V», версия ракеты-носителя «Сатурн V». Однако к 2011 г., когда суммарные расходы на «Созвездие» составили около \$9 млрд, в итоге были созданы лишь многоцелевой пилотируемый корабль «Орион» концерна *Lockheed Martin* и ракета, совершившая всего

людей на Луну и какой-нибудь астероид и отправить космический зонд на поиски признаков жизни на одном из спутников Юпитера — Европе.

Этот грандиозный межпланетный проект — один из самых дерзких, предпринятых NASA. Так почему у него столько противников?

На смену «Шаттлу»

После головокружительного успеха программы «Аполлон» в 1960-х — начале 1970-х гг. по осуществлению первой пилотируемой посадки на Луну предполагалось, что «Спейс Шаттл» станет относительно дешевым рутинным средством доставки экипажей и грузов на околоземную орбиту и челноки будут снова летать между Землей и орбитой. На деле оказалось, что средняя стоимость одного запуска «Шаттла» превышает \$1 млрд, при этом полеты были возможны лишь несколько раз в год, а два

один пробный старт. Решением президента Барака Обамы программа была свернута, а новым ориентиром для дальнейшей деятельности NASA по его указанию стала экспедиция к одному из астероидов. Для доставки экипажей и грузов на Международную космическую станцию (МКС) агентство вынуждено было обратиться к частным фирмам.

Однако многие члены Конгресса усилению лоббируют продолжение работ по созданию новой тяжелой ракеты-носителя, способной доставлять людей на Луну и Марс. Компромиссом стала SLS, единственная большая ракета, предназначенная для транспортировки как экипажей, так и грузов, которой не коснулись многие новейшие технологии, используемые при создании «Ареса»; вместо этого в дело пошли двигатели, ускорители и топливные баки «Шаттла». Иными словами, SLS представляла собой более дешевый вариант «Ареса».

Злые языки утверждали, что Конгресс придумал ее для того, чтобы оправдать деятельность NASA и его основных подрядчиков. «Особенность этого космического проекта заключается в том, что ракета-носитель впервые создавалась под эгидой политиков, а не ученых и инженеров», — писал в декабре прошлого года еженедельный журнал *Economist*. Некоторые критики с издевкой называли SLS «ракетой-кормушкой» или «Сенаторской системой запуска». Сенаторы южных штатов, где расположены крупные заводы NASA или их подрядчики, действительно выступали в Конгрессе в качестве активных сторонников SLS. Среди них — Ричард Шелби (Richard Shelby), сенатор от штата Алабама (более 6 тыс. человек работают в находящемся в ведении NASA Центре космических полетов им. Джорджа Маршалла в Хантсвилле, откуда осуществляется руководство SLS) и Дэвид Виттер (David Vitter), сенатор от штата Луизиана (где находится сборочный завод MAF). «Боинг», главный

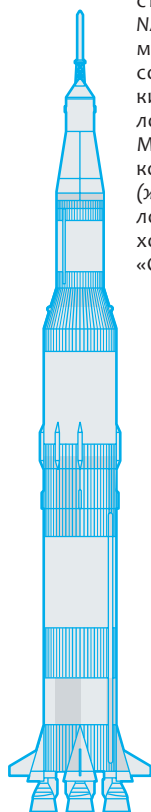
производитель основной ступени, уже задействовал многих из 1,5 тыс. сотрудников, занятых в этой программе.

Это и большая программа, и большая ракета. В исходном варианте первую ступень предполагается оснастить четырьмя водородно-кислородными двигателями RS-25 от «Шаттлов»: они расположатся в нижней ее части. По бокам первой ступени будут установлены твердотопливные ускорители, обеспечивающие стартовую тягу для отрыва сверхтяжелой ракеты от Земли. Двигатели второй ступени, находящейся над первой, должны включиться на высоте около 50 км и вывести на орбиту ракету вместе с пилотируемым кораблем «Орион», помещенным в ее носовую часть. При длине в 98 м ракета будет немного короче, но значительно мощнее, чем «Сатурн V», который доставлял все экспедиции на Луну, и сможет нести в три раза больше полезной нагрузки, чем «Шаттл». Ни один из компонентов этой ракеты не подлежит повторному

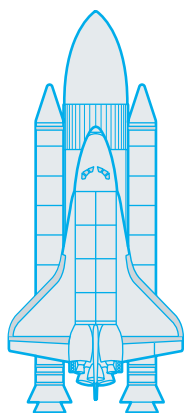
Поколения ракет-носителей

ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕ

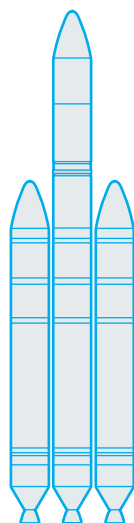
Со времен последнего запуска ракеты-носителя «Сатурн V», который состоялся в 1973 г., прошли десятки лет; NASA отдало предпочтение ракетам меньших размеров и массы, не способным доставить человека в глубокий космос. Однако теперь, когда человечество всерьез заинтересовалось Марсом, агентство занялось разработкой «Системы космических запусков» (желтый) — серии сверхтяжелых пилотируемых ракет-носителей, превосходящих по развиваемой тяге даже «Сатурн V».



«Сатурн V»
Первый полет
1967 г.



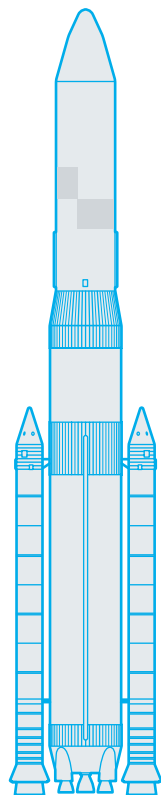
«Спейс Шаттл»
Первый полет
1981 г.



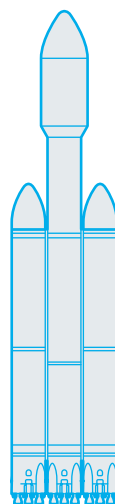
«Дельта IV Хэви»
Первый полет
2004 г.



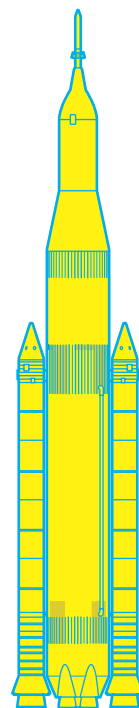
«Ариес I»



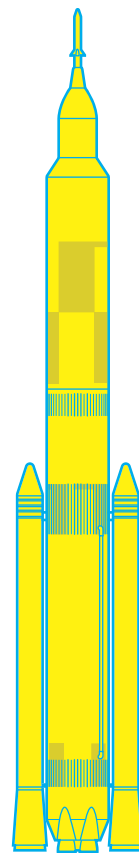
«Ариес V»



«Фалькон Хэви»



SLS 70 t
(пилотируемая
конфигурация)



SLS 130 t
(пилотируемая
конфигурация)

На стадии разработки



Сегменты цилиндра, который станет корпусом основной ступени SLS, соединяют с помощью сварки. Внутри корпуса разместятся баки с компонентами топлива — жидкими водородом и кислородом. В настоящее время на сборочном заводе в Мичауде инженеры NASA изготавливают прототипы цилиндров для проверки прочности компонентов.

использованию. Следующие модификации SLS, которые будут созданы через десять лет, будут оснащаться более мощными маршевыми двигателями и ускорителями. У SLS, предназначенной для полета на Марс, будет еще более мощная вторая ступень, способная развивать в два раза большую тягу, чем в первом варианте.

Критики проекта указывают на то, что, оснащая SLS узлами и деталями «Шаттла», Конгресс тем самым поддерживает крупных подрядчиков авиакосмической промышленности, которые изготавливали комплектующие для челноков. «В очередной раз "Боинг" поступает как бандит», — говорит Питер Уилсон (Peter Wilson), главный аналитик в области исследований средств обороны из американского стратегического исследовательского центра *Research and Development (RAND)*. Другие возражают, что применяемый в «Шаттлах» принцип повторного использования поставит SLS перед проблемой соединения новейшей ракеты с компонентами изжившего себя аппарата. Например, при установке твердотопливных ускорителей «Шаттла» уже возникает проблема нарушения теплоизоляции в местах стыковки.

Предположительная итоговая стоимость SLS варьирует в очень широких пределах: NASA публично заявляет, что первый запуск обойдется в \$18 млрд: \$10 млрд будет стоить сама ракета-

носитель, \$6 млрд — пилотируемый корабль «Орион» и \$2 млрд понадобится на подготовку стартового комплекса «Мыс Канаверал» для запусков SLS. (Между прочим, еще одним ярким защитником SLS выступил Билл Нельсон (Bill Nelson), сенатор от штата Флорида.) Но, согласно неофициальным данным, основанным на внутреннем анализе, за последующие десять лет в ходе реализации программы будет потрачено более \$60 млрд. По другим предварительным оценкам, доставка экипажа на Марс обойдется примерно в \$1 трлн. NASA оценивает стоимость одного запуска SLS в \$500 млн, но некоторые специалисты полагают, что с учетом затрат на всю программу эта величина может возрасти до \$14 млрд.

По мнению оппонентов, энтузиазм правительства и населения в целом по отношению к космическим исследованиям вряд ли останется прежним перед лицом таких расходов. Некоторые аналитические исследования, в том числе одно, проведенное NASA, наводят на мысль, что достичь глубин космоса и долететь до Марса можно и без сверхтяжелой ракеты-носителя. Другие утверждают, что дешевле было бы использовать ракеты-носители меньшего размера (например, «Дельта IV», которая уже лет десять выводит спутники на орбиту) для доставки на низкие околоземные орбиты топлива, комплектующих



В гидростатической испытательной камере на заводе в Мичауде инженеры накачивают воду в бак для жидкого кислорода, чтобы проверить его на наличие протечек. В полностью собранной ракете бак с кислородом будет находиться над баком гораздо большего размера с жидким водородом. Емкости разделены специальной «межбаковой» секцией.

и всего того, что необходимо для монтажа межпланетных космических кораблей, и осуществлять сборку уже в космосе. А если окажется, что нам действительно необходима сверхмощная ракета, почему бы не построить вначале новую космическую станцию и не перенести работу туда? Американская компания *Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX)*, основанная звездой Кремниевой долины, успешным инженером и предпринимателем Илоном Маском (Elon Musk), выиграла конкурс *COTS* (часть программы *NASA*) по доставке грузов и экипажей на МКС с помощью своих хорошо зарекомендовавших

пилотируемый полет к астероиду планируется на середину 2020-х гг., а следующая за этим экспедиция астронавтов на Марс — на 2030-е гг.

Ракетный завод

NASA проводит испытания своих самых тяжелых ракет на стендах Космического центра им. Джона Стенниса, который расположен среди многочисленных озер, рек и каналов в округе Хэнкок, вблизи самой южной границы штата Миссисипи. Пока мы надеваем каски и жилеты со светоотражающими полосами, Том Берд (Tom Byrd), который до выхода на пенсию в январе занимал здесь должность заместителя администратора, рассказывает о трех причинах, по которым центр расположен так близко к воде: во-первых, для работы центра необходимо, чтобы к нему могли подплывать крупные баржи; во-вторых, это нужно для проведения испытания конструкции в водных условиях; в-третьих, вода требуется для охлаждения огромных металлических пластин, которые подвергаются воздействию температур, близких к температуре на поверхности Солнца, где они могут оказаться.

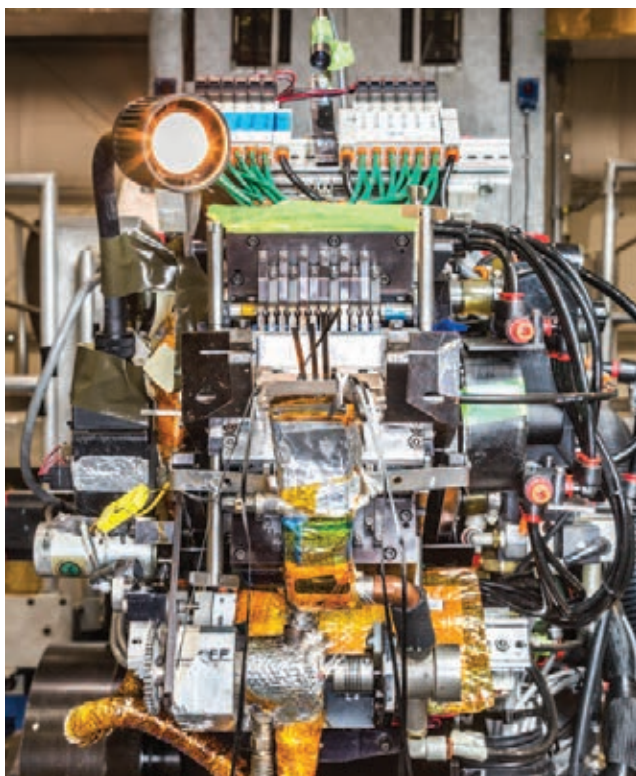
Каждый испытательный стенд представляет собой огромную железобетонную конструкцию, которая напоминает многоэтажный панельный блок, вынутый из середины трансатлантического грузового судна. Мы взбираемся наверх по одному из стендов, и по пути мне показывают аппаратную, напоминающую диспетчерскую советских электростанций примерно 1950-х гг. с паровыми манометрами и большими циферблатами. Я спросил, почему они не усовершенствуют оборудование и не используют цифровые приборы. Ответ лишь подтвердил некое неписаное правило, которому следуют участники программы *SLS*: понадобились десятилетия, чтобы заставить эти штуковины хорошо работать, были устранены бесчисленные неполадки и сбои. Так неужели мы должны теперь пустить все это на самотек?

Однако с крыши стенда я увидел, что на самом деле Космический центр выглядит вполне современно. Каналы и дороги переделали так, чтобы по ним можно было транспортировать габаритные грузы, сами испытательные стенды реконструированы и упрочнены, поскольку *SLS* будет оказывать на них существенно большее давление, чем любые другие ракеты. «Тяга, развиваемая на испытательном стенде, больше, чем при реальном старте, поскольку ракета не может оторваться от струи вырывающихся из ее сопла газов», — поясняет Берд. На всем протяжении испытательного запуска, который длится примерно девять минут, тысячи форсунок обдают стены стенда струями воды под высоким давлением — и делается это

Когда дело касается молниеносной доставки команды храбрецов в глубокий космос на крыльях почти неконтролируемого взрыва, определенный консерватизм не помешает

себя ракет-носителей *Falcon 9*. «*SLS* — это всего лишь небольшое усовершенствование в технологии, разработанной 40 лет назад», — говорит Джеймс Пура (James Pura), президент Фонда исследования космического пространства, ратующего за скорейшее освоение космоса. «Хорошо бы *NASA* проинформировать частных производителей, какие именно грузы оно собирается отправлять в далекий космос, выделить определенную сумму денег на эту работу и позволить таким компаниям, как *SpaceX*, выполнить ее». *SpaceX* разрабатывает ракету-носитель тяжелого класса, типа *SLS*, с 27 двигателями и работает над созданием новых, более мощных двигателей, благодаря которым в случае успеха эта ракета превзойдет самые крупные модификации *SLS*, какие только можно представить. Важно, что *SpaceX* намеревается сделать основные узлы многоразовыми, *SLS* же, напротив, — целиком и полностью одноразовая конструкция.

Несмотря на все это, подготовка к реализации программы *SLS* идет полным ходом. В 2018 г. будет запущена первая беспилотная *SLS* с «Орионом», которая пролетит вблизи Луны, оставив ее далеко позади; второй полет — предположительно через пять лет — будет проходить примерно по той же траектории, но уже с экипажем на борту, и тем самым люди удалятся от Земли на самое большое в истории космонавтики расстояние. Что последует за этим, в конечном счете зависит от Конгресса и нового президента, но уже сегодня



Для изготовления колец, соединяющих носовой конус и цилиндрические части корпуса ракеты, рабочие на заводе в Мичауде используют сегментный механизм (вверху слева). «Пивная банка» (вверху справа) удерживает сегменты цилиндра для дальнейшей проверки. Рабочие поднимают алюминиевую секцию внутрь приспособления, используемого для сборки цилиндрической верхней части основной ступени (справа внизу). На левом нижнем фото изображен механизм, применявшийся для изготовления оболочки из углеродного волокна для корабля «Орион», который ракета-носитель SLS доставит в глубокий космос.

не для охлаждения, а для компенсации сильнейшей вибрации, которая в противном случае могла бы разрушить стенд. Даже до испытаний SLS никаким частным лицам не разрешалось находиться от стенда на расстоянии меньше 13 км, поскольку генерируемые во время пробного запуска звуковые волны могут сбить с ног кого угодно. А двигатели SLS будут развивать такую мощную тягу, какая ранее на Земле была недостижима.

По ту сторону границы между штатами Миссисипи и Луизиана, в нескольких часах пути по каналу (или, в моем случае, в 45 минутах езды на машине) находится Мичауд, который я и посетил на следующий день. В отличие от уединенного центра им. Стенниса, завод в Мичауде располагается в промышленной зоне на окраине Нового Орлеана. В некоторых отношениях он представляет собой обычный, ничем особо не отличающийся от других завод со сварочными постами, вилочными погрузчиками, подъемными кранами и складами комплектующих, но все это в гораздо больших масштабах.

Внутри завод весь светится. Отправляемся на экскурсию, чтобы осмотреть комплекс метр за метром, и видим, что он буквально напичкан новым оборудованием: руки-манипуляторы роботов, снующие туда-сюда с невероятной скоростью, колесные платформы и похожие на подъемные краны погрузчики, которые легко и быстро перемещают десятитонные детали и узлы, системы контроля комплектации, которые гарантируют, что собираемый из сотен тысяч деталей двигатель укомплектован полностью. Все его компоненты установлены на свои места и не осталось ни одного лишнего. Когда вы строите такой огромный механизм, как ракетный двигатель для ракеты-носителя SLS, необходимо исключить малейшие неточности при сборке. «Если наша система учета запчастей сообщит, что одна крошечная шайба оказалась лишней, вся работа будет немедленно остановлена, пока мы не выясним, где ее не хватает», — говорит Патрик Уиппс (Patrick Whipps), один из управляющих от NASA на заводе в Мичауде.

Многие из компонентов, которые будут применены здесь при сборке ракет, предназначались для других космических аппаратов. «Мы вовсе не стремимся использовать как можно больше эксклюзивных деталей и узлов», — говорит Уильям Герстенмайер (William Gerstenmaier), заместитель руководителя NASA по деятельности агентства в сфере освоения космического пространства. «Кроме того, новое производственное оборудование и современные технологии позволят существенно снизить себестоимость этих деталей по сравнению с недавним прошлым», — добавляет Уиппс. Модернизация включает, например, установки для ротационной сварки трением размером с водонапорную башню каждая. В эту громадину можно поместить две

массивные изготовленные из алюминиевого сплава секции ракеты, где вращающиеся штифты соединят их в единое целое. Это самая крупная в мире установка такого типа.

Создатели SLS выходят за рамки технологии «Шаттла» и во многих других аспектах. Чтобы выяснить, воздействию каких нагрузок подвергается SLS в результате бафтинга и других аэродинамических колебаний во время набора высоты в атмосфере, NASA обратилось к современному программному обеспечению, моделирующему гидроаэродинамические процессы. В противном случае инженерам пришлось бы заново проектировать ракету, чтобы обеспечить большую устойчивость к нагрузкам, и тем самым поднять нижнюю границу допустимой ошибки. Кроме того, новая авионика и цифровые системы управления, работающие на микросхемах, на несколько поколений опережают те, которые использовались на космических челноках, что позволяет автоматизировать полет и во много раз увеличить быстродействие датчиков, установленных на двигателях, которые реагируют на непредвиденные изменения в их работе и внештатные ситуации.

Оставшиеся пока неиспользованными двигатели «Шаттла» позволят совершить четыре первых полета SLS, но в 2020-х гг. понадобятся новые версии. Для их изготовления NASA использует оборудование, которое будет производить тысячи турбинных лопаток размером с монету, расплавляя лазером металлический порошок и отливая его в готовые формы вместо того чтобы каждую из них обрабатывать по отдельности; это позволяет сократить время производства комплекта лопаток для двигателя с года до одного месяца. «Для уменьшения затрат на рабочую силу и повышения точности все операции у нас компьютеризованы», — говорит Герстенмайер.

Аргументы в пользу SLS

Когда программа SLS наберет полные обороты, можно будет запускать как минимум две ракеты в год — а возможно, их число возрастет до четырех. По меркам ракетной отрасли это уже массовое производство. Но дело может застопориться, если NASA не удастся убедить американскую общественность, что SLS — стоящее мероприятие.

По существу, два основных аргумента против — это, во-первых, то, что \$18 млрд — слишком большая сумма для ракеты, во-вторых, что в исследовательских целях разумнее было бы отправлять в космос зонды и роботы, а не людей. На самом деле, \$18 млрд не хватит, чтобы совершить пилотируемый полет к другой планете и обратно; реально эта сумма втрое превышает стоимость прокладки Большого Бостонского тоннеля. Легко говорить, что есть более дешевые способы решить эту задачу, но требования NASA по безопасности

высоко поднимают планку, и вряд ли общественность США примирится с повышением вероятности отказа техники с катастрофическими последствиями ценой экономии нескольких тысячных долей федерального бюджета.

Что касается зондов и роботов, то научная ценность пилотируемых полетов выше, чем в случаях с применением зондов и планетоходов. Ведь реальный смысл полетов людей в космос заключается в поисках возможно большего числа мест, пригодных для обитания рода человеческого.

У *SLS* действительно много сторонников. Среди них — нынешнее руководство *NASA* и люди, занимающие высокие посты, экспертов в космической отрасли, а также та часть американской общественности, которая с глубоким волнением следила за состоявшимся в декабре прошлого года

Марс по-прежнему будоражит умы, особенно потому, что появилась надежда попасть на Красную планету еще при жизни нынешних поколений

успешным орбитальным полетом корабля «Орион» с экипажем на борту, который будет находиться в носовой части *SLS*, когда она отправится в далекий космос. И сторонникам проекта теперь проще опровергать пункт за пунктом аргументы его противников.

Доставлять ли комплектующие и топливо на орбиту с помощью ракет меньшего размера и уже там осуществлять сборку? По оценкам Герстенмайера, для пилотируемой экспедиции на Марс потребуется примерно 500 т различных материалов. Их могут доставить *SLS* в четыре приема, или — в качестве альтернативы — понадобится запустить как минимум две дюжины до предела загруженных ракет «Дельта IV». Герстенмайер утверждает, что каждый такой запуск увеличивает суммарный риск срыва программы, поскольку худшее чаще всего случается в первую минуту полета. При этом велика вероятность задержки отдельных запусков, что в итоге приведет к растягиванию программы в целом. «Для монтажа Международной космической станции мы использовали многозоровые челноки, при этом весь процесс занял несколько десятков лет, — говорит он. — Но самый большой недостаток сборки на орбите заключается в скоплении в одном месте большого количества объектов — жилых помещений, межпланетных кораблей, хранилищ топлива». Картина удручающая, особенно если учесть, что наш опыт монтажа очень сложных кораблей в условиях космоса весьма ограничен. «Для проведения сборочных работ придется совершить

огромное число стыковок, — объясняет Герстенмайер. — С неизбежностью некоторые узлы не будут функционировать должным образом, и вряд ли их удастся починить на месте. Все это существенно увеличит сложность и риск операции». В то же время поперечные размеры *SLS* таковы, что в балкер можно поместить негабаритные грузы, например панели солнечных батарей и антенные решетки, которые в противном случае пришлось бы как-то упаковывать, рискуя повредить их.

Еще одно важное преимущество использования большегрузных ракет заключается в том, что за счет некоторой части их избыточной тяги можно повысить скорость, т.е. быстрее доставлять космический корабль к месту назначения. Этот момент критичен для пилотируемых полетов на Марс, поскольку воздействие радиации и необходимость брать с собой достаточное количество припасов жестко ограничивают продолжительность экспедиции. Несомненную пользу приносят также дальние беспилотные миссии, поскольку получаемые ими данные помогают планировать последующие полеты оптимальным образом. Благодаря своей огромной мощности *SLS* способна доставлять экспедиции в глубокий космос, используя лишь собственное топливо и не совершая гравитационного маневра вокруг планет, как это делали космические аппараты «Вояджер» и «Галилео».

«*SLS* сократит время путешествия до Европы с шести с лишним до двух с половиной лет, — говорит Скотт Хаббард (Scott Hubbard), профессор-консультант в области авиации и космонавтики из Стэнфордского университета. — Это будет хорошим подспорьем для других, пока неосуществимых научных экспедиций». Прибавьте к уменьшению времени полета более высокую полезную нагрузку и варибельность компоновки — и вы получите весомый аргумент в пользу сверхтяжелой ракеты-носителя. Становится ясно, почему Китай и Россия занимаются разработкой и проектированием ракет типа *SLS*.

Сегодня не существует и не предвидится никакой конкуренции в освоении глубокого космоса. В перспективе — лишь нескольких экспедиций, в которых *NASA* планирует использовать *SLS*. Тем самым *SpaceX* не имеет возможности влиять на стоимость сверхтяжелых ракет, как это происходит с ее ракетами меньшего размера. «В результате *SpaceX* оказывается не в лучшем положении, чем «Боинг», *Lockheed Martin* и другие подрядчики в аэрокосмической отрасли, — говорит Скотт Паразински (Scott Parazynski), бывший астронавт *NASA*, ветеран пяти экспедиций на «Шаттле», ныне работающий в Университете штата Аризона. — Это очень квалифицированные подрядчики, и я не вижу причин, по которым стоило бы отказываться от них в пользу *SpaceX*, — поясняет он.

Испытанные пути не всегда подходят для устранения поломок в автомобилях, мобильных телефонах и других устройствах, но когда дело касается молниеносной доставки команды храбрецов в глубокий космос на крыльях почти неконтролируемого взрыва, определенный консерватизм не помешает. Несколько первых ракет SpaceX при запуске взорвались, были случаи потери управления — и это обычное явление при разработке новых конструкций. В октябре прошлого года один из членов экипажа погиб в результате взрыва прототипа ракеты, которую компания *Virgin Galactic* создавала для туристических суборбитальных космических полетов. Инцидент произошел спустя ровно трое суток после взрыва на старте разработанного частной компанией *Orbital Sciences Corporation (OSC)* беспилотного корабля, который должен был доставить партию груза на МКС.

Все это еще раз напоминает о том, что, несмотря на опыт нескольких десятилетий, ракетостроение остается отраслью, сопряженной с большими рисками. Это одна из причин, по которым *Inspiration Mars Foundation*, американская некоммерческая организация, способствующая отправке в январе 2018 г. пилотируемой экспедиции для облета Марса, находится среди тех, кто, отбросив в сторону все сомнения, сегодня стоит в очереди за тем, чтобы принять участие в проекте SLS. «SLS начали критиковать, когда еще не было известно, куда полетит ракета, — говорит Хаббард. — Однако сегодня ясно, для чего она предназначена, и теперь настало время для каждого из нас задуматься, что мы можем сделать, чтобы прийти к всеобщему согласию».

Вторая космическая скорость

Холодным январским вечером этого года один их гигантских стендов для испытания двигателей Космического центра им. Джона Стенниса на 500 секунд превратился в огненный столб. Это были первые с 2009 г. огневые испытания маршевого двигателя «Шаттла» RS-25, и он их выдержал безупречно. Если и дальше все пойдет так же успешно, временной фактор сыграет положительную для SLS роль. Чем дольше идет реализация программы — если она финансируется из бюджета и не прерывается, — тем больше ее право на существование. В первые три года программа добилась впечатляющих успехов, легко пройдя этапы оценки проекта и вступив в первоначальную стадию производства. Это невероятно быстро для мощной пилотируемой ракеты. Возникло лишь несколько проблем, из них щели в системе теплоизоляции оказались самыми серьезными, и их быстро устранили с помощью слоя адгезивного материала.

«В ближайшие годы, при новых президенте и Конгрессе, может произойти все что угодно, — заявляет Джоан Джонсон-Фриз (Joan Johnson-Freese), профессор Военно-морского колледжа

США, специалист по космосу. — Возможно, правительство придет к такому решению, что нам придется оставить мечты о Марсе и сосредоточиться на создании космической базы где-то поближе к дому. Некоторые деятели в Вашингтоне испытывают почти патологическую ностальгию по полетам на Луну». Есть и такие, которые считают, что NASA должно сейчас забыть и о Луне, и о Марсе и обратить все свое внимание на астероиды — не только потому, что они могут дать ответы на важные вопросы о происхождении Солнечной системы, но также и в связи с тем, что нам необходимо научиться направить их в сторону от Земли или уничтожить в случае угрозы столкновения.

Однако Марс по-прежнему будоражит умы научной общественности, особенно потому, что появилась надежда попасть на Красную планету еще при жизни нынешних поколений. «Любому из нас хотелось бы оказаться там, — говорит Паразински. — Другие миссии лишь отвлекали бы ресурсы и порождали разброд и шатание». Он беспокоится о SLS, но не потому что считает проект лучшим способом попасть на Марс. Его беспокоит тот факт, что миссия не будет дешевой и ее вряд ли удастся осуществить в ближайшем будущем; может случиться так, что от SLS откажутся до того, как она попадет туда.

Пока же никаких препятствий для реализации проекта нет. Альтернативы создаваемой ракете не существует, и можно быть уверенным, что проект движется правильным курсом. Несомненно, эта программа была сколочена при участии и по поручению Конгресса. Да, она нуждается в передовых технологиях и конкурирующих проектах. Но, по-видимому, работа будет идти по плану и в обозримом будущем финансироваться в нужном объеме. А если SLS станет именно той ракетой, которая доставит нас на Марс, то все критические замечания забудутся очень скоро. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

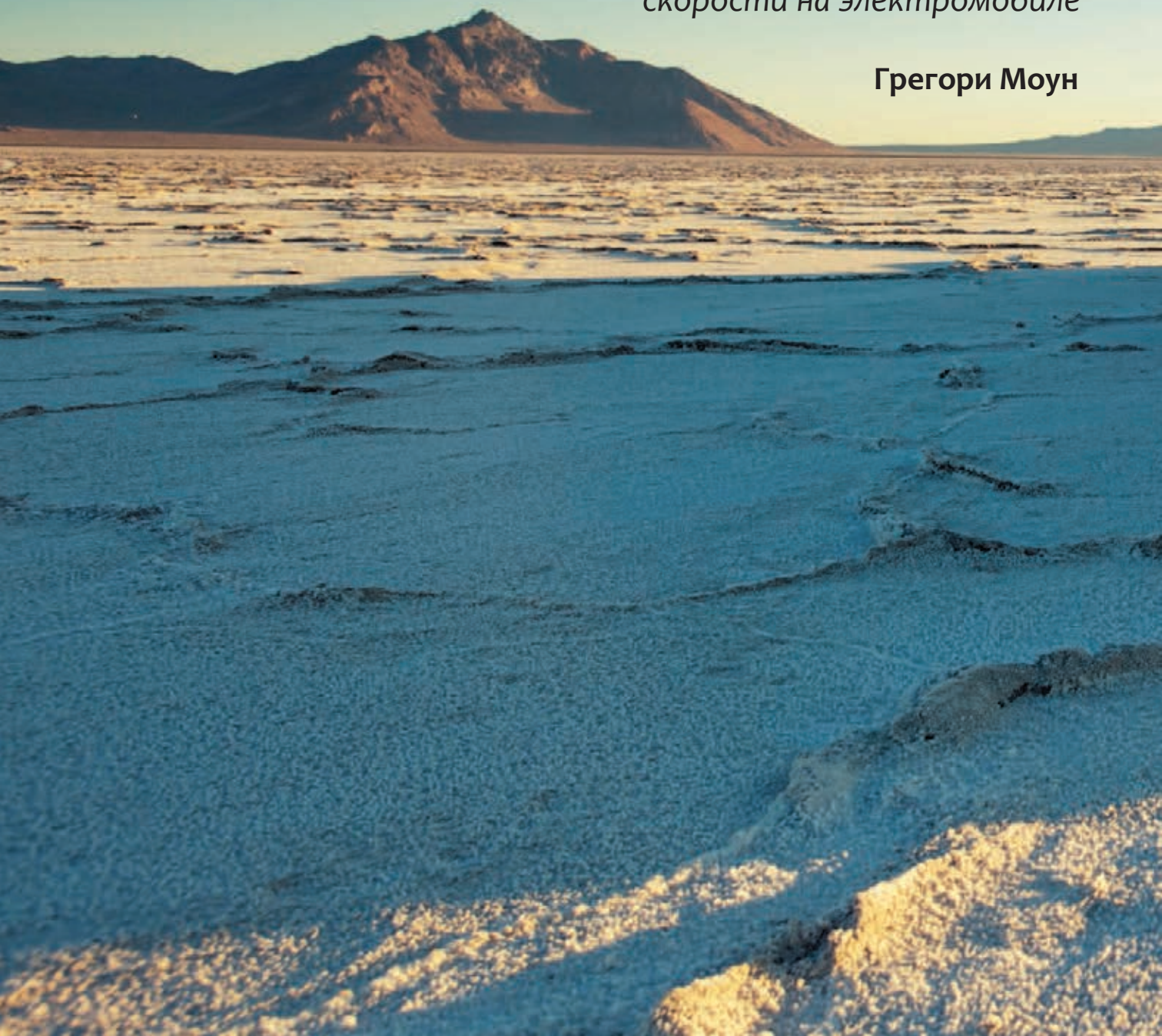
- Джонс У., Динчелл Ч., Уайт Дж.К. К Луне и далее // ВМН, № 1, 2008.
- Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space. Carl Sagan and Ann Druyan. Random House, 1994.
- NASA's Human Path to Mars. William Gerstenmaier. NASA, 2014. www.nasa.gov/sites/default/files/files/20140429-Gerstenmaier-Human-Path-Mars.pdf
- NASA Strategic Plan 2014. NASA, 2014. www.nasa.gov/sites/default/files/files/FY2014_NASA_SP_508c.pdf
- Видеоролик о конструкторских испытаниях ракеты-носителя SLS см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2015/rocket

ТЕХНИКА

БОЛИД НА АК

Очень немногие автомобили с бензиновыми двигателями смогли преодолеть рубеж скорости в 400 миль в час (643,6 км/ч). Сегодня группа студентов планирует превзойти рекорд скорости на электромобиле

Грегори Моун



КУМУЛЯТОРАХ



ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЛНИЯ:
Buckeye Bullet 2.5, достигшая
в 2010 г. скорости 307 миль
в час (494 км/ч)

ОБ АВТОРЕ

Грегори Моун (Gregory Mone) пишет о науке и технике в таких изданиях, как *Atlantic*, *Discover* и *Popular Science*, автор четырех книг.



Направляясь на семинар по математике, первокурсник Университета штата Огайо Р. Кроумер (R.J. Kromer) увидел плакат студенческой команды, проектировавшей автомобиль на топливных элементах. И хотя он никогда не создавал ничего сложнее роботов из *Lego*, Кроумер тут же отправил по электронной почте письмо с просьбой его принять. К его удивлению, ответ пришел немедленно. «Я думал, мне нужно будет доказывать, что я соответствую требованиям, но мне просто предложили прийти», — вспоминает он.

Кроумер отправился на рабочую площадку команды в Центре автомобильных исследований (*Center for Automotive Research, CAR*) университета. Там он быстро понял, что это уникальное племя инженеров, хотя в большинстве своем совсем детей, занимающееся семейством рекордных автомобилей *Buckeye Bullet* («Каштановая пуля») на альтернативном топливе, хочет проверить серьезность его намерений. Ему пришлось начать с подсобных работ. Несколько месяцев он занимался в мастерской уборкой и добывал разные инструменты и запчасти. Однако в промежутках между выполнением обязанностей уборщика и снабженца под руководством старших членов команды он начал осваивать хитрости монтажа электропроводки в автомобиле, систем управления и другие вещи. Вскоре в мастерской он стал получать больше знаний, чем в своей университетской группе. На следующий год

двое старших членов команды окончили университет, и электротехническую часть поручили Кроумеру. «Оказывается, если ты готов отказаться от сна, можно очень быстро научиться многому», — говорит он.

В команде *Buckeye Bullet* таких историй множество. Так, Дэвид Кук (David Cook), руководитель группы, попал в команду совершенно случайно, будучи первокурсником. А старший инженер Эван Мейли

(Evan Maley) пришел в команду увлеченным скоростными автомобилями любознательным старшеклассником. Кук говорит, что, оценивая желающих поступить в команду, они интересуются не столько уровнем IQ, сколько желанием работать. Добровольное недосыпание — это стиль жизни Кроумера и его единомышленников. Инженеры часто наблюдают, как члены команды в конце рабочего дня проползают в мастерскую под десятиметровыми гаражными воротами. Они спят на полу конференц-зала, а иногда и на испытательных треках. Они отказываются от обычных студенческих уикендов с пивом ради резки металла, проверки батарей и конструирования собственных систем подвески.

И это не подвеска для гоночной малолитражки. Команда создала несколько самых скоростных в истории автомобилей на альтернативном

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Команда *Buckeye Bullet* из Университета штата Огайо строит машину, которая, как планируется, станет первым электромобилем, способным превзойти предел скорости в 640 км/ч, что до сих было под силу лишь девяти автомобилям с бензиновыми двигателями.
- Предыдущие модификации этой машины уже установили несколько рекордов скорости для электромобилей, но сейчас планка очень высока. Чтобы ее достичь, команде потребуются решить еще множество технических проблем.
- К числу этих проблем относятся получение достаточной мощности от четырех электродвигателей, настройка аэродинамики машины для обеспечения требуемой обтекаемости в сочетании с устойчивостью и обеспечение надежности шин.
- Если все пойдет так, как предполагалось, то команда рассчитывает совершить первую попытку превзойти рубеж в 400 миль в час на высохшем соляном озере Бонневилл в штате Юта.

топливе. Так, автомобиль на водородных топливных элементах, который и привлек Кроумера, показал в 2008 г. среднюю скорость 286 миль в час (460 км/ч), а через два года команда переделала его в аккумуляторный автомобиль, развивший скорость больше 300 миль в час (483 км/ч). И команда рассчитывает, что эта машина станет первым электромобилем, который преодолет рубеж в 400 миль в час (643,6 км/ч) на высохшем соляном озере Бонневилл вблизи Уэндовера.

До сих пор это стало возможным всего для девяти автомобилей с бензиновыми двигателями. «Скачок с 300 до 400 миль в час огромен», — говорит Кук. С приближением скорости автомобиля к рекордной аэродинамическое сопротивление растет очень быстро. Электродвигателям требуется ток большей мощности, а это значит, что нужно больше аккумуляторов, утяжеляющих автомобиль, который должен быть как можно легче. Кроме того, колеса будут вращаться так быстро, что возникнет опасность разрыва шин под действием центробежных сил. Трудности достаточно велики, чтобы обескуражить даже опытных инженеров, не говоря уже о студентах.

Скоростная конструкция

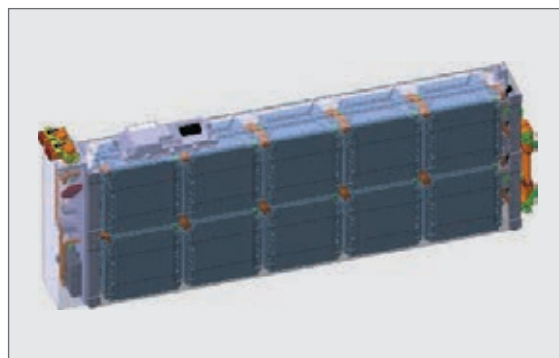
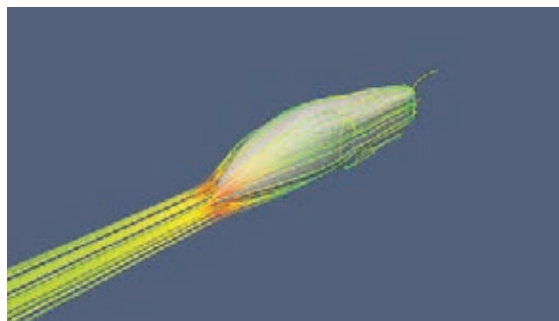
В 1993 г. Джорджио Риццони (Giorgio Rizzoni), нынешний директор CAR, собрал первую команду для участия в серии студенческих гонок на аккумуляторных автомобилях. Машина этой команды под названием *Smokin' Buckeye* выиграла большинство гонок, но через несколько лет серия гонок была закрыта, и Риццони понял, что это конец программы. Однако два его студента сообщили ему, что заключили договор о спонсорстве с одной местной компанией. Они хотели построить самый быстрый в истории электромобиль. «Я посмотрел на этих ребят и сказал: "Вы несомненно безумны"», — вспоминает Риццони.

За следующие десять лет были построены три электромобиля для побития мировых рекордов скорости. Сегодня Риццони редко ставит под сомнение высокие цели членов своей группы, их технический уровень или искусство добывать средства. Когда Кук и вся команда решили построить машину для преодоления рубежа в 400 миль в час, они понимали, что привычные способы привлечения финансирования для этого случая не годятся. Поэтому они обратились к 45-летнему владельцу компании *Venturi Automobiles* по производству электромобилей из Монако Джильдо Палланке Пастору (Gildo Pallanca Pastor). Пастор, бывший гонщик-любитель, глава империи недвижимости в Монако и ресторатор, уже несколько лет следил за командой Кука. В 2010 г. он подписал спонсорское соглашение для финансирования гонки за преодоление рубежа в 400 миль в час.

Компьютерное моделирование

ФОРМА СКОРОСТИ

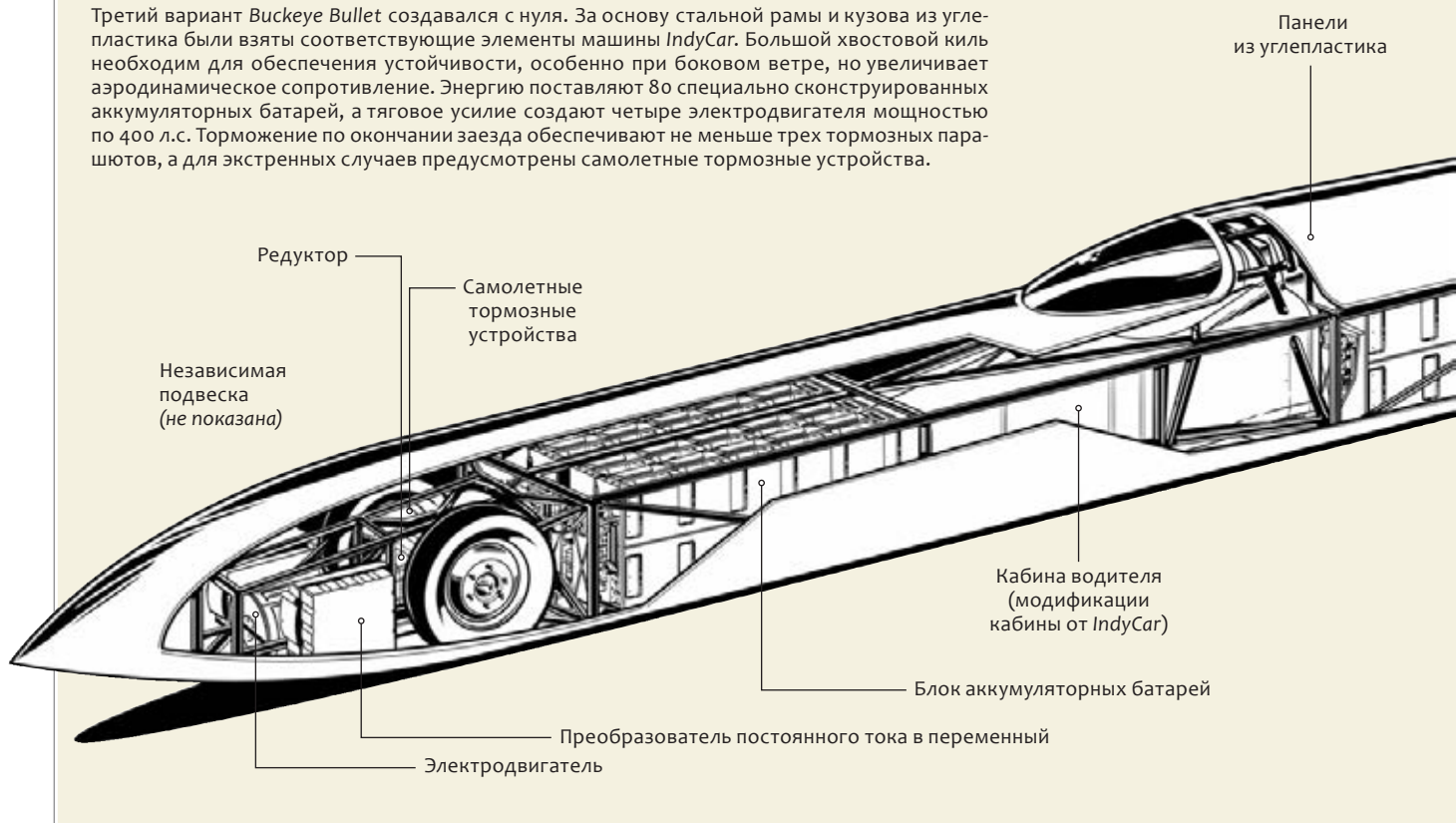
Под колеса моделей гоночных автомобилей при продувке в аэродинамической трубе помещают бегущую ленту, чтобы точно смоделировать взаимодействие машины с поверхностью грунта. Однако большинство таких лент способны развивать скорость не больше 150 миль в час (241,35 км/ч). Поэтому команда *Buckeye Bullet* проводила аэродинамическое моделирование на компьютере (верхний и средний рисунки). Мало поперечного сечения последнего варианта *Bullet* удалось добиться благодаря использованию «плиточных» модулей аккумуляторных батарей (нижний снимок).



Через два года в ненастную августовскую среду 2012 г. в штаб-квартире CAR, мрачном двухэтажном здании с кирпичным фасадом и несколькими просторными ангарами сзади, обросший бородой 26-летний Кук говорил, что общая конструкция машины почти разработана. *Venturi Buckeye Bullet 3 (VBB3)* будет иметь длину 11,6 м и привод на все четыре колеса (4WD). Поскольку мощность, необходимая чтобы разогнать машину до 400 миль/ч,

ВНУТРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ

Третий вариант *Buckeye Bullet* создавался с нуля. За основу стальной рамы и кузова из углепластика были взяты соответствующие элементы машины *IndyCar*. Большой хвостовой киль необходим для обеспечения устойчивости, особенно при боковом ветре, но увеличивает аэродинамическое сопротивление. Энергию поставляют 80 специально сконструированных аккумуляторных батарей, а тяговое усилие создают четыре электродвигателя мощностью по 400 л.с. Торможение по окончании заезда обеспечивают не меньше трех тормозных парашютов, а для экстренных случаев предусмотрены самолетные тормозные устройства.



слишком велика для одного двигателя, решено использовать для каждого колеса отдельный двигатель мощностью 400 л.с., итого в сумме иметь 1,6 тыс. л.с.

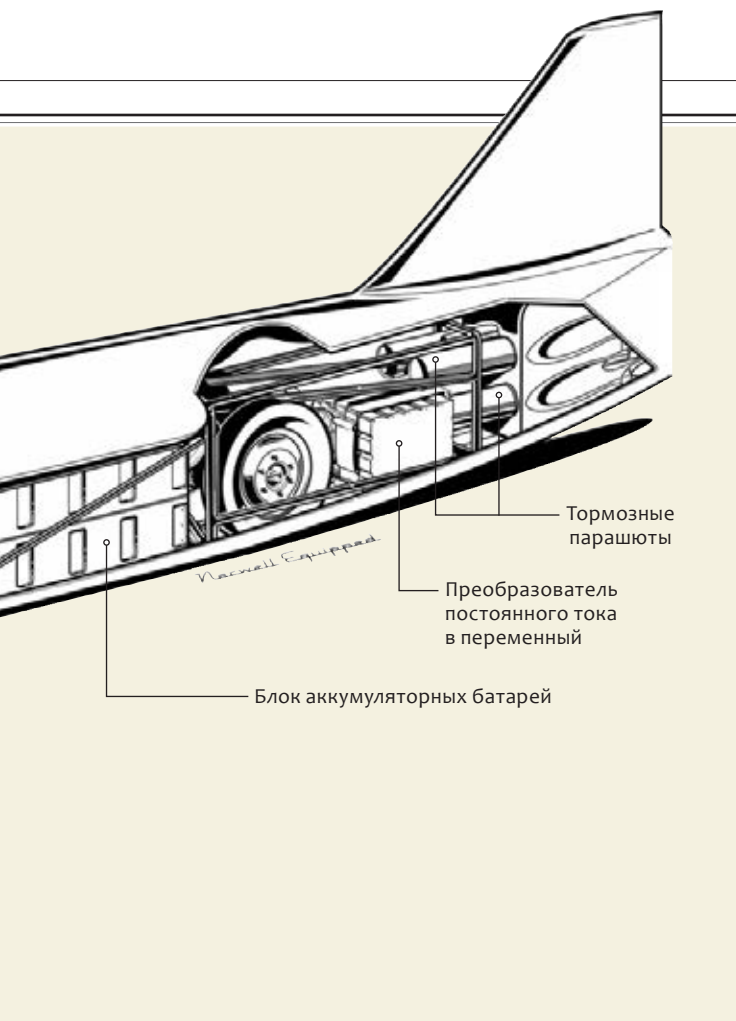
Кук и несколько других членов команды разрабатывали конструкцию этих двигателей в сотрудничестве с инженерами из *Venturi Automobiles*. Инженеры *Bullet* определили оптимальные размеры и характеристики двигателей и целый год поэтапно доводили конструкцию совместно с инженерами *Venturi Automobiles*. Пастор уже начал испытывать уменьшенный вариант этого двигателя на спортивном электромобиле «Америка» с максимальной скоростью 124 мили в час (200 км/ч). Двигатели для *VBB* будут немного длиннее и мощнее, но готовы будут лишь через несколько недель.

Однако сегодня не двигатели — главная забота *CAR*. В штаб-квартире члены команды *VBB3*, включая Кука, Мейли и 23-летнего инженера Ван Лина (*Ling Wang*), сидят в одном маленьком офисе, где Ван Лин колдует над трехмерной моделью хвостового киля машины. Ван Лин — аэродинамик, а именно аэродинамика представляет собой главную трудность при переходе от 300 к 400 миль в час. Мощность, необходимая для преодоления сопротивления воздуха, растет пропорционально

кубу скорости. Это значит, что для удвоения скорости мощность требуется увеличить примерно в восемь раз.

Кэри Борк (*Cary Bork*), недавно покинувший команду и перешедший на работу в компанию *Boeing*, два года бился над тонкой отработкой аэродинамики кузова *VBB3*, меняя форму и добавляя детали для уменьшения аэродинамического сопротивления, в частности спойлеры, прикрывающие колеса. *VBB3* будет иметь стальную раму и кузов из углепластика на основе прочного, но легко огнестойкого волокна *Nomex*. Однако несколько важных вопросов остались нерешенными, и сегодня Ван Лин занимается хвостовым килем.

Все, что выступает за обводы кузова, увеличивает аэродинамическое сопротивление, но киль необходим для обеспечения безопасности водителя-испытателя, 62-летнего гонщика по имени Роджер Шпроэр (*Roger Schroer*). Всю совокупность аэродинамических сил, действующих на машину, можно свести к равнодействующей силе, приложенной к одной точке, называемой центром давления. Если этот центр располагается позади центра масс машины, машина будет устойчиво держаться на курсе даже при боковом ветре. *VBB3* будет иметь несколько тормозных парашютов и самолетные тормозные устройства, но ни те ни другие



не помогут пилоту при заносе. «В конце концов, жизнь Шроэра важнее всего», — говорит Кук.

Проблема в том, как добиться оптимального сочетания аэродинамики с безопасностью пилота. Быстрыми щелчками мыши Ван Лин разделяет киль на части и крутит их в виртуальном трехмерном пространстве. Он создает из плоской конструкции, сходящейся на вершине в точку, нечто вроде дельфиньего хвоста с горизонтальным стабилизатором наверху вертикального киля. Мейли говорит, что команда ищет способ установить на машине GPS-блок и две видеокамеры для сбора данных в ходе движения — одну направленную вперед, а другую — назад. Горизонтальный стабилизатор Ван Лин добавил именно для размещения аппаратуры и отдал свой вариант на рассмотрение Борку.

Только что Ван Лин сообщил команде, что предложенное изменение «заборковано». Борк считает, что оно слишком увеличит аэродинамическое сопротивление. «Он сказал: "Вы притормозите машину, не делайте этого"», — объясняет Кук.

Немного раздосадованный Ван Лин разъясняет: «Я знаю, что это уменьшит скорость машины, — говорит он. — Но насколько?»

Когда Ван Лин возвращается к модели, Кук обращается к другой проблеме — аккумуляторам.

Утром он похвастался несколькими камерами CAR для испытания аккумуляторных батарей. Внутри камер специальные программы проводят циклы разрядки и зарядки элементов батарей при различных условиях внешней среды. Это позволяет лучше оценить характеристики батарей, которые не всегда соответствуют заявленным. Весь прошлый год группа Кука проводила тщательные испытания опытной литий-ионной батареи на основе нанофосфата, созданной недавно обанкротившейся компанией *A123 Systems*. Для официальной регистрации рекорда *VBB3* должна будет совершить за день не меньше двух заездов, и к концу каждого 60-секундного заезда батареи должны полностью разрядиться. «Мы хотим за один заезд выработать всю энергию батарей, — говорит Кук. — Если какая-то ее часть в батареях останется, это будет значить, что мы заложили лишний вес».

Батареи компании *A123 Systems*, в создании которых принимали участие экс-члены команды *Bullet*, работавшие в этой компании, превосходят все прочие, имеющиеся на рынке, не только по емкости, но и по компактности. Кук объясняет, что стандартные цилиндрические элементы, как те, что были использованы командой в последней гонке, занимают слишком много места. Круговое поперечное сечение не позволяет упаковать их без зазоров. Эти промежутки увеличивают общий объем батареи, следовательно, и размеры автомобиля, его аэродинамический профиль, что ведет к потере скорости.

Кук снимает с полки возле рабочего стола черный ящик, напоминающий автомобильный аккумулятор, и ставит рядом с тонким плоским серебристым корпусом, похожим на льдинку. Такие «плиточные» элементы способны отдавать больший ток при меньшем объеме. Каждый черный модуль будет содержать 25 плиточных элементов, упакованных вплотную друг к другу без зазоров. Поскольку таких модулей будет 80, экономия объема по сравнению с цилиндрическими элементами будет огромной. «Вы убираете треть массы и объема, — говорит Кук. — Это лучшее из имеющегося на сегодня».

Проблема компоновки касается не только батарей. Процесс конструирования автомобиля в очень большой степени состоит из решения задачи размещения наибольшего количества вещей в как можно меньшем объеме. Напротив рабочего места Кука находится монитор Мейли, на котором отображается виртуальное воспроизведение системы подвески. В гоночных автомобилях такого уровня часто отказываются от подвески ради уменьшения массы машины. Однако поскольку в случае *Bullet* для разгона предоставляется всего одна миля, Мейли и его команда решили, что тяга необходима на каждом дюйме дистанции. Неровности

на поверхности соляной равнины заставят колеса вращаться вхолостую, пусть и в течение очень коротких промежутков времени, что приведет к потере драгоценной мощности. Мейли объяснил позднее, что первоначально рессоры системы подвески предполагалось разместить ниже двигателя и трансмиссии, но сейчас это решение пересматривается. Анализ общей компоновки машины показал, что при таком размещении рессор центр массы машины сместится вверх. «Когда вы думаете о массе двигателей и трансмиссии, вы имеете дело с несколькими сотнями фунтов, — говорит Мейли. — И в целях повышения устойчивости машины вы стремитесь сделать эту массу как можно меньшей».

Затем Кук ведет меня в мастерскую — длинный открытый склад, где ведутся работы над еще несколькими студенческими проектами CAR. В отсеке *Bullet* он берет в руки шину, толщина слоя резины в которой составляет всего 1,6 мм. Он объясняет, что при скорости больше 300 миль в час колеса вращаются с такой скоростью, что центробежные силы заставляют шины растягиваться. И чем больше резины, тем больше масса и тем больше силы, стремящиеся разорвать шину. А значит, чем она тоньше, тем меньше масса и тем меньше вероятность того, что шина разорвется на большой скорости. Закавыка в том, что шинам предстоит катиться по весьма неровной соляной поверхности. «Выдержат ли они? — вопрошает Кук вслух. — Это один из вопросов, которые не дают мне спать».

Обратный отсчет перед стартом

Спустя три месяца, в начале ноября, у команды оставалось всего два месяца до начала изготовления машины. Мейли переделал подвеску, чтобы опустить пониже двигателя и центр масс автомобиля, но вопрос о конструкции киля оставался нерешенным. В качестве дополнительных мер безопасности команда рассматривает также установку трех или даже четырех тормозных парашютов. Это грозит увеличением размеров хвостовой части и, следовательно, аэродинамического сопротивления. «Число парашютов как раз сейчас обсуждается», — говорит Ван Лин.

Несмотря на то что поставщик батарей, компания *A123 Systems*, обанкротился, бывшие члены команды *Bullet* сумели спасти батареи. «От них мы получили все наше имущество и даже некоторые запчасти», — говорит Кук.

Двигатели тоже готовы, хотя и в несколько видоизмененном виде. Проведя дополнительное моделирование, инженеры компании *Venturi* предположили, что мощность двигателей может оказаться недостаточной. Кук был обескуражен. «Мы должны были понять, почему нельзя получить большую мощность. Потому ли, что физически невозможно

пропустить более сильный ток по существующим медным обмоткам?» Более глубокие исследования показали, что дело в температуре. Результаты моделирования сделали очевидным то, что двигатели будут перегреваться. Поэтому Кук, Мейли и студент Люк Келм (Luke Kelm) занялись с инженерами *Venturi* переделкой системы охлаждения двигателей. Они изменили пути жидкого хладагента таким образом, чтобы он контактировал с двигателем в большем числе точек, отводя в результате больше тепла и тем самым понижая температуру.

Таков принцип проекта *Bullet*: не считая технических новшеств, какими бы впечатляющими они ни были, стремление понять пределы возможностей существующих технологий и преодолеть их. «Это фантастическая задача, — говорит Пастор. — Когда вам нужно выжать из компонента все возможное, вы можете открыть что-то новое и направить ход мыслей в другую сторону».

Кроме того, решение подобных задач дает студентам несравненный опыт. За годы своего существования программа *Bullet* выпустила 50 инженеров, большинство которых получили хорошую работу в автомобильной, аэрокосмической отраслях и в области аккумуляторных технологий. «Они первоклассные инженеры, поскольку имели дело с решением этих сложных задач», — отмечает Пастор.

Кроумер, еще первокурсником присоединившийся к команде, в порыве увлечения говорит, что научился здесь большему, чем на официальных занятиях в университете. Этот парень, который поначалу ничего не знал об автомобилях, последние два года разрабатывал электронные «мозги» для проектируемой машины — систему, которая должна контролировать работу всех компонентов и синхронизировать их с командами водителя. При этом Кроумер и его единомышленники занимаются своим делом не только в порядке обучения. В душе они все еще школьники, и перспектива преодолеть рубеж в 400 миль в час принимает для них осязаемые формы. «Мы можем побить международный рекорд скорости, — говорит Кроумер. — Многие ли выпускники колледжей способны этим похвастаться?» ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Driving to Mach 1. Gary Stix in Scientific American, Vol. 277, No. 4, pages 94–97; October 1997.
- Проект Buckeye Bullet: www.buckeyebullet.com
- Предыдущий вариант Buckeye Bullet, превысивший скорость в 320 миль в час (515 км/ч), см. по адресу: ScientificAmerican.com/feb2013/bullet

Senior Vice President and Editor in Chief:	Mariette DiChristina	Contributing editors:	Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna, John Rennie, Sarah Simpson
Executive Editor:	Fred Guterl	Art director:	Ian Brown
Managing Editor:	Ricki L. Rusting	President:	Steven Inchcoombe
Managing Editor, Online:	Philip M. Yam	Executive Vice President:	Michael Florek
Design Director:	Michael Mrak	Vice President and Associate Publisher,	
News Editor:	Robin Lloyd	Marketing and Business Development:	Michael Voss
Senior Editors:	Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Gary Stix, Kate Wong	Vice President, Digital Solutions:	Wendy Elman
Associate Editors:	David Biello, Larry Greenemeier, Katherine Harmon, Ferris Jabr, John Matson	Adviser, Publishing and Business Development:	Bruce Brandfon
Podcast Editor:	Steve Mirsky		

© 2015 by Scientific American, Inc.

Читайте в следующем номере:



Что скрывает космос?

Согласно научным данным, наша Вселенная должна содержать больше вещества, чем доступно телескопам. Первоначально поиск темной материи был сфокусирован на поиске невидимых частиц только одного типа, однако не дал результата. Мир темной материи может оказаться очень многообразным и содержать множество разных

частиц. Многокомпонентная темная материя могла бы формировать темные атомы, молекулы и даже большие структуры из них, которые могли бы составлять гигантскую невидимую часть галактических дисков, простирающуюся за спиральные рукава Млечного Пути и других галактик. В настоящее время ведутся наблюдения с целью поиска следов таких темных структур.

В поисках иных Юпитеров

Две соперничающие группы астрономов, окопавшиеся на двух горных вершинах в Чили, вступили в соревнование по обнаружению юных солнечных систем с планетами, похожими на нашу.

Жесткий диск планеты

Какова информационная емкость Земли и насколько это «хранилище информации» заполнено на текущий момент? Ответ на этот вопрос содержит также и любопытные выводы о росте упорядоченности Вселенной.

Незаметная потеря слуха

Перфораторы, газонокосилки, рок-концерты и другие вполне обычные и привычные источники шума в повседневной жизни могут нанести невосполнимый ущерб нашим ушам, причем самым неожиданным образом.

Лес на марше

Деревья не могут перебраться в более подходящее для них место, когда ухудшаются условия жизни. Однако ученые способны «приделать им ноги» — вернее, помочь адаптироваться к новым обстоятельствам.

Перемена участи

Засуха в Калифорнии беспрецедентна. А кроме того землю иссушает повышенная человеческая активность. Водоёмы пересыхают, леса гибнут, даже культовые секвойи оказались под угрозой. Штат может превратиться во вторую Аризону. Однако надежда есть. Более того: многие считают, что засуха — это шанс не только спасти Калифорнию, но и обогатиться в процессе.

... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).

... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).

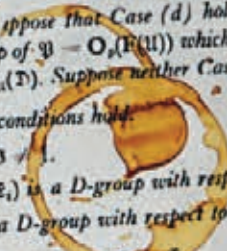
$$\begin{pmatrix} * & * \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} * & * \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).

Group	Other names	Order
M_{11}		$2^4 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 11$
M_{12}		$2^6 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 11$
M_{13}		$2^7 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11$
M_{14}		$2^7 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23$
J_1		$2^{10} \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23$
J_2	HJ	$2^3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 19$
J_3	HJM	$2^3 \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7$
J_4		$2^7 \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 17 \cdot 19$
J_5		$2^{11} \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11^2 \cdot 23 \cdot 29 \cdot 31 \cdot 37 \cdot 43$
HS		$2^6 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11$
He	HHM - F ₁	$2^{10} \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7^2 \cdot 17$
Mc		$2^3 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11$
Suz	S ₂	$2^{12} \cdot 3^7 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13$
L ₃	L ₃ S	$2^8 \cdot 3^7 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 31 \cdot 37 \cdot 67$
Ru		$2^{14} \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 13 \cdot 29$
O'N	O'S	$2^8 \cdot 3^4 \cdot 5 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 19 \cdot 31$
Co ₁		$2^{11} \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 23$
Co ₂		$2^{12} \cdot 3^4 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23$
Co ₃		$2^{10} \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23$
F ₁₂₂	M(22)	$2^{17} \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13$
F ₁₂₃	M(23)	$2^{18} \cdot 3^{12} \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 23$
F ₁₂₄	M(24)	$2^{21} \cdot 3^{12} \cdot 5^2 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 23 \cdot 29$
F ₃	HN	$2^{14} \cdot 3^4 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 19$
F ₄	TH	$2^{11} \cdot 3^{10} \cdot 5^2 \cdot 7^2 \cdot 13 \cdot 19 \cdot 31$
F ₅	B - BM	$2^{41} \cdot 3^{13} \cdot 5^2 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 23 \cdot 31 \cdot 47$

... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).

... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).
 ... contains an S_p -subgroup of $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$, it follows that $C_{\delta_0}(\mathcal{I}_0)$ is cyclic by Lemma 3.3(i).



ОБ АВТОРЕ

Стивен Орнс (Stephen Ornes) пишет на самые различные темы, начиная с математики и кончая исследованиями рака. Вышедшая из-под его пера биография французского математика Софи Жермен, рассчитанная на молодежную аудиторию, была опубликована в 2008 г. Проживает в Нашвилле, штат Теннесси.



В тот холодный пятничный вечер сентября 2011 г. в доме Джудит Бакстер (Judith L. Baxter) и ее мужа математика Стивена Смита (Stephen D. Smith) в городке Ок-Парк, штат Иллинойс, на нескольких столах было сервировано почти бесконечное множество блюд. Канапе, фрикадельки, сырны тарелки, жареные креветки на шпажках теснили выпечку, паштеты, оливки, а также завернутые в ломтики баклажанов вместе с листочками укропа и овечьим сыром кусочки лосося. Выбор десертов включал — но этим не ограничивался — лимонный торт с маскарпоне и пирожные с африканской тыквой. Солнце зашло, и шампанское текло рекой, а 60 человек гостей, примерно половина из которых были математиками, ели, пили и снова ели.

Этот пир на весь мир был устроен по поводу колоссального достижения. Четыре математика, принимавших участие в ужине, — Стивен Смит, Михаэль Ашбахер (Michael Aschbacher), Ричард Лайонс (Richard Lyons) и Рональд Соломон (Ronald Solomon) — только что опубликовали книгу, работа над которой заняла в общей сложности более 180 лет и которая представила широкий обзор самой масштабной задачи по классификации в истории математики.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Самое объемное доказательство в математике подтверждает идею о том, что различные виды симметрии во Вселенной можно разделить на четыре категории. 15 тыс. его страниц дают не оставляющее сомнений свидетельство справедливости утверждения, получившего название «Теорема о классификации простых конечных групп».
- Несколько стареющих математиков, которые понимают ткань доказательства, обеспокоены тем, что умрут прежде, чем более молодое поколение примет от них эстафету.
- Математики запустили проект по спасению, чтобы оптимизировать доказательство и сохранить его прежде, чем эти знания улетучатся.

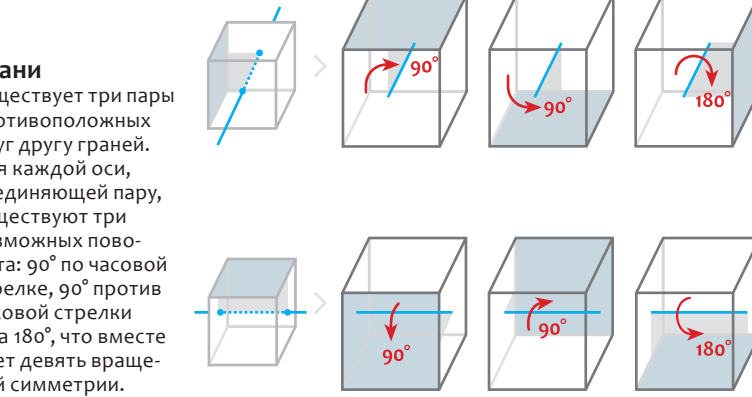
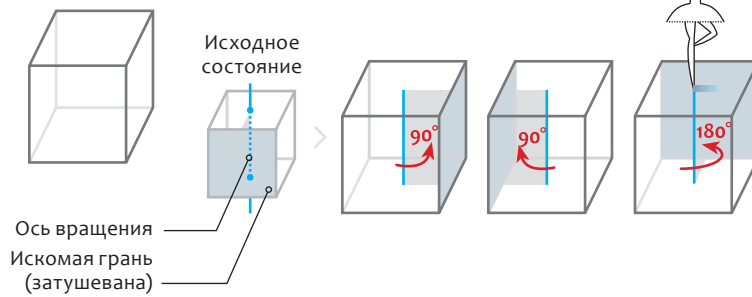
Их трактат не попал ни в один из списков бестселлеров, что понятно уже из одного его названия: «Классификация простых конечных групп». Но для алгебраистов этот 350-страничный фолиант стал исторической вехой. Он представлял собой краткий вариант, сжатое изложение этой универсальной классификации. Полное доказательство занимает около 15 тыс. страниц (некоторые утверждают, что число их ближе к 10 тыс.) и разбросано по сотням журнальных статей более чем 100 авторов. Утверждение, которое оно содержит, принято называть грандиозной теоремой. (Вообще-то сама ее формулировка достаточно проста. Грандиозной теорема становится, когда дело доходит до ее доказательства.) Рог изобилия яств в доме Смита как нельзя лучше подходил для чествования этого мастодонта. Доказательство теоремы стало самым пространственным в истории математики.

Но сейчас она в опасности. В работе 2011 г. был дан набросок, только контуры доказательства. Теорема, представленная в виде разрозненной массы документов, балансирует сегодня на шатком фундаменте человеческой неуправляемости. «Мне неизвестно, чтобы кто-либо прочел все доказательство от корки до корки, — утверждает

Кубическая симметрия

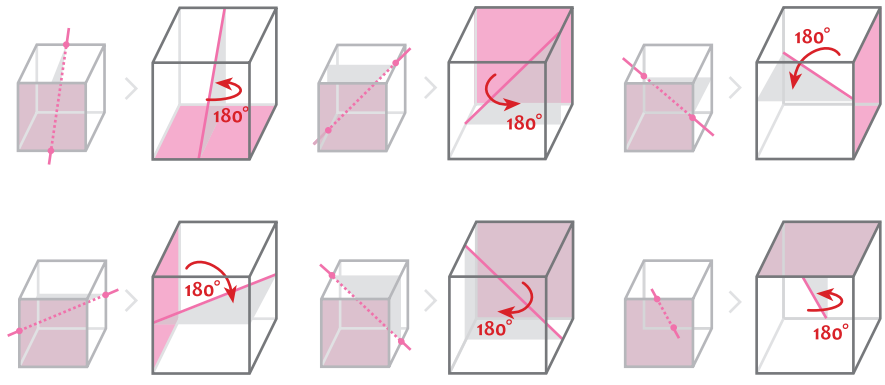
КРУТЬ-ВЕРТЬ

Чтобы получить представление о теории групп (и о том, почему симметрия — часть ее), поверните кубик. У кубика шесть граней, вы можете повернуть к его к себе любой из них, и кубик будет выглядеть точно так же, когда вы закончите эту операцию, — если только вы не окрасите грани в разные цвета. Кубик можно повернуть 24 возможными способами, которые и составляют различные виды симметрии кубика. Их ограниченное число делает такие симметрии с точки зрения математики конечной группой. Чтобы убедиться, что их именно 24, проследите каждый шаг на диаграмме слева. Чтобы показать вращение, мы нарисовали воображаемую ось между каждой парой противоположных, или симметричных, частей куба: граней, ребер или вершин. В исходном состоянии, или положении 1, искомая грань расположена к вам ближе всего. Затем кубик вращается вокруг каждой из осей (как показано стрелкой и полуплоскостью внутри кубика), чтобы проиллюстрировать каждую новую позицию, которая сохраняет симметрию куба. Существует 23 таких поворота, которые можно добавить к одной исходной позиции.



Грани
Существует три пары противоположных друг другу граней. Для каждой оси, соединяющей пару, существуют три возможных поворота: 90° по часовой стрелке, 90° против часовой стрелки и на 180° , что вместе дает девять вращений симметрии.

Ребра
Поскольку у куба 12 ребер, существуют шесть пар противоположных ребер. Ось, соединяющую каждую такую пару, можно повернуть на 180° с сохранением симметрии, следовательно, существует шесть таких вращений.



Вершины
У куба восемь вершин, поэтому существуют четыре противоположные пары. Каждая из соединяющих их осей допускает два возможных поворота, сохраняющих симметрию куба: 120° по часовой и 120° против часовой стрелки. Это означает еще восемь вращений.

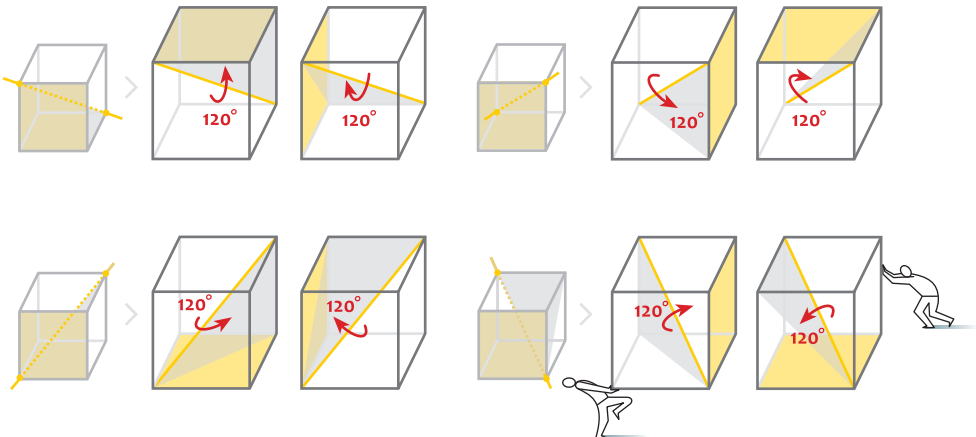


Illustration by Nigel Holmes

Соломон, которому 66 лет и который изучал его на протяжении всей своей профессиональной карьеры. (Он уволился из Университета штата Огайо два года назад.) Соломон и три других математика, которых чествовали на вечеринке, возможно, сегодня единственные, кто понимает доказательство, и поэтому их почтенный возраст внушает тревогу. Смит сейчас 67 лет, Ашбахеру — 71 год, а Лайонсу — 70. «Все мы стареем и хотим записать эти идеи, пока еще не слишком поздно, — говорит Смит. — Мы можем умереть или отойти от дел, или просто потерять память».

Утрата эта будет, ну, скажем так, чудовищной. Если в двух словах: данная работа вносит порядок в теорию групп, которая есть не что иное, как математическое исследование симметрии. Исследование симметрии, в свою очередь, критически важно для таких научных областей, как современная физика элементарных частиц. Стандартная модель — краеугольный камень, лежащий в основе обоснования всех элементарных частиц, как открытых, так и тех, что еще предстоит открыть, — использует инструменты симметрии, которые предоставляет нам теория групп. Величественные идеи относительно симметрии в самых мелких масштабах помогают физикам находить уравнения, используемые в экспериментах, которые открывают экзотические фундаментальные частицы, такие как кварки, в комбинациях друг с другом составляющие более привычные нам протоны и нейтроны.

Теория групп помимо всего прочего привела физиков к из ряда вон выходящей идее, что сама масса — количество вещества в объекте, таком как этот журнал, как вы, как и все, что вы можете потрогать и увидеть — формируется потому, что на одном из фундаментальных уровней симметрия нарушается. *(Говоря о массе, автор, как и многие другие, кто пишет научно-популярные статьи, скатывается к обывательским представлениям. Масса — это, конечно же, не количество вещества, а величина, характеризующая инерционные или гравитационные свойства тела. — Примеч. пер.)* Более того, эта идея указала путь к открытию самой упоминаемой в последние годы частице, бозону Хиггса, который может

ЧЕТЫРЕ ОГРОМНЫХ СЕМЕЙСТВА

Все виды преобразований симметрии можно разложить на основные классы. Называемые простыми конечными группами, они выступают в роли кирпичиков, вместе в различных комбинациях составляя более крупные и сложные виды симметрий.

Теорема о классификации простых конечных групп организует эти группы в четыре семейства. Хотя доказательство ее невероятно объемно, сама теорема состоит из всего одного предложения, в котором перечислены все четыре: «Любая простая конечная группа — это либо циклическая группа простого порядка, либо знакопеременная группа, либо простая группа типа Ли, или же одна из 26 спорадических простых конечных групп».

Ниже приведены краткие описания этих семейств.

Циклические группы были среди первых строительных блоков, подвignутых классификации. Поверните правильный пятиугольник на дугу, равную одной пятой окружности, или на 72° , и он будет выглядеть как исходный. Поверните его пять раз, и вы вернетесь в исходное состояние. Элементы циклических групп воспроизводят сами себя. Циклические группы с четным числом членов большим двух можно представить в виде прямого произведения групп с меньшим числом элементов, поэтому они не простые.

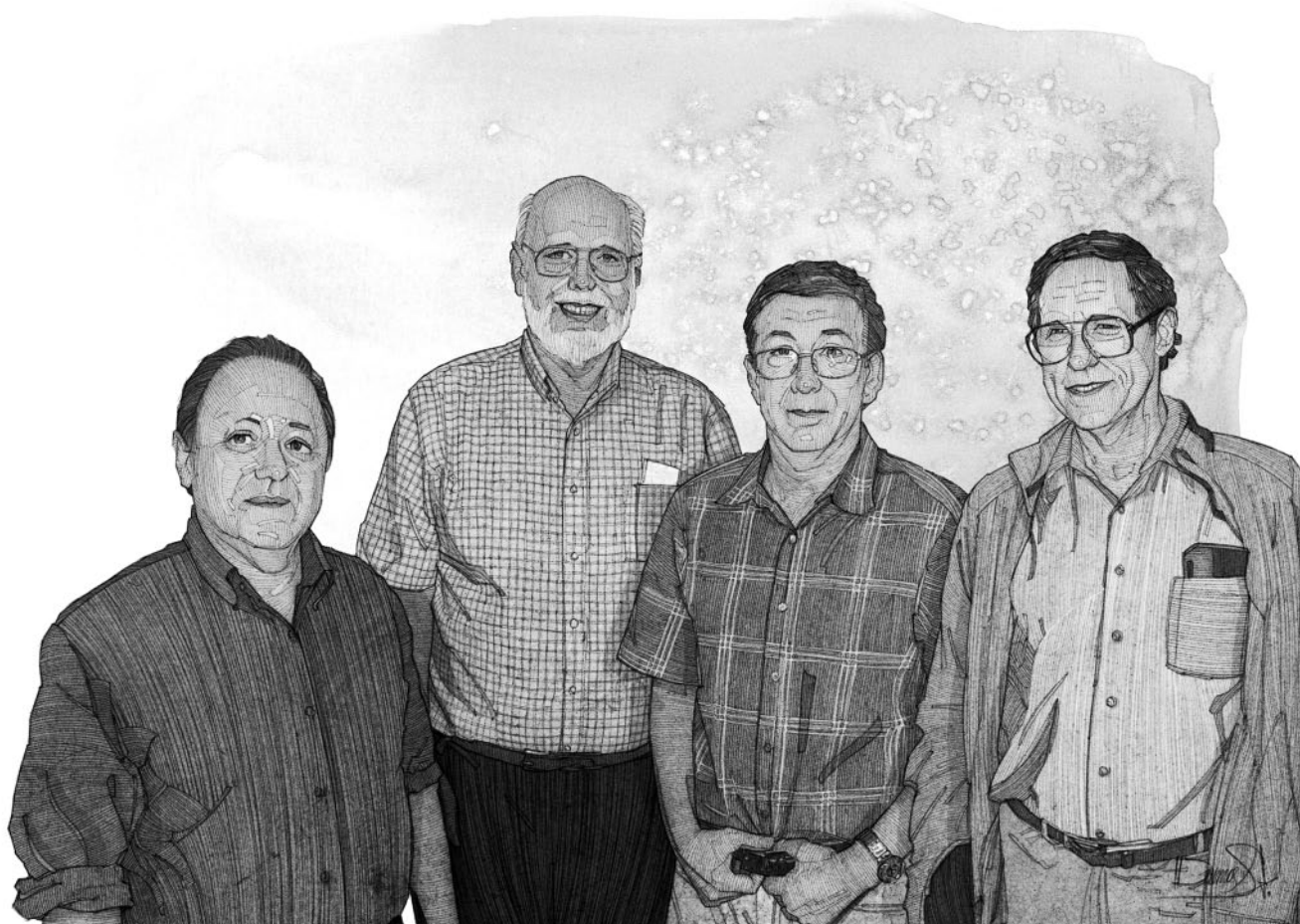
Знакопеременные группы возникают при перестановках элементов множества. Полная группа симметрий содержит все перестановки. Но знакопеременная группа состоит только из половины из них — тех, которые имеют четное число перестановок. Например, допустим, у вас есть множество, состоящее из трех членов: 1, 2 и 3. Существует шесть различных способов упорядочить это множество: (1, 2, 3), (1, 3, 2), (2, 1, 3), (2, 3, 1), (3, 1, 2) и (3, 2, 1). Знакопеременная группа содержит три из них. С точки зрения симметрии каждая из этих перестановок могла бы соответствовать последовательности симметрий (т.е. повороту кубика вверх, затем вбок и т.д.).

Группы типа Ли, названные так в честь норвежского математика XIX в. Софуса Ли, представляются еще более сложными. Они связаны с понятием, называемым бесконечными группами Ли. Бесконечные группы включают вращения самого космоса, которые не изменяют его объема. Например, существует бесконечное число способов повернуть пончик (тор), не изменяя его сам. Конечные аналоги этих бесконечных групп — группы типа Ли; другими словами, пончик из группы типа Ли допускает только конечное число поворотов. Большинство простых конечных групп попадают в это семейство. Ни бесконечные группы Ли, ни группы типа Ли не ограничены нашим трехмерным пространством для пешеходов. Вы готовы поговорить о симметриях, которые возникают в 15-мерном пространстве? Тогда взгляните на эти группы.

Спорадические группы образуют семейство так называемых «мошеников». Они включают 26 отщепенцев, которые не встраиваются в другие семейства. (Представьте, что в периодической системе элементов появился столбец «Злодеи».) Самая большая из этих спорадических групп, называемая «Монстр», имеет более 10^{53} элементов и может быть точно представлена в пространстве 196 883 измерений. Это трудно и странно, и никто в действительности не знает, что это означает, но размышлять об этом очень увлекательно. «У меня есть тайная надежда, надежда, не подкрепленная никакими фактами и никакими доказательствами, — написал в 1983 г. физик Фримен Дайсон, — что когда-нибудь в XXI столетии физики набредут на группу "Монстр", каким-то неожиданным способом встроенную в структуру Вселенной».

существовать только лишь, если симметрия дает собой на квантовом уровне. Идея бозона Хиггса всплыла из теории групп в 1960-е гг., но сам он был открыт только в 2012 г. в результате экспериментов на Большом адронном коллайдере CERN.

Симметрия (а точнее, преобразование симметрии. — Примеч. пер.) — это когда нечто претерпевает ряд трансформаций — например вращение, осевая симметрия, зеркальное отражение, параллельный перенос — и в результате всех этих манипуляций остается неизменным. Она прячется



Во имя спасения: математиков Рональда Соломона, Ричарда Лайонса, Михаэля Ашбахера и Стивена Смита (слева направо) страшит мысль, что они — возможно, последние из людей, понимающие разбросанное в беспорядке по страницам журналов доказательство так называемой грандиозной теоремы, если им не удастся создать ее удобоваримую версию

во Вселенной повсюду, начиная с конфигурации кварков и кончая расположением галактик в космическом пространстве.

Теорема о классификации простых конечных групп с присущей математике точностью показывает, что любой вид симметрии можно разложить на отдельные компоненты и сгруппировать в одно из четырех семейств согласно их общим признакам. Для математиков, посвятивших себя скрупулезному изучению симметрии, т.е. занимающихся теорией групп, эта теорема — достижение не менее масштабное, важное и фундаментальное, чем периодическая система элементов была для химиков. В будущем она, вероятно, приведет к другим глубоким открытиям, касающимся ткани Вселенной и природы всего сущего.

Все, конечно, прекрасно — за исключением одного неприятного обстоятельства: уравнения, выводы и гипотезы, использованные в доказательстве, рассеяны по страницам более 500 журнальных статей, часть из которых похоронены в толстых томах, испещренных смесью греческих и латинских букв, а также других символов, используемых

в трудном для понимания простых смертных языке математики. Прибавьте к этому хаосу тот факт, что каждый автор статьи писал ее в своей уникальной манере.

Такая неразбериха стала серьезной проблемой, поскольку без любой отдельной части доказательства, расположенной строго на своем месте, цельность его теряется, оно просто рассыпается. Для сравнения представьте себе, что два с лишним миллиона строительных блоков пирамиды Хеопса в Гизе беспорядочно разбросаны по всей Сахаре, и только несколько человек владеют ключом, позволяющим сложить их в исходную композицию. Без доступного доказательства теоремы о классификации простых конечных групп в будущем математики столкнутся с опасной альтернативой: просто поверить в существование доказательства, практически ничего не зная о том, как оно получено, или же заново изобретать колесо. (Никто из математиков, вероятно, не будет чувствовать себя комфортно в первом случае, да и второй вариант, скорее всего, также будет почти невозможным.)

Краткий обзор 2011 г., составленный Смитом, Соломоном, Ашбахером и Лайонсом, стал частью амбициозного плана выживания, задуманного, чтобы сделать теорему доступной следующему поколению математиков. «До определенной степени большинство людей сегодня рассматривают эту теорему как черный ящик», — сокрушается Соломон. Основная часть этого плана предусматривает создание модернизированного монолитного доказательства, которое сведет все разрозненные части теоремы воедино. План был задуман более 30 лет назад и на сегодня выполнен лишь наполовину.

Если какая-то теорема важна, ее доказательство важно вдвойне. Доказательство устанавливает безусловную истинность теоремы и позволяет одному математику убедить другого — даже разделенного с ним континентами или веками — в справедливости утверждения. В дальнейшем эти утверждения порождают новые гипотезы и доказательства, таким образом коллективное сердце математики продолжает биться через тысячелетия.

Инна Капдебоск (Корчагина) (Inna Kapdeboscq) из британского Уорикского университета — одна из немногих молодых ученых, углубившаяся в изучение теоремы. 44 лет от роду, тихая и уверенная в себе, она вся загорается, когда рассказывает о важности истинного понимания того, как работает теорема о классификации простых конечных групп. «Что такое классификация? Что означает представить вам список? — размышляет она. — Знаем ли мы, что представляет собой каждый объект из этого списка? В противном случае это всего лишь куча символов».

Самые сокровенные секреты сущего

Впервые в полете мечты математики начали задумываться о возможности доказать подобное утверждение по крайней мере еще в 1890 г., когда получила распространение новая область математики, названная теорией групп. В математике слово «группа» описывает множество объектов, связанных друг с другом посредством той или иной математической операции. (В математике под словом «группа» понимают множество с введенной на нем операцией, ставящей в соответствие любым двум его членам третий, который также принадлежит данному множеству (такие операции называют «бинарными»), и обладающей свойством ассоциативности. В группе обязательно имеется нейтральный относительно этой операции элемент (например, 0 — для сложения или 1 — для умножения), и для каждого элемента существует обратный ему. — Примеч. пер.) Если вы примените эту операцию к любому члену группы, результат также будет ее членом.

Симметрии, или перемещения, которые не меняют облика объекта (точнее, преобразования,

сохраняющие расстояние между точками объекта. — Примеч. пер.), полностью отвечают этому требованию. Допустим, например, что вы имеете кубик, у которого все грани окрашены в один и тот же цвет. Поверните кубик вокруг оси, параллельной ребру, на 90° — или на 180° , или на 270° — и кубик будет с виду таким же, как и в самом начале. Переверните его кверху ногами, и он будет выглядеть, как будто ничего не изменилось. Выйдите из комнаты, и пусть ваш друг повернет или поставит кубик «с ног на голову» — или выполнит какую-либо комбинацию вращений и переворачиваний, — и когда вы вернетесь, вы не сможете догадаться, что он сделал. В целом существуют 24 различных вращения, которые оставляют кубик в неизменном виде. Эти 24 вращения составляют конечную группу.

Простые конечные группы — аналоги атомов. Они суть базовые элементы для построения других, более крупных вещей. Простые конечные группы, объединяясь, образуют более крупные, более сложные конечные группы. Теорема о классификации простых конечных групп упорядочивает эти группы таким же образом, как периодическая таблица Менделеева упорядочивает химические элементы. Она утверждает, что каждая простая конечная группа принадлежит к одному из трех семейств — или же к четвертому семейству групп, сильно выпадающих из общей картины. Самый большой из этих отщепенцев, получивший название «Монстр», имеет более 10^{53} элементов и существует в пространстве размерностью 196 883. (Существует даже целая область математики, названная монстрологией, в которой ученые ищут признаки «зверя» в других разделах математики и естественных наук.) Первые простые конечные группы были выявлены к 1830 г., и к 1890-м гг. математики совершили новые удачные набег, имеющие целью выявить другие подобные строительные блоки. Теоретики к тому же начали подозревать, что, по всей видимости, все группы можно собрать в единый большой список.

В начале XX в. математики заложили фундамент теоремы о классификации простых конечных групп, но основные составляющие доказательства никак не материализовались до середины столетия. Между 1950-ми и 1980-ми гг. — в период, который математик Дэниел Горенштейн (Daniel Gorenstein) из Рутгерского университета окрестил «Тридцатилетней войной», — математики-тяжеловесы продвинули теорию групп существенно далее, чем когда-либо до того, выискивая простые конечные группы и объединяя их в семейства. Эти математики умели обращаться с 200-страничными манускриптами как с алгебраическими мачете, выкашивая абстрактные сорняки для того, чтобы открыть скрывающиеся под ними глубочайшие основания симметрии. Фримен Дэйсон (Freeman

Dyson) из Института перспективных исследований в Принстоне, штат Нью-Джерси, описывает эту лавину открытий странных великолепных групп как строительство «огромного зоопарка».

Это было пьянящее время: Ричард Фут (Richard Foote), в то время аспирант Кембриджского университета, а сегодня профессор Университета Вермонта, как-то сидел в промозглom от сырости кабинете и был очевидцем того, как два известных теоретика — Джон Томпсон (John Thompson, в настоящее время работает в Университете Флориды) и Джон Конвей (John Conway, сейчас в Принстонском университете) — обсуждали детали особенно большой группы. «Это было потрясающее зрелище, словно столкнулись два титана с молниями, проскакивающими между их головами, — вспоминает Фут. — Казалось, они никогда не теряли способности абсолютно удивительным и самым неожиданным образом найти нужное решение. Это было какой-то фантастикой!»

Именно в те десятилетия произошли два прорывных события в доказательстве теоремы. В 1963 г. в теореме математиков Вальтера Файта (Walter Feit) и Джона Томпсона был предложен рецепт нахождения новых простых конечных групп. После этого прорыва в 1972 г. Горенштейн изложил состоящий из 16 пунктов план доказательства теоремы о классификации простых конечных групп — проект, который позволил раз и навсегда расположить простые конечные группы каждую на своем месте. Для этого предлагалось свети вместе все известные простые конечные группы, расположить все части по соответствующим категориям и доказать, что никаких других быть не может. Этот план был масштабным, честолюбивым, неуправляемым и, как утверждали скептики, невыполнимым.

Человек с планом

Но Горенштейн был алгебраистом, наделенным божьим даром, и благодаря этому своему дару отчетливо видеть перспективу он заряжал энергией новую группу математиков — амбиции которых оказались отнюдь не простыми и не конечными, — горевших желанием оставить свой след в науке. «Он был чем-то гораздо большим, нежели просто выдающейся личностью, — говорит Лайонс, который сегодня работает в Рутгерском университете. — Он проявлял крайнюю степень настойчивости, когда выкристаллизовывал формулировки задач и когда бросался на поиски их решения. К тому же он мог быть очень убедительным, призывая других оказать ему помощь».

Соломон, который описывает свое первое знакомство с теорией групп как «любовь с первого взгляда», познакомился с Горенштейном в 1970 г. Национальный научный фонд выступал тогда в роли хозяина при проведении летней школы

по теории групп в Боудин-колледже, и каждую неделю математические знаменитости приглашались в кампус, чтобы прочитать очередную лекцию. Соломон, бывший в то время аспирантом, живо описывает визит Горенштейна. Математическое светило, едва приехав из своего летнего дома на острове Мартас-Винъярд, сразу же зарядил аудиторию как своим обликом, так и тем, о чем он рассказывал.

«Я никогда раньше не видел математика в ярких розовых брюках», — вспоминает Соломон.

В 1972 г., говорит Соломон, большинство математиков полагали, что доказательство не будет найдено даже к концу XX столетия. Но не прошло и четырех лет, как уже забрезжил свет в конце тоннеля. Горенштейн в значительной степени связывал это с гениальными методами и лихорадочным темпом работы Ашбахера, который сейчас занимает должность профессора Калифорнийского технологического института, в форсировании завершения доказательства.

Одна из причин, по которой доказательство столь объемно, состоит в том, что теорема утверждает, что список простых конечных групп полон, т.е. включает в себя все до единого строительные блоки — и других просто не существует. Зачастую доказательство того, что нечто не существует (например, что не может быть других групп), требует гораздо больших усилий, чем доказательство, что нечто существует.

В 1981 г. Горенштейн заявил, что первая версия доказательства завершена, но торжество было преждевременным. Проблема возникла с особенно трудным 800-страничным куском доказательства, и потребовались ряд новых обсуждений, чтобы успешно ее преодолеть. Время от времени математики заявляют, что нашли другие ошибки в доказательстве или что обнаружили новую группу, которая рушит основополагающие постулаты. До настоящего времени всем этим утверждениям не удалось опорочить доказательство, и Соломон утверждает: он абсолютно уверен в том, что здание теоремы устоит несмотря ни на что.

Вскоре Горенштейн заметил, что доказательство превращается в беспорядочный дезорганизованный клубок. Оно изначально было продуктом бессистемной эволюции. Поэтому он убедил Лайонса — а в 1982 г. уже оба они заманили Соломона — помочь выковать новую его редакцию, более доступное и упорядоченное представление теоремы, которое станет как бы вторым поколением доказательства. Их целью было наглядно представить его логику и уберечь будущие поколения математиков от повторного изобретения колеса, говорит Лайонс. Кроме того, они пытались урезать количество страниц доказательства с имевшихся 15 тыс. до «всего лишь» 3–4 тыс.

Горенштейн рисовал в своем воображении серию книг, в которых были бы аккуратно собраны все разрозненные куски и упорядочены логические построения, что также позволило бы сгладить стилистические различия и устранить избыточность. В 1980-е гг. полное доказательство теоремы не было доступно никому, кроме закаленных ветеранов его выковавших. Математики трудились над ним в течение десятилетий, поэтому в конце концов желают иметь возможность передать плоды своих трудов будущим поколениям. Новая редакция доказательства теоремы, более доступное и упорядоченное ее представление, дала бы Горенштейну возможность развеять его тревоги, что их усилия окажутся похороненными среди увесистых фолиантов в пыльных библиотеках.

Горенштейн не дожидаясь того времени, когда смог бы увидеть, как последняя часть труда занимает свое место, тем более чтобы поднять бокал в доме Смита и Бакстера. Ученый скончался от рака легких на острове Мартас-Винъярд в 1992 г. «Он никогда не прекращал работу, — вспоминает Лайонс. — За день до того, как он умер, мы провели три беседы, все по поводу доказательства. И никаких "до свидания" и всего такого прочего: только дело».

Доказывая все заново

Первый том второго поколения доказательства вышел в 1994 г. Он имел более описательный характер, нежели стандартный текст математической статьи, и включал лишь два из 30 предполагаемых разделов, которые позволили бы полностью охватить содержание грандиозной теоремы. Второй том был опубликован в 1996 г., последующие продолжали выходить до настоящего времени — шестой появился в 2005 г.

Фут говорит, что материалы второй редакции доказательства скомпонованы лучше, чем исходные его фрагменты. «Части, которые уже вышли, написаны связно и лучше организованы, — утверждает он. — В исторической перспективе важно иметь все доказательство в одном месте. В противном случае оно в каком-то смысле превратится во что-то типа фольклора. Даже если вы верите, что доказательство существует, его невозможно проверить».

Соломон и Лайонс заканчивают седьмую книгу этим летом, а небольшая команда математиков уже совершила посягательство на восьмой и девятый тома. По оценке Соломона, модернизированное доказательство в конце концов удастся уложить в 10–11 томов, а значит, чуть более половины переработанного доказательства уже опубликовано.

МАТЕМАТИКА УСТАНОВЛЕНИЯ СВЯЗЕЙ

История зарождения теории групп неразрывно связана с трагедией. Ее основы были заложены в XIX в. Эваристом Галуа, пылким французским революционером, чье страстное желание свергнуть монархию в своей стране было не меньше его страсти как можно шире раздвинуть границы математики. В подростковом возрасте Галуа исследовал абсолютно новые пути решения уравнений, что привело его к возведению мостов между разрозненными областями математики, — когда он не сидел в тюрьме.

Галуа был блестящим математиком, но судьба была безжалостна к нему. Он умер в возрасте 20 лет в 1832 г., став жертвой огнестрельного ранения в область живота, полученного им во время дуэли из-за женщины. Историки высказывали мнения, что эта дуэль, возможно, была преднамеренным убийством или же симуляцией самоубийства, или даже просто трагическим примером безрассудного риска из-за неразделенной любви. Но найденные в последнее время материалы дают все основания полагать, что только один пистолет был заряжен пулей, и это не тот, который держал в руке юный гений. «Я умираю, став жертвой бесчестной кокетки и двух доверившихся ей простаков», — написал он в письме, написанном ночью накануне дуэли. В другом письме, написанном той же ночью, он изложил многие из своих идей о группах. На протяжении следующих полутора столетий теория групп расцвела, поднявшись из ростков, которыми были последние слова умирающего. Уже через несколько десятилетий она стала полностью сформировавшейся областью науки.

Соломон замечает, что такое количество томов все-таки не полностью покрывает второе поколение доказательства. Даже новая рационализированная версия содержит ссылки на вспомогательные тома и предшествующие теоремы, опубликованные где-то еще. В некотором смысле такая широкая область охвата говорит о кумулятивной природе математики: каждое доказательство — это продукт не только своего времени, но также и всех тысячелетий математической мысли, которые давно канули в лету.

В статье в журнале *Notices of the American Mathematical Society* за 2005 г. математик Брайан Дэвис (E. Brian Davies) из Королевского колледжа в Лондоне отметил, что «доказательство никогда не было записано во всей своей полноте, а возможно, так никогда и не будет, и, как представляется на сегодня, его вряд ли когда-либо удастся полностью постичь какому-нибудь отдельному индивиду». Его статья подняла на поверхность не очень приятную идею, что некоторые математические проблемы могут быть слишком сложны для понимания простых смертных. Слова Дэвиса заставили Смита и трех его соавторов скомпоновать относительно краткую книгу, выход которой в свет и был отпразднован на приеме в Ок-Парке.

Теорема о классификации простых конечных групп, возможно, останется вне пределов возможностей большинства математиков — не говоря уже о любознательных любителях — но принципы ее организации станут неоценимым инструментом для будущего. У математиков давным-давно выработалась привычка доказывать абстрактные истины десятилетиями, если не веками, прежде чем они станут полезными вне границ поля их деятельности.

Группа в математике — это определенный набор объектов, которые связаны друг с другом посредством некоей операции. Целые числа, например, составляют группу относительно обычной операции сложения. Повороты геометрических фигур, при которых сохраняется их внешний облик (расстояние между точками), также образуют группу. В химии теория групп используется для описания симметрий в кристаллах или в структуре молекул, что стало ключом к пониманию физических свойств того или иного материала. А некоторые результаты этого раздела математики используются для создания шифровальных кодов — и их расшифровки. Так, шифрование с открытым ключом целиком базируется на теории групп.

После смерти Гауа математики бросились конструировать, анализировать и изучать группы. Сначала это могло показаться абстрактным занятием, но в начале XX столетия немецкий математик Эмма Нетер выявила связь между симметрией — т.е. теорией групп — и физическими законами сохранения. (Так, например, энергия не может куда-то исчезнуть или появиться из ниоткуда.) Ее блестящие работы проложили дорогу к использованию в теоретической физике теории групп для более глубокого понимания симметрий, лежащих в основе теории фундаментальных частиц, — и для предсказания существования множества других, которые пока не открыты. Теория групп переросла границы непознаваемого и стала мощным инструментом для понимания ткани мироздания.

«Почему будущее захватывает наше воображение — потому, что его трудно предсказать, — замечает Соломон. — Гении появляются неожиданно и рождают идеи, которых не было ни у кого из нашего поколения. Есть это искушение, есть эти желание и надежда, что где-то там далеко лежит более глубокое понимание».

Следующее поколение

Десятилетия глубоких размышлений не только далеко продвинули доказательство; они позволили выстроить сообщество. Джудит Бакстер, математик по образованию, говорит, что математики, занимающиеся теорией групп, образуют необычную социальную группу. «Те, кто изучает теорию групп, часто друзья и в жизни, — замечает она. — Ты встречаешь их на конференциях, путешествуешь вместе с ними, вместе ходишь на вечеринки, и это действительно удивительное сообщество».

Не удивительно, что эти математики, которые пережили глубокое эмоциональное волнение, когда закончили первую итерацию доказательства, горят желанием сохранить его идеи. В соответствии с этим Соломон и Лайонс призвали других математиков помочь им закончить новую версию и сохранить его для будущего. Это не просто: многие более молодые математики рассматривают доказательство как нечто уже сделанное до них и горят желанием пойти каким-нибудь другим путем.

Помимо всего прочего, работа по творческому переписыванию доказательства, которое уже признано научным сообществом, вызывает нечто вроде безрассудного энтузиазма в изучении теории групп. Соломон нашел такого же энтузиаста, увлеченного работой в этой области, в лице Инны

Капдебоск, одной из горстки математиков более молодого поколения, самоотверженно взваливших на свои плечи заботу по завершению второго поколения доказательства. Теория групп очаровала ее после того, как она прослушала курс у Соломона.

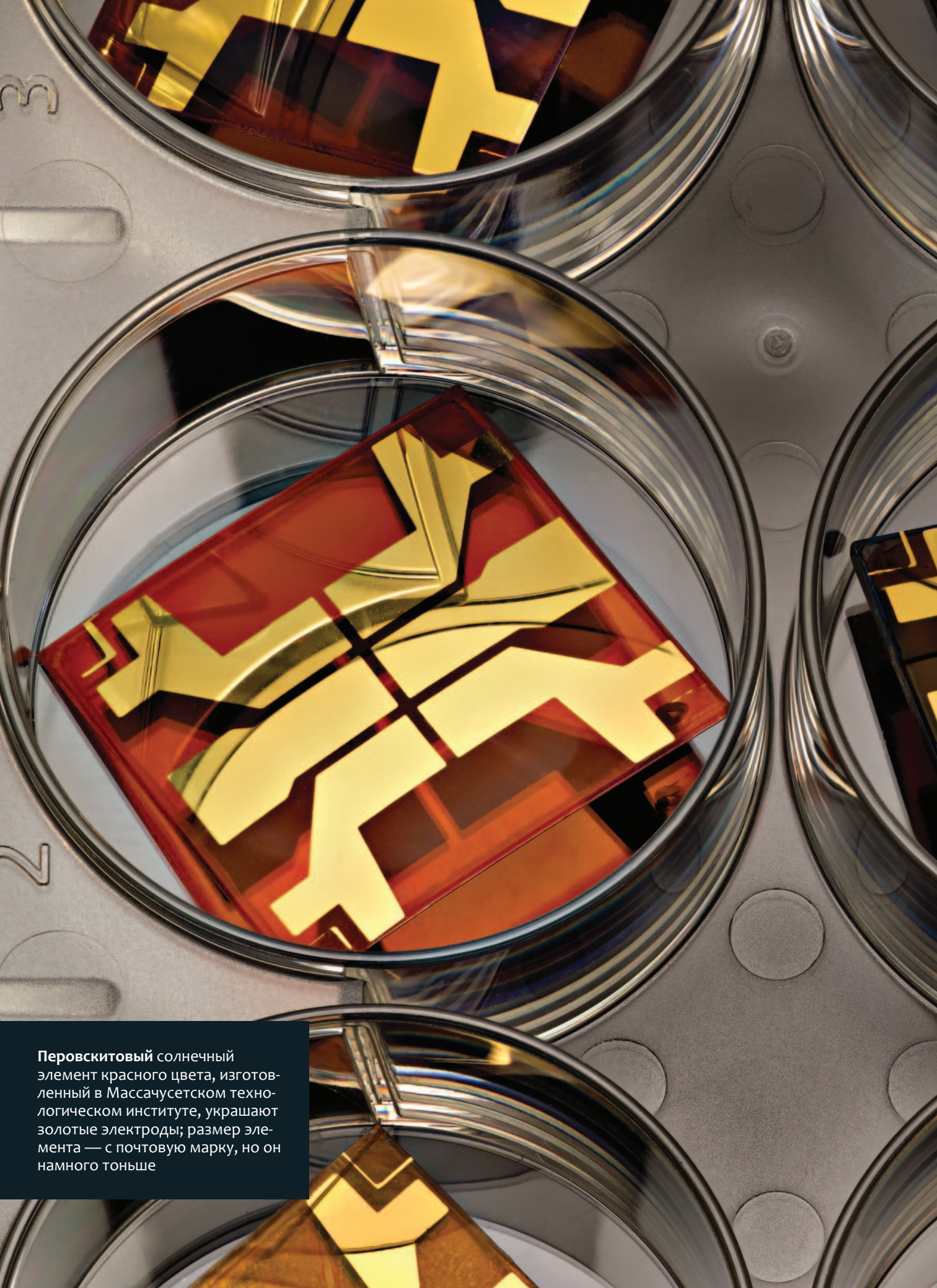
«К моему удивлению, я помню, как читала учебники и выполняла упражнения, и поняла, что мне это по душе. Это было великолепно», — рассказывает Капдебоск. Она бесповоротно втянулась в работу над вторым поколением доказательства после того, как Соломон попросил ее помочь восполнить некоторые из пробелов в доказательстве, которые в итоге стали частью шестого тома. Упорядочение доказательства, по ее словам, позволяет математикам изыскивать более эффективные подходы к решению сложных задач.

Инна Капдебоск уподобляет эти усилия работе по детализации чернового проекта. Горенштейн, Лайонс и Соломон заложили основу плана, но, говорит она, ее работа и работа нескольких других молодых людей — удостовериться, что все части легли на свое место: «У нас есть дорожная карта, и мы неотступно следуем ей. В ее конце на свет должно явиться доказательство в его окончательном виде».

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Classification of the Finite Simple Groups: A Personal Journey: The Early Years. Daniel Gorenstein in A Century of Mathematics in America, Part I. Edited by Peter Duren, with the assistance of Richard A. Askey and Uta C. Merzbach. American Mathematical Society, 1998. www.ams.org/samplings/math-history/hmath1-gorenstein33.pdf
- A Brief History of the Classification of the Finite Simple Groups. Ronald Solomon in Bulletin of the American Mathematical Society, Vol. 38, No. 3, pages 315–352; 2001.
- www.ams.org/journals/bull/2001-38-03/S0273-0979-01-00909-0
- The Equation That Couldn't Be Solved: How Mathematical Genius Discovered the Language of Symmetry. Mario Livio. Simon & Schuster, 2005.
- Symmetry and the Monster: One of the Greatest Quests in Mathematics. Mark Ronan. Oxford University Press, 2006.



Перовскитовый солнечный элемент красного цвета, изготовленный в Массачусетском технологическом институте, украшают золотые электроды; размер элемента — с почтовую марку, но он намного тоньше

ЭНЕРГЕТИКА

Лучше кремния

Минерал **перовскит**, неожиданно получивший известность, может позволить создавать солнечные элементы, которые будут дешевле и эффективнее господствующих ныне кремниевых

Варун Сиварам, Генри Снэйт
и Сэмюел Стрэнкс

ОБ АВТОРАХ

Варун Сиварам (Varun Sivaram) — член Совета по международным отношениям. Ведет исследования в областях энергетики, техники и национальной безопасности.



Генри Снэйт (Henry J. Snaith) — профессор физики Оксфордского университета и соучредитель и главный научный сотрудник компании *Oxford Photovoltaics*.



Сэмюэл Стрэнкс (Samuel D. Stranks) — член научного совета Массачусетского технологического университета. Ведет исследования в области применения перовскита в оптике и электронике.



Сидя в полутемном японском баре, студент магистратуры Майкл Ли (Michael Lee) спешно записал, чтобы не забыть, на салфетке список химических ингредиентов. Ранее в тот же день научный сотрудник Йогогамского университета в Тоине великодушно предоставил ему свой инновационный рецепт изготовления солнечных элементов не из привычного кремния, а из нового материала — перовскита. КПД этих солнечных элементов не превышал 3,8%, поэтому никто не обратил на них внимания, но для Ли это стало источником вдохновения. В 2011 г., собрав факты, он вернулся в Кларендонскую лабораторию Оксфордского университета, где мы втроем работали в то время, и провел серию экспериментов с различными модификациями данного рецепта. Эти эксперименты впервые позволили поднять КПД перовскитовых солнечных элементов выше 10% и вызвали в области чистой энергетики некое подобие нефтяной лихорадки, поскольку ученые во всем мире стали лихорадочно искать способы поднять КПД перовскитовых элементов еще выше.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Кристаллический кремний уже десятки лет доминирует на рынке солнечных элементов, но опытные элементы из другого кристаллического материала, перовскита, быстро догоняют кремниевые по КПД.
- Перовскитовые элементы могут стать дешевле кремниевых, поскольку изготавливаются при гораздо более низких температурах. Они могут представлять собой рулоны тонкой гибкой пленки разных цветов, что позволит создать более широкий круг изделий, чем из жесткого кремния.
- Большие трудности, однако, остаются. Для предотвращения деградации элементов в течение немногих часов требуются проверенные методы защиты их от воздействия влаги.
- Кроме того, для обеспечения их безопасности необходима надежная герметизация элементов, чтобы не допустить выделения содержащегося в них свинца. Наконец, необходимо добиться увеличения их размеров, сегодня образцы с наиболее высоким КПД имеют размеры всего лишь с ноготь.

Последний зафиксированный рекорд, 20,1%, был достигнут в ноябре 2014 г. в Институте химической технологии в Южной Корее. Для сравнения отметим, что КПД кремниевых солнечных элементов после десятилетий исследований и разработок удалось довести всего примерно до 25%. А исследователи перовскита ставят перед собой задачу превзойти этот уровень. Мы ожидаем также коммерческого дебюта, возможно, усилиями какой-либо новой компании вроде *Oxford Photovoltaics*, в числе учредителей которой — один из нас (Генри Снэйт).

Перовскит заманчив по нескольким причинам. Его ингредиенты распространены на Земле достаточно широко, и ученые могут легко и без больших затрат комбинировать их при низких температурах в высококристаллические тонкие пленки, подобные получаемым из кремния при высоких температурах и больших затратах. В отличие от толстых и жестких кремниевых пластин, перовскитовые пленки тонки и гибки. Возможно,

со временем рулоны таких пленок будут быстро разматываться из специальных принтеров, превращаясь в тонкие и гибкие солнечные элементы в форме листов или покрытий.

Однако чтобы потеснить кремний, им придется преодолеть несколько серьезных преград. Современные опытные образцы имеют размеры всего с ноготь, и для того, чтобы сделать перовскитовые солнечные элементы конкурентоспособными с кремниевыми, исследователям нужно будет найти способы многократно увеличить их размеры. Кроме того, потребуются во много раз повысить их безопасность и длительную стабильность.

Борьба за КПД

Сегодня наивысшее значение КПД солнечных элементов составляет 25,6%. Почему они не могут превращать в электричество все 100% энергии солнечного света? И почему есть надежда, что КПД перовскитовых солнечных элементов может быть поднят выше этого уровня?

Ответ лежит в свойствах электрона — способного возбуждаться и непредсказуемого. В отсутствие света электроны в материале солнечного элемента остаются связанными со своими атомами и не создают электрического тока. Но падающий на элемент солнечный свет может высвободить некоторые электроны. Эти «возбужденные» электроны, приобретшие дополнительную энергию, блуждают по кристаллической решетке элемента, пока либо не покинут ее, перейдя в электрод в качестве носителей тока, либо не наткнутся на препятствие или не попадут в ловушку, превратив свою энергию в бесполезное тепло.

Чем совершеннее кристаллическая решетка, тем меньше в ней дефектов, нарушающих движение электронов. Кремниевые солнечные элементы для устранения дефектов решетки нагревают до температуры, достигающих 900° С. А кристаллические решетки перовскитов почти не содержат дефектов, хотя перовскит обрабатывается при гораздо меньших температурах — всего около 100° С. Поэтому в перовските у возбужденных светом электронов гораздо меньше шансов потерять много энергии из-за столкновений с препятствиями. Поскольку электрическая мощность элемента есть произведение потока электронов в нем (т.е. силы тока) на переносимую ими энергию (напряжение), КПД пе-

ровскитовых элементов может соперничать с КПД кремниевых при гораздо меньших затратах на обработку.

Однако доля энергии солнечного света, преобразуемая полупроводниковым солнечным элементом в электроэнергию, имеет предел — минимум энергии, способной отрывать электроны от атомов. Обусловлен этот предел в основном физическим свойством полупроводника, именуемым шириной запрещенной зоны. Солнечный свет содержит все длины волн видимой части спектра, но возбуждать электроны могут лишь некоторые из них. Остальные просто проходят через полупроводник, не вызывая никаких эффектов.

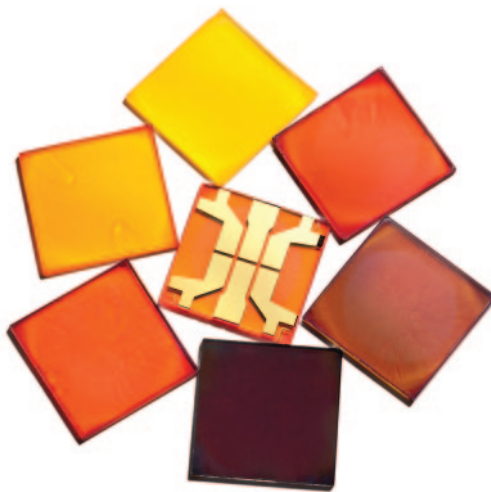
Ширина запрещенной зоны различна у разных полупроводников, и она определяет фундаментальный компромисс: чем она меньше, тем больше доля солнечного спектра, поглощаемая элементом с возбуждением электронов, но при этом тем меньше средняя энергия возбужденных электронов. Поскольку же мощность солнечного элемента зависит как от числа электронов, так и от их энергии, даже элемент с идеальной шириной запрещенной зоны может преобразовывать в электроэнергию лишь около 33% солнечной энергии.

У кремния ширина запрещенной зоны постоянна и не идеальна, но кремний доминирует в солнечной энергетике, поскольку эффективные способы производства солнечных элементов из него хорошо известны. В случае же пе-

ровскита ученые, варьируя состав ингредиентов, могут менять ширину запрещенной зоны, что открывает перспективы получения более высокого КПД, чем у кремниевых элементов. Кроме того, исследователи могут налагать друг на друга слои перовскитов с разными значениями ширины запрещенной зоны, что повышает шансы превзойти КПД кремниевых солнечных элементов. Двухслойные перовскитовые элементы должны быть способны превзойти предел кремниевых в 33%; есть основания считать, что их КПД может достигнуть 46%.

Обучение старых материалов новым трюкам

Природные формы перовскита, присутствующие в земной коре, известны ученым еще с XIX в. Кристаллы перовскита украшали обложку этого журнала в 1988 г., когда ученые надеялись создать

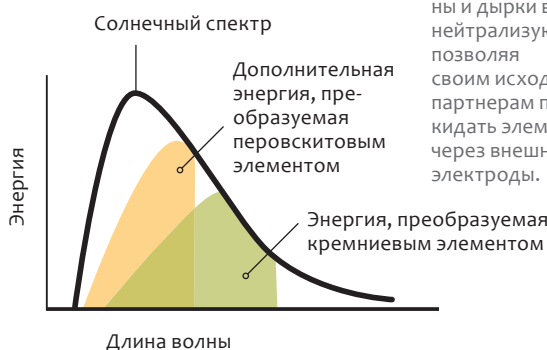


Перовскитовые пленки могут быть разного цвета, наклеиваясь на окна или стены, таким образом не только вырабатывая электроэнергию, но и создавая цветовые эффекты

Как это работает

ДВА ЛУЧШЕ ОДНОГО

Солнечные элементы из кремния и перовскита могут не конкурировать между собой, а работать совместно, обеспечивая более высокий КПД преобразования солнечной энергии в электрическую, чем каждый из них по отдельности. В тандемном солнечном элементе (справа) слой перовскита лежит на слое кремния, и вся система генерирует электроны большей энергии, чем каждый из материалов по отдельности, что позволяет получить на выходе более высокое напряжение. Кроме того, перовскит и кремний преобразуют свет в разных участках спектра (внизу), заставляя работать более широкую часть спектра.



Солнечный фотон передает энергию электрону, отрывая его от атома и оставляя дырку в кристаллической решетке. Электрон и дырка движутся к противоположным электродам, создавая электрический ток.

На туннельном переходе электроны и дырки взаимно нейтрализуются, позволяя своим исходным партнерам покидать элементы через внешние электроды.

Фотон высокой энергии (коротковолновый)

Фотон низкой энергии (длинноволновый)

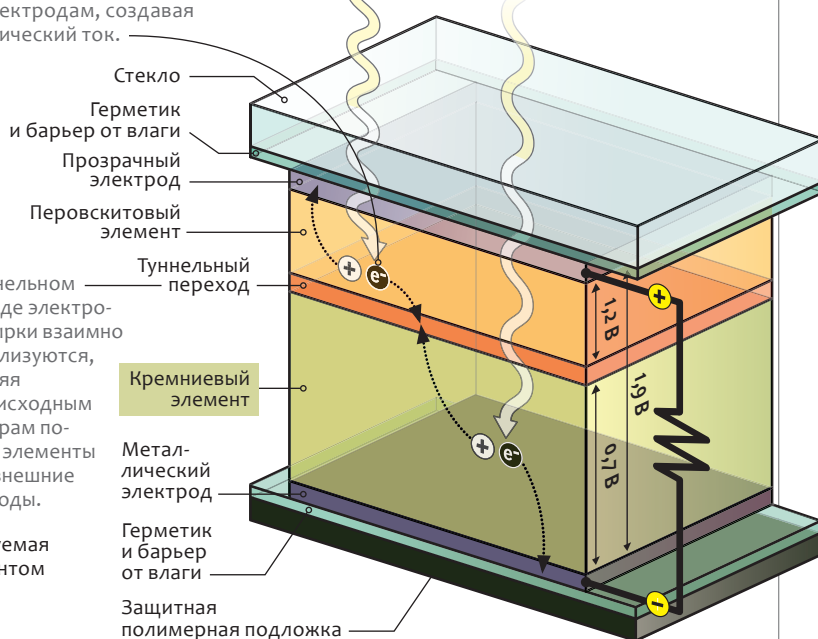


Рисунок не в масштабе

высокотемпературные сверхпроводники (некоторые работы в этом направлении ведутся и сегодня). За два последних десятилетия инженеры создали экспериментальные устройства на основе искусственного перовскита, но возможность использования его в солнечных элементах они проглядели.

Однако в 2009 г. группа из Йогогамского университета в Тоине изготовила солнечный элемент из искусственного перовскита с галогенидом свинца, впервые синтезированного в 1978 г. Нужные для его изготовления материалы ученые растворили, а полученный раствор нанесли методом центрифугирования на стеклянную подложку и высушили. В результате на стекле остался слой нанокристаллов перовскита — это похоже на то, как при высыхании приливных водоемов образуются кристаллы соли. Под воздействием солнечного света в этом слое возникли возбужденные электроны, хоть и в небольшом количестве. Тогда исследователи наложили по обе стороны от нанокристаллов перовскита тонкие слои материала, чтобы облегчить перенос электронов во внешнюю электрическую цепь, создав этим источник электроэнергии.

Первые малые элементы имели КПД всего 3,8% и были крайне нестабильными, переставая работать за считанные часы. Ли изменил состав перовскита и заменил ненадежный слой элемента,

что позволило поднять КПД выше 10%. Подобных успехов добилась и группа, возглавляемая Михаэлем Гретцелем (Michael Grätzel) из швейцарского Национального технологического института в Лозанне и Намгю Парком (Nam-Gyu Park) из корейского Университета Сонгюнган в Сеуле.

Недавний подъем к 20% был обусловлен некоторыми хитроумными инновациями. Создание бездефектной кристаллической пленки требует применения сложных методов нанесения, поэтому группа Сан Ильсока (Sang Il Seok) из корейского Института химической технологии разработала многоступенчатый процесс, обеспечивающий более высокую упорядоченность кристаллов, выпадающих из раствора, нанесенного методом центрифугирования. Оптимизируя этот процесс, корейская группа сумела трижды за 2014 г. повысить КПД получаемых солнечных элементов, доведя его с 16,2% до 20,1%.

Другие ученые упростили процесс добавления слоев других материалов. Новейшие перовскитовые солнечные элементы больше похожи на кремниевые, представляя собой обычную стопку, состоящую из нескольких плоских слоев. В случае кремния именно такая структура обеспечила возможность недорогого массового производства. Недавно исследователи перовскитовых элементов начали нагревать раствор и стеклянную

пластинку, на которую он наносится, в результате чего стали получаться кристаллы на несколько порядков величины более крупные, чем в первых солнечных элементах, — обнадеживающий знак того, что кристаллизация продолжает совершенствоваться.

Ученые разрабатывают и некоторые новые особенности перовскитовых элементов. Изменение соотношения химических компонентов позволяет создавать панели, имеющие легкие оттенки желтого или малинового цветов. Нанося перовскит на стекло отдельными островками, а не ровным слоем, можно получать прозрачные, полупрозрачные или совсем не прозрачные пленки. Сочетание этих вариантов предоставляет архитекторам выбор, позволяя им не ограничиваться жесткими непрозрачными синевато-черными кремниевыми солнечными элементами. Из перовскитовой пленки архитекторы смогут создавать красочные фонарные плафоны, окна и фасады. Вообразите небоскреб с окнами, оттененными перовскитовой пленкой, которая защищает помещения от слишком яркого и горячего солнечного света, превращая его в электроэнергию и позволяя уменьшить расходы на кондиционирование.

Долгий путь к рынку

До внедрения перовскитовых солнечных элементов в широкую практику предстоит еще долгий путь. Хотя корейские и австралийские ученые недавно продемонстрировали «печатные» элементы размером 10 x 10 см (уже неплохим для конкурентоспособных изделий), элементы с наиболее высоким КПД остаются еще небольшими опытными образцами. Добиваясь увеличения их размеров, лаборатории и новые компании должны обеспечить выполнение трех условий, необходимых для массового производства: убедиться в стабильности солнечных элементов, достаточной, чтобы они могли служить десятилетиями; разработать такой дизайн, чтобы потребители охотно размещали их в своих домах и зданиях; и, наконец, удовлетворить критиков, утверждающих, что приводимые значения КПД перовскитовых солнечных элементов завышены.

Стабильность — это, пожалуй, самое уязвимое место перовскитовых солнечных элементов. Перовскиты могут быстро разрушаться, поскольку они чувствительны к влажности, поэтому их необходимо помещать во влагонепроницаемую оболочку. Элементы, изготовленные нами в инертной среде и заделанные в эпоксидную смолу, стабильно проработали в условиях непрерывного освещения больше 1 тыс. часов. Исследователи

из Хуачжунского научно-технологического университета в Китае в сотрудничестве с Гретцелем сумели добиться стабильной работы перовскитовых солнечных элементов в течение 1 тыс. часов даже без их герметизации, а недавно опубликованные результаты исследования перовскитовых солнечных батарей под открытым небом в Саудовской Аравии показали, что они способны работать в реальных условиях эксплуатации. На недавней конференции Общества исследования материалов в Сан-Франциско мы представили данные компании *Oxford Photovoltaic*, показывающие, что перовскитовые солнечные элементы способны стабильно генерировать мощность в условиях прямого солнечного освещения больше 2 тыс. часов.

Поскольку перовскитовые солнечные элементы могут быть сделаны легкими и гибкими, они способны найти весьма широкое применение, например в качестве вырабатывающей электроэнергию облицовки стен или окон

Однако в промышленности принято давать солнечным батареям гарантию на 25 лет — это примерно 54 тыс. часов работы при полном солнечном освещении. Поэтому необходимо найти эффективный барьер против влажности, способный прослужить столько же времени, причем в условиях изменений температуры в широком диапазоне. Изготовители кремниевых солнечных батарей решили проблему, помещая их между двумя листами стекла. Для больших наземных установок — идеальное решение. Поскольку же перовскитовые солнечные элементы могут быть сделаны пленочными, т.е. намного более легкими и гибкими, они могут найти гораздо более широкое применение, например в качестве вырабатывающей электроэнергию облицовки стен или окон.

К счастью, некоторых успехов добились компании, пытающиеся выпустить на рынок солнечные элементы из других гибких материалов, в частности полупроводников из селенида индия и галлия. Разработанные ими технологии герметизации работают вполне успешно, но попытки этих компаний потеснить на рынке кремний не приводят к успеху, поскольку их солнечные элементы дороже кремниевых, а их КПД меньше. Перовскитовые же элементы с их более высоким КПД и меньшей себестоимостью должны использовать достижения в области герметизации.

Кроме защиты от внешней влаги не менее важна защита от свинца, небольшое количество которого добавлено в перовскит, находящийся внутри солнечных элементов. Свинец токсичен, поэтому рынок будет требовать надежных гарантий безопасности перовскитовых элементов. Исследователям стоит вновь обратиться к другому, единственному кроме кремния, материалу солнечных элементов, достигшему значительного коммерческого успеха: теллуриду кадмия.

Солнечные панели из этого материала, изготовленные компанией *First Solar*, установлены в разных частях света и по безопасности превосходят требования стандарта, хотя в них присутствует кадмий, который токсичнее свинца. Компания *First Solar* сумела убедить общество, что ее панели надежно герметизированы и кадмий не может

по КПД и стабильности они оказались хуже, поскольку олово со временем вызывало нарушение структуры кристаллической решетки, что затрудняло выход электронов из элементов. Чтобы добиться от элементов с оловом такой же долговременной стабильности и такого же КПД, как у элементов со свинцом, нужно немало потрудиться.

Кроме того, исследователям предстоит решить еще одну меньшую, но заковыристую задачу. Критики утверждают, что приводимые значения КПД могут быть завышенными из-за гистерезиса — разброса показаний, вызванного, вероятно, миграцией заряженных молекул от одной стороны элемента к другой, что может создавать видимость большего тока. Однако величина этой миграции очень мала. Ученые ищут способы остановить ее, но на ближайшее время есть простое решение этой

проблемы: дождаться завершения миграции и замерять КПД в течение длительного времени. Результаты таких измерений обычно получаются близкими к результатам кратковременных первоначальных измерений, но исследователи могут поддаваться соблазну опубликовать те, которые оказались выше. Мы работаем с исследователями всего мира над стандартизацией процедуры измерений с тем, чтобы наши результаты отвечали высоким стандартам тщательности.

Наконец, для достижения коммерческого успеха изготовителям перовскитовых элементов необходимо будет представить оптимистичные экономические данные, чтобы привлечь инвестиции, требуемые для расширения производства. Хотя материалы для перовскитов имеются в изобилии, а пленочные элементы могут изготавливаться на недорогом оборудовании, изготовители не должны попасться в ловушку конкуренции на «кремниевых» условиях. Пространство, на котором можно потеснить кремниевые солнечные панели, мало, поскольку стоимость самих панелей составляет лишь небольшую часть общей стоимости солнечной энергетической установки, а большая часть затрат приходится на так называемое «прочее»: установочные материалы, затраты труда, получение разрешения, инспекции и др. В среднем по США стоимость солнечной энергетической установки для жилого дома составляла в 2014 г. \$3,48 за ватт мощности, хотя стоимость самих панелей не превышала 72 центов за ватт. И даже если стоимость перовскитовых панелей составит от 10 до 20 центов за ватт (а исследователи считают, что это возможно), общая экономия составит лишь незначительные проценты.

Однако перовскитовые компании могут играть и на этих малых процентах, создавая продукты

Перовскитовые солнечные панели с высоким КПД позволят снизить общую стоимость установки в расчете на ватт мощности, поскольку потребуют меньших трудовых затрат и меньшего количества другого оборудования

выделяться из них даже при 1000° С. Однако основой этих панелей служит стеклянная подложка, так что их невозможно сделать такими легкими и гибкими, как перовскитовые. Но компании, работающие с перовскитом, могут использовать опыт и успехи *First Solar* в деле герметизации и тщательных испытаний продукции.

Обнадеживающие результаты, касающиеся свинца, получены недавно в Массачусетском технологическом институте. Группа Энджелы Белчер (*Angela Belcher*) показала, что утилизация автомобильных аккумуляторов может осуществляться безопасно, а выделяемый в ее процессе свинец — использоваться для производства перовскитовых солнечных элементов. И это дает экологические плюсы. По оценкам Белчер, свинца из одного автомобильного аккумулятора должно хватить для изготовления 700 м² перовскитовых элементов. При КПД, равном 20%, в таком теплом, но солнечном климате, как в Лас-Вегасе, этой площади хватит для снабжения электроэнергией 30 домов.

Другой возможный путь — полный отказ от свинца. Наша группа и группа из Северо-Западного университета опубликовали предварительные результаты экспериментов с элементами, в которых свинец был заменен безвредным оловом. Однако

с более высоким КПД, чем у кремниевых. Перовскитовые солнечные панели с высоким КПД позволят снизить общую стоимость установки в расчете на ватт мощности, поскольку потребуют меньшей площади на земле или на крыше, следовательно, меньших трудовых затрат и меньшего количества другого оборудования. Еще более впечатляющим примером изменения правил могут стать перовскитовые продукты для приложений, для которых кремниевые не годятся, например пленки, встраиваемые непосредственно в стеновые или кровельные материалы и материалы для окон.

Гибридный вариант

Сегодня наибольшие шансы выйти на рынок перовскит имеет в качестве не конкурента, а союзника кремния. Перовскиты могут буквально оседлать успех кремния, получив доступ к 50-миллиардному рынку.

А можно создать их союз, нанеся слой перовскита на слой кремния и тем самым получив «тандемный» солнечный элемент. Перовскиты хорошо используют более коротковолновую часть солнечного спектра — синюю, фиолетовую и ультрафиолетовую, которую кремний не улавливает, генерируя электроны намного более высокой энергии. Специалисты из Стэнфордского университета и Массачусетского технологического института недавно наложили перовскитовый элемент на герметизированный кремниевый, доведя КПД с 11% у исходного кремниевого до 17%. Они создали и тандемный элемент, просто нанеся слой перовскита на слой кремния, так что получилась единая структура. КПД этого устройства составил всего 14%, но его, несомненно, можно будет повысить, усовершенствовав процесс производства. Исходя из двух названных экспериментов, ученые наметили сценарий создания тандемного элемента путем соединения современного кремниевого элемента с современным перовскитовым устройством с использованием хорошо продуманной технологии, что должно позволить получить КПД выше 30% без радикальных изменений кремниевой и перовскитовой технологий.

Если КПД тандемной солнечной панели удастся довести до 30%, это позволит намного уменьшить прочие затраты: площадь панелей будет на треть меньше необходимой для панелей с КПД 20%. Это значит, что нужно будет на треть меньше площади на земле или на крыше, меньше установочных материалов, оборудования и затрат труда. Компания *Oxford Photovoltaics* сотрудничает с традиционными изготовителями кремниевых солнечных батарей в деле повышения их КПД путем нанесения перовскитового покрытия на кремниевые солнечные элементы. Изготовить опытные образцы таких тандемных панелей компания планирует уже в этом году. Со временем дешевые солнечные

покрытия кровельных материалов или стеклов могут изменить всю структуру стоимости домов с электропитанием от солнечных батарей.

Обратный процесс

Быстрое возвышение перовскитовых солнечных элементов вдохновило ученых и инженеров на изготовление других видов изделий на основе перовскита, которые можно было бы тоже вывести на рынок. В сотрудничестве с нашими коллегами из Кембриджского университета мы недавно создали на основе перовскитов с галогенидами металлов светодиоды и лазеры, которые не поглощают свет, а эффективно излучают его в результате процесса люминесценции.

Такой разворот не был неожиданным. В ходе обратного процесса солнечные элементы из арсенида галлия, имеющие самый высокий в мире КПД, действуют как светодиоды. Дешевые «печатные» светодиоды и лазеры могли бы привести к созданию интересных приложений — от освещения больших площадей до формирования изображений в медицинской аппаратуре.

Исследования в этом новом направлении только начинаются, но мы думаем, что они привлекут больше внимания. Перовскиты заставляют ученых чувствовать себя подобно детям в кондитерской; мы нашли лакомый материал, свойства которого отвечают почти всем нашим пожеланиям: он эффективен, недорог, легок, гибок и приятен на вид. Для полной реализации возможностей перовскитов потребуются совместные усилия академической науки, промышленности и правительств. Но с учетом ожидаемого выигрыша — получения дешевой чистой энергии и создания новых поколений электронных устройств — мы полагаем, что перовскит стоит того, чтобы делать на него ставку. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Биелло Д. Солнечные войны // ВМН, № 1, 2015.
- The Emergence of Perovskite Solar Cells. Martin A. Green, Anita Ho-Baillie and Henry J. Snaith in *Nature Photonics*, Vol. 8, pages 506–514; July 2014.
- Compositional Engineering of Perovskite Materials for High-Performance Solar Cells. Nam Joong Jeon et al. in *Nature*, Vol. 517, pages 476–480; January 22, 2015.
- Metal-Halide Perovskites for Photovoltaic and Light-Emitting Devices. Samuel D. Stranks and Henry J. Snaith in *Nature Nanotechnology*, Vol. 10, pages 391–402; May 2015.

БИОЛОГИЯ

Жизнь увроада

Как выяснилось, жизнь может существовать в самых экстремальных местах на Земле, а возможно, даже на других планетах

Дуглас Фокс



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В январе гляциологи пробурили антарктический лед на глубину 740 м, на границе суши и моря. Спущенный в отверстие аппарат обнаружил рыб и других животных в десятиметровом слое морской воды, в 850 км от открытого, освещенного солнцем океана. По традиционным представлениям это место должно быть почти безжизненным.
- Рыбы питаются крошечными рачками бокоплавами, а те в свою очередь едят микробов. В этом изолированном месте микробы могут питаться органическими частицами, отделяющимися от нижней стороны ледника по мере того, как он сползает в воду. В отсутствие солнечного света и фотосинтеза микробы получают энергию из этих частиц необычными способами.
- Это открытие означает, что жизнь может быть обнаружена в тех местах на Земле, которые раньше считались необитаемыми, а также на других планетах и небесных телах — таких, например, как спутник Юпитера Европа.

Проливая свет на подледный мир.
В этом году с помощью подводного аппарата *Deep SCINI* были получены изображения, доказывающие, что в кромешной тьме в ледяной воде под пластом свешивающегося с Антарктиды ледника процветают сложные формы жизни

Побережье западной части Антарктиды — одно из самых пустынных мест на планете. Оно погребено под Западно-антарктическим ледяным щитом, простирающимся на тысячу километров, по площади сопоставимым с Восточной Европой и состоящим из нескольких связанных друг с другом ледников, медленно сползающих с континента в море. Ледники толщиной в сотни метров, пересекая границу суши и воды, становятся плавучими, выступая ровными полями на сотни километров в океан. Шельфовые ледники по размеру сопоставимы с Испанией, и на то, чтобы океаническое течение под ними принесло частичку планктона из открытого океана, где есть свет и избыточная еда, в ужасающую темноту около береговой линии, может понадобиться от трех до десяти лет.

Когда Роберт Зук (Robert Zook) с группой ученых занимались гляциологическими исследованиями в прибрежной зоне, где ледяной покров переходит в шельфовый ледник Росса, они никак не ожидали увидеть там океанических живых существ. Они отправились в это удаленное место, чтобы выяснить, как основание медленно ползущего Западно-антарктического ледяного щита реагирует на изменения климата. С ними было несколько микробиологов, но никого, изучающего более крупных животных.

16 января вся группа столпилась около видеомониторов в затемненной комнате. Это был импровизированный диспетчерский центр, устроенный внутри металлического грузового контейнера, расположенного на поверхности ледника. Несколько дней тракторы тащили тесный ящик, закрепленный на четырех огромных лыжах, с полумиллионом килограммов оборудования и материалов,

ОБ АВТОРЕ

Дуглас Фокс (Douglas Fox) — научный журналист, публикующийся в журналах *Discover*, *Esquire*, *National Geographic* и *Nature*. Начиная с 2007 г. четырежды побывал в Антарктиде, собирая материал для своих статей.



Холодное начало: лагерь исследователей на шельфовом леднике Росса в январе этого года, когда лед пробурили на 740 м, чтобы увидеть, что внизу ледника

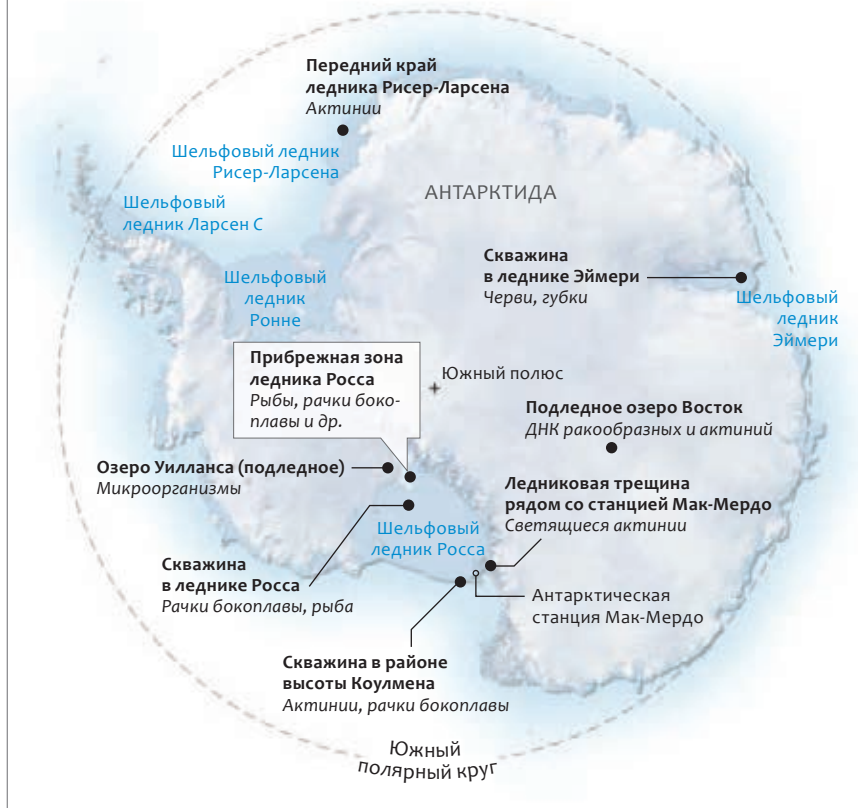
к этому месту, расположенному в 850 км вглубь от границы ледника у открытого моря. Используя термобур с водяной подачей, сделали отверстие шириной чуть больше баскетбольного кольца и глубиной в 740 м, чтобы добраться до тонкого слоя воды под ледником вдоль береговой линии. Затем вниз осторожно спустили аппарат *Deep SCINI*, который поддерживал электронную связь с диспетчерской.

Зук спроектировал и построил *Deep SCINI* так, чтобы робот выдерживал сильный холод и большое давление на глубине. Но у него было мало времени, и он успел протестировать свой телеуправляемый подводный аппарат только в плавательном бассейне. В течение 40 минут экипаж тревожно наблюдал, как двухметровый робот спускался вниз все глубже и глубже. Свет, идущий от его носа, ярко отражался в белой ряби ледяных стен. Казалось, что это космическая нора в другой мир.

Открытия

НЕОЖИДАННОСТЬ: ПОДО ЛЬДОМ ЕСТЬ ЖИЗНЬ

В январе этого года исследователи с изумлением обнаружили многочисленных рыб и рачков (крошечных покрытых панцирем животных) в воде под шельфовым ледником Росса, в 850 км от открытого моря и под 740-метровым слоем льда. Другие организмы (указанные на рисунке ниже), которые были ранее обнаружены в краевой зоне ледника, значительно ближе к освещенной солнцем воде, часто свисают с нижней стороны ледника, образуя своеобразный перевернутый мир.



Ученые дружно выдохнули, когда стенки туннеля внезапно закончились в густой темноте. *Deep SCINI* прошел через лед и окунулся в десятиметровый слой соленой воды. На экране появилось пустое морское дно, скалистое и безжизненное, холодное, темное дно, которого никто из людей никогда не видел. Пробы воды, которые подняли оттуда несколькими днями ранее, были кристально чисты, без каких-либо намеков на присутствие жизни. Соруководитель экспедиции гляциолог Росс Пауэлл (Ross Powell) из Университета Северного Иллинойса после извлечения образцов во время разговора по спутниковому телефону назвал эту зону «довольно негостеприимной».

Джастин Бернетт (Justin Burnett), управлявший роботом, скользнул пальцем по сенсорной панели, чтобы направить *Deep SCINI* вверх, к нижней стороне плавающего ледника. Огни аппарата осветили темную неровную поверхность льда, покрытую налетом. Тут и там частички отделялись от потолка и, сверкая в луче света, опускались вниз, как падающие звезды. Иногда какая-нибудь

из этих падающих звезд вела себя странно: она прыгала вбок. Сложно было утверждать уверенно, но по видео казалось, что это кто-то двигался.

Бернетт повел *Deep SCINI* обратно ко дну моря, когда внезапно картинка на видео застыла. Аппарат нужно было выключить, чтобы избежать перегрева. Это звучало забавно, учитывая, что вода имела температуру -2°C и не замерзала только благодаря солености и повышенному давлению ото льда сверху. Зук по рации обратился к оператору лебедки, который был снаружи, и попросил на время перезапуска опустить аппарат на дно.

Когда видеочка снова включилась, кто-то в холодной диспетчерской вскрикнул: «Смотрите, смотрите! Черт возьми!» Все глаза метнулись влево к монитору, на который выводилось изображение с камеры, направленной вниз. На экране скользило изящное создание. Его полупрозрачное тело, сужающееся к задней части, как восхлищательный знак, отливало голубым, коричневым и розоватым цветом. Это была рыба, размером примерно как нож для масла. У наблюдателей перехватило дыхание. Исследуя ледники, они

только что обнаружили сложное живое существо в одном из предположительно наиболее непригодных для жизни мест на Земле.

В тот день аппарат оставался подо льдом на протяжении шести часов и встретил примерно 20–30 рыбок трех разных видов. Рядом мелькали рачки бокоплавы. Наблюдатели увидели темно-бордовых медуз и радужное тело кого-то, кто проплыл выше, предположительно гребневика. Позже Пауэлл сказал мне: «Возникает впечатление, что это не были случайные встречи, но там обитает целое сообщество». Оказалось, что бесплодные глубины полны жизни.

Весь смысл работы изменился в один миг: сейчас главной задачей стало попытаться поймать кого-нибудь из этих животных, чтобы позже исследователи могли их изучить. В течение нескольких последующих дней Зук смастерил для *Deep SCINI* ловушку из куска оконной сетки, а в качестве наживки положил кусок рыбы. Когда аппарат снова опустили на дно, на протяжении четырех часов его камера наблюдала за тем, как десятки рачков

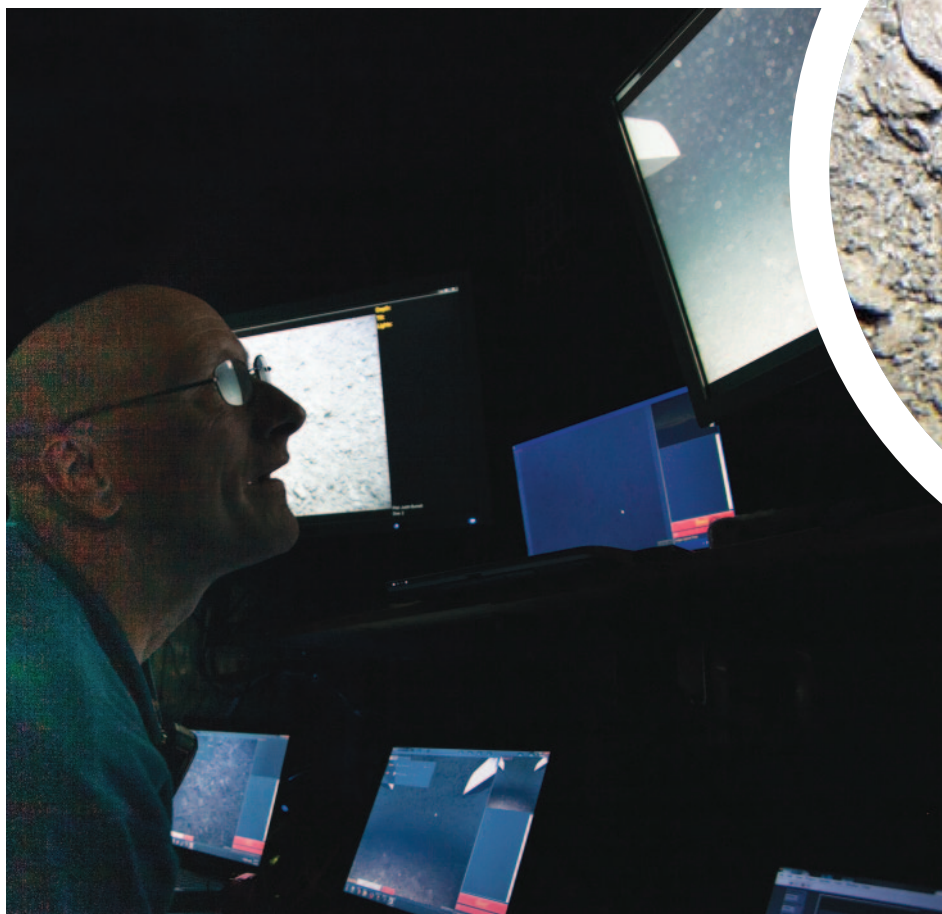
лезут в ловушку, как мухи в помойное ведро. Когда операторы подняли аппарат, в ловушке оказалось более 50 рачков бокоплавов. Их заморозили и отправили на антарктическую станцию Мак-Мердо, главную научно-исследовательскую базу США в Антарктиде, откуда должны были улететь исследователи.

Находка таких разнообразных и сложных живых организмов в столь неподходящих условиях вызвала настоящий шок. Открытие все еще очень бурно обсуждается научным сообществом, поскольку нарушены прежние представления о жизни на Земле и возможности жизни в других мирах.

Свидетельства наличия жизни под антарктическими льдами обнаруживаются очень медленно. Климат суровый, экспедиции стоят дорого, особенно если надо бурить сотни метров льда. То небольшое количество информации, которым располагали ученые, было получено с края ледника около открытой воды.

В 1960-е гг. гляциологи наткнулись на колонию тюленей, которым каким-то образом удалось выжить невзирая на то, что они постоянно находились на шельфовом леднике Мак-Мердо, в 25 км от кромки льда — слишком далеко, чтобы доплзти до моря. Тюлени скапливались возле глубокой трещины, где слой льда был деформирован. Они ныряли в расщелину, чтобы добывать еду в воде подо льдом. Биологи недоумевали, что съедобного могут найти тюлени в темных пустынных водах, а эти особи почему-то были даже толще тех, которые живут на открытом берегу океана. Но ученым так и не удалось найти ответы на свои вопросы.

Подсказка была обнаружена случайно в 1975 г., когда из-за низкой облачности вертолет Джона Оливера (John Oliver) сел рядом с трещиной во льду. Оливер, океанограф из Скриппсовского океанографического института в Ла-Хойе, вместе с напарником решили провести погружение в трещину. Они спускались вдоль подводной ледяной стены и на глубине 40 м обнаружили то, чего там быть не должно: сотни вросших в лед светящихся зеленым светом актиний. Спустя год они вернулись, чтобы взять образцы, но обнаружили там бурлящую воду с кристаллами льда и вынуждены



Рыба! Боб Зук (слева) всматривается в видео, полученное с аппарата, спущенного в водяной карман в прибрежной зоне ледника. Он не ожидал присутствия каких-либо живых организмов, видимых невооруженным глазом, и был глубоко потрясен, увидев рыб трех видов, некоторые из них полупрозрачные и размерами с нож для масла (справа).

были отказаться от запланированного погружения и уйти без образцов и даже без фотографий животных. Все, что им удалось найти, уместилось в одной-единственной фразе в научной статье, посвященной ледникам.

В 2003 г. Юуки Ватанабе (Yuuki Watanabe), биолог, работавший тогда в Токийском университете, устроил стоянку на тонком сезонном льду рядом с шельфовым ледником Рисер-Ларсена, в 3 тыс. километрах от Мак-Мердо. Разместившись на льду, который образуется на воде у кромки ледника в холодное время года, он изучал особенности питания тюленей. С помощью прикрепленных к тюленям приборов он выяснил, что они часто ныряют на глубину 150 м, и предположил, что там собирается рыба. Но когда он закрепил камеру на одном из тюленей, то с изумлением обнаружил на фотографии животных с щупальцами, висящих на нижней поверхности ледника. Ватанабе предположил, что тюлени ныряли под лед, чтобы объедать то, что свешивается с его нижней стороны.



Несколько человек знали о находках Оливера и Ватанабе, когда в 2010 г. Зук получил задание создать телеуправляемый аппарат, чтобы помочь инженерам протестировать термобур с водяной подачей в шельфовом леднике Росса в районе высоты Коулмена, в 10 км от кромки ледника, где толщина льда была 250 м. Во льду была проплавлена дыра, и Зук отправил свой аппарат вниз. Когда робот прошел вдоль днища ледника, на экране монитора появилось нечто странное: похожие на руки призраков щупальца тысяч актиний, которые обычно живут, прикрепившись ко дну. Здесь они висели перевернутые, а их подошвы вмерзли в лед. В ледяных норах жили черви. В воде мелькали мелкие рачки. Вокруг извивались рыбы, одна из них плыла в перевернутом виде, так что ее брюхо скользило по ледяному потолку. Случайно открывшаяся картина была настолько необычна, что Зук сказал: «Вероятность того, что такое могло возникнуть, близка к нулю».

Мэримеган Дэли (Marymegan Daly), специалист по актиниям из Университета штата Огайо, была ошеломлена, когда увидела первые фотографии. Она рассказывает: «Я была потрясена. Они выглядели как летучие мыши, свисающие с потолка пещеры. Мне бы никогда не пришло в голову, что актинии станут там жить».

Никто не мог вообразить, что может обнаружиться перевернутая экосистема с нижней стороны ледника. Однако ученые все же сумели объяснить ее существование с помощью традиционных представлений. Биологи пришли к выводу, что разнообразные живые существа под кромкой ледника могли кормиться за счет того, что приносила морская вода с соседних, освещенных солнцем

участков океана. Но дальше подо льдом, на большей удаленности от солнечных лучей, живых организмов будет все меньше. Чем меньше пищи, тем меньше будут размеры питающихся ею существ, пока не начнется огромная область, в которой живут только микробы, и она уже будет простираться на сотни километров, покрытая льдом до самой береговой линии.

Прибрежная зона очень сильно изолирована от света и фотосинтезирующих существ. Самые бесплодные участки океанского дна из всех известных людям, — это темные впадины посреди океана, имеющие глубину 6 тыс. м. Жизнь в этих местах зависит от частичек мертвого планктона, упавших вниз с верхних залитым солнцем слоев воды. У подледной прибрежной зоны сверху нет освещенных слоев. Стэси Ким (Stacy Kim), специалист по экологии антарктического бентоса, работающая в Морских лабораториях Мосс-Лэндинга, предполагала, что подледная прибрежная зона в несколько раз более изолирована от источника пищи, чем океанские впадины.

Исследования 2010 г. финансировались благодаря программе *ANDRILL* (*ANtarctic DRILLing Project*, «программа антарктического геологического бурения»). В 2013 г. в рамках этой же программы для разработки более продвинутого телеуправляемого аппарата пригласили Зук, и в итоге был создан *Deep SCINI*. Окна для видеокамер были сделаны из кристаллов сапфира, «тело» аппарата состояло из миллионов маленьких полых стеклянных

Самые бесплодные участки океанского дна — это темные впадины посреди океана, имеющие глубину 6 тыс. м. Жизнь в этих местах зависит от частичек мертвого планктона, упавших вниз с верхних залитым солнцем слоев воды

шариков, робот выдерживал давление воды на глубине до 1 тыс. м, так что его можно было использовать при исследовании под толстым слоем льда в отдаленных участках ледника. Затем Зук предложили опробовать *Deep SCINI* в экспедиции Пауэлла, который собирался впервые пробурить ледник в прибрежной зоне.

53-летний Зук не соответствует существующим представлениям об ученых. У него нет высшего образования. Он несколько лет занимался проектированием беспроводных телефонных систем, а затем в 1997 г. начал работать на обслуживании

радиотрансляционных башен и авиамаяков на антарктической станции Мак-Мердо. Зук вместе с Бернеттом, аспирантом, занимающимся робототехникой, спешно работали в течение шести месяцев, чтобы успеть сделать *Deep SCINI*, трудясь в поте лица в Университете Небраски-Линкольна по 15 часов в сутки. *Deep SCINI* создавался как пилотная модель, а не для настоящего использования. Когда 2 января 2015 г. его привезли к месту бурения, у аппарата не было навигационной системы и системы управления энергопотреблением, и поэтому он часто перегревался.

После того, как обнаружили рыбу и *Deep SCINI* подняли из скважины, вниз спустили океанографическое оборудование, принадлежавшее Пауэллу, и поддержали его на дне моря около 20 часов. Оно измеряло океанические течения и соленость — с помощью этих данных можно выяснить, с какой скоростью тает ледник. Кроме того, отслеживали содержание кислорода и других веществ в воде, это стало важно теперь, когда там были обнаружены сложные живые организмы. Все это время перед камерой периодически возникали рыбы и рачки.

Во время позднего ужина в лагере люди ломали головы, пытаясь разобраться в этих животных. «Нам надо понять, что они едят», — сказал Brent Кристнер (Brent Christner), микробиолог из Университета штата Луизиана, изучающий антарктических микробов уже 15 лет. Солнечный свет был слишком далеко, а любая вода, которая могла бы занести что-то с края ледника, должна была бы добираться сюда годами и за это время потеряла бы все съедобные частицы.

Все было еще загадочнее, поскольку у животных энергетические потребности выше, чем у микробов. Рыбы расположены на вершине пищевой пирамиды. Находящиеся на нижнем уровне пирамиды микробы используют энергию света или химических соединений, чтобы создавать органические вещества из растворенного в воде углекислого газа и таким образом расти. Рачки едят микробов и используют их органические вещества. Рыба ест рачков. По словам Джона Приску (John Priscu), специалиста по экологии микроорганизмов, работающего в Университете штата Монтана, который был соруководителем экспедиции в этом году, передача органического вещества и энергии на более высокий уровень пирамиды происходит с большими потерями. Чтобы получить 1 кг рыбы, нужно около 100 кг микробов.



Перевернутый мир. Удивительные существа были обнаружены в краевой зоне шельфового ледника Росса (верхнее фото) в 2010 г. Вместо того чтобы расти на дне, актинии (справа) прикреплялись с нижней стороны ледника и росли сверху вниз; вокруг двигались другие животные, в том числе неизвестное существо, прозванное «яичным рулетом» (слева).

Тайной окутаны и миллионы квадратных километров земли, скрытые под Западно-антарктическим ледяным щитом. Гляциологи пробурили несколько скважин, пройдя лед до грунта. Там обнаружили в большом количестве панцири диатомовых водорослей, живших от 20 до 5 млн лет назад. Это значит, что в более теплый период эта территория была морским мелководьем. По данным сейсмической разведки, сейчас там находятся древние осадочные слои толщиной в сотни метров, содержащие миллиарды тонн полуразложившихся морских организмов, когда-то погибших и осевших на дно.

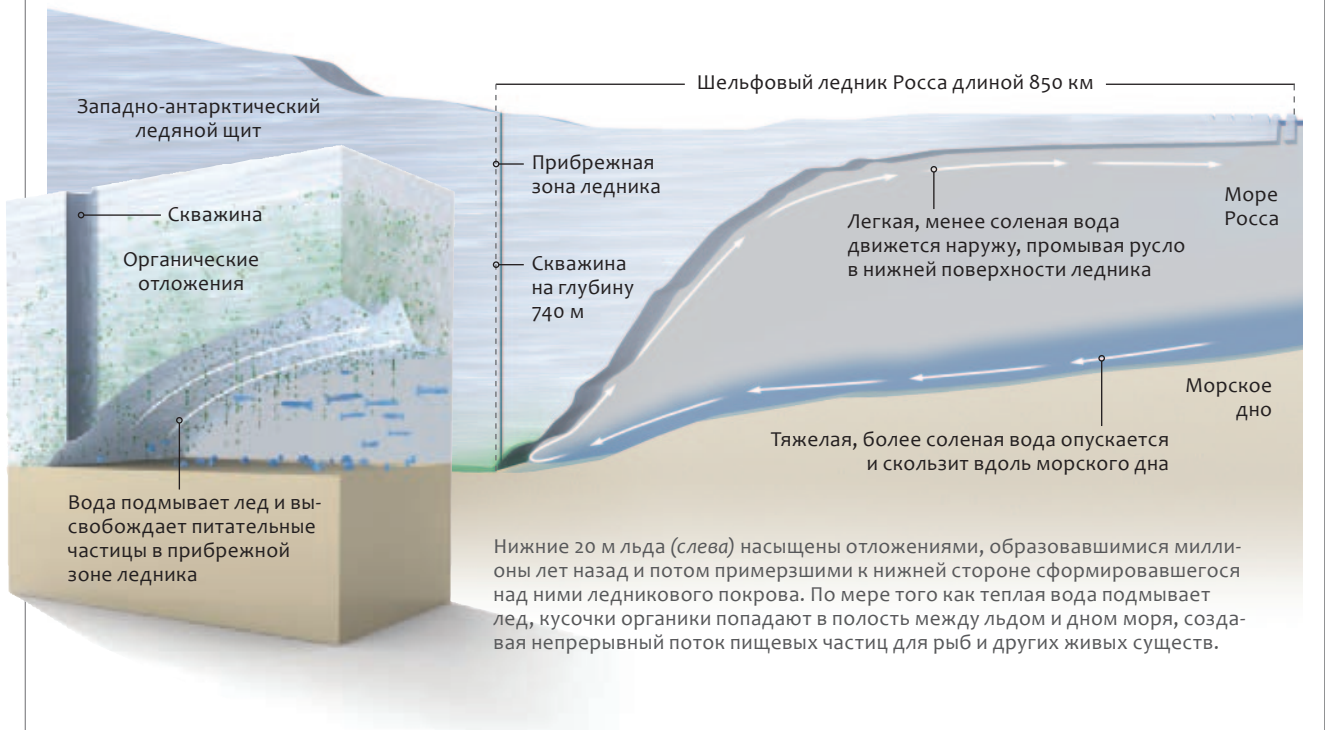
Та же группа ученых, что в январе пробурила скважину в прибрежной зоне, в начале 2013 г. пробурила ледниковый покров на расстоянии 100 км от берега и обнаружила подледное озеро, которое назвали озером Уилланса. Я тоже принимал участие в той экспедиции. Содержание органических соединений в древних морских отложениях на дне озера составило 0,3%, это сопоставимо с тем, что содержится в почве пустынных пастбищ в США. Кроме того, в озере были обнаружены

Замороженная пища

РЫБЫ ПОЛУЧАЮТ ЕДУ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСАДКОВ, КОТОРЫМ МИЛЛИОН ЛЕТ

Огромный Западно-антарктический ледяной щит (слева) медленно сползает с суши в воду, превращаясь в плавучий шельфовый ледник (справа). В месте перехода щита в шельфовый ледник расположена прибрежная зона ледника. Тяжелая соленая вода движется в сторону берега, где она плавит лед, создавая небольшую водяную щель, которая не замерзает при температуре -20°C из-за сильного давления, создаваемого 740 м

льда сверху. Ученые предполагали, что эта черная щель будет практически безжизненной, поскольку чтобы синтезировать органическое вещество, бактериям нужен свет, а до освещенной солнцем воды отсюда 850 км. Но в январе этого года здесь обнаружили рыб и других сложных живых существ, которые, по-видимому, получали пищу из органических остатков, падающих с нижней стороны ледника (врезка слева снизу).



микроорганизмы. В отсутствии света и фотосинтеза микробы получали энергию, используя кислород для окисления химических веществ, таких как аммиак и метан, просачивающихся из нижних разлагающихся слоев.

Может ли рыба в прибрежной зоне получать пищу из аналогичных источников?

Когда *Deep SCINI* спускался вниз, перед тем как он добрался до воды, зеркальные ледяные стены скважины вдруг стали непрозрачными и обрели коричневую окраску. Нижние 20 м льда были насыщены такими же богатыми органическим веществом частицами, какие были обнаружены в озере Уилланса. Они примерзли к нижней части ледника, когда он полз по Земле тысячи лет назад.

Когда *Deep SCINI* исследовал водный участок подо льдом, кусочки этих частиц отрывались с ледяного потолка и, спускаясь вниз, сверкали как падающие звезды. Ежедневно с нижней стороны подтаивает около миллиметра льда, и при этом высвобождаются пищевые частицы.

Приску заметил, что рачки бокоплавов жадно толпились в местах скопления пищевых частиц, высвободившихся около скважины, после того как

там прошел аппарат. Он предположил, что лед, который здесь полностью перекрывает поступление света, может обеспечить питанием местных животных, поставляя в экосистему органический детрит, который едят микробы из нижней части пищевой пирамиды. Он говорит, что почти на 100% уверен, что еда приходит именно сверху.

Приску считает, что ледники, ползущие с суши в сторону моря, создают медленный конвейер, по которому органические остатки с суши, вмёрзнув в лед, перемещаются к морю, при контакте с морской водой лед начинает таять и органика высвобождается. Грязный лед тает достаточно быстро, так что за то время, пока он проходит 40 км, он полностью избавляется от всех вмёрзших органических частиц. Гляциолог из Калифорнийского университета в Санта-Крузе Славек Тулячик (Slawek Tulaczyk), выступавший соруководителем экспедиции наряду с Пауэллом и Приску, считает, что такое удобрение воды способствует возникновению обитаемой среды далеко от кромки льда.

Эти изолированные экосистемы могут быть достаточно широко распространены. Более 20 тыс. км составляет протяженность участков

Illustration by BrynneChristie

антарктического побережья, покрытых плавучим льдом. Представьте, что вы смотрите на Антарктиду из космоса: если вы умеете видеть сквозь лед, то обнаружите вдоль всей береговой линии полосу шириной примерно 40 км с рыбой и другими животными. Это большая процветающая экосистема, а вовсе не безжизненный ад.

На обширных участках темного покрытого льдом океана, расположенных между данными оазисами и открытой водой, тоже могут существовать некоторые животные. В 1977 г. пробурили скважину сквозь шельфовый ледник Росса на расстоянии 475 км от открытого моря, глубина воды в этом месте составляла 240 м. В скважину спустили фотокамеры и сделали несколько сот фотографий морского дна, и на двух из них обнаружилась рыба. Кроме того, там были видны рачки бокоплавцы. Ким рассказывает, что тогда на это не обратили особого внимания. Но сейчас эти старые наблюдения становятся более значимыми, поскольку рыба обнаружена и в значительно более изолированных местах в прибрежной зоне.

Подледное озеро Восток расположено в восточной части Антарктики. Оно покрыто слоем льда толщиной 3,7 тыс. м и отрезано от воздуха и света уже 15 млн лет. В 1990-х гг. российские ученые пробурили скважину и, не доходя до воды, взяли пробу льда с поверхности озера

Сведения о распространении жизни подо льдом становятся все более увлекательными. По снимкам, сделанным недавно с самолета с помощью радара, можно представить трехмерную структуру ледника. Видно, что в прибрежной зоне лед подтаивает, вода вытекает из-под него и движется сотни километров вдоль дна ледника по строго определенному пути. Дэвид Холланд (David Holland), океанограф из Нью-Йоркского университета, говорит, что получается фактически река вверх дном. Перевернутая река промывает русла во льду, которые могут быть от 500 до 3 тыс. м шириной и 200 м высотой. Если по такой реке плывут органические частицы, которые высвободились из льда, то ими могут питаться организмы, живущие вдоль русла.

Изучая фотографии и образцы, добытые Зуком, и перевернутых актиний, собранных в 2010 г. при бурении в районе высоты Коулмена (данные были

опубликованы только в 2013 г., после большой задержки), биологи не перестают удивляться, как глубоко может забраться жизнь. Удивительно, что виды, живущие в столь экстремальных местах, совершенно не примечательны. Дэли говорит, что хотя среда обитания очень причудлива, но животные там самые обычные.

Актинии, например, принадлежат к хорошо известному семейству, представители которого встречаются по всему земному шару. В анатомии антарктических актиний нет ничего необычного — нет, например, никакой новой железы или другого органа, помогающего закрепляться на льду, не замерзая. Они выживают, поскольку накапливают соль вокруг своего тела и это может действовать как антифриз. Дэли отметила одно приспособление: в яйцах этих актиний содержится много жира, поэтому они плавают сверху, около ледяного потолка, а не опускаются вниз, на дно.

По словам сотрудника Канадского музея природы морского биолога Кэтлин Конлан (Kathleen Conlan), мелкие красные рачки, обнаруженные в январе этого года, — это, по видимому, прожорливые падальщики, принадлежащие к хорошо известной группе, обитающей на глубине у морского дна. По ее словам, если в Антарктике в экосистему существует приток органического вещества из мертвых частиц, падающих с ледяного потолка и стимулирующих рост микроорганизмов, то рачки могут их собирать.

Голубовато-коричневато-розоватую рыбу тоже узнали по фотографиям. Ихтиолог из Иллинойского университета в Эрбане и Шампейне Артур Девриз (Arthur

DeVries), изучавший антарктических рыб почти 50 лет, определил, что это антарктическая серебрянка, один из наиболее распространенных видов в здешних прибрежных водах. Как ни странно, эти рыбы не переносят замерзания.

Присутствие столь обычных существ в таких странных местах означает важную истину: условия во многих отдаленных и неизученных местах на Земле могут быть не настолько экстремальными, как считалось. Геофизик из Технологического института Джорджии Бритни Шмидт (Britney Schmidt) говорит, что людям кажется, будто они в курсе всего, что происходит на планете, однако январские открытия показали, насколько наивно так думать. По ее мнению, это должно послужить хорошим уроком.

На самом деле сложные формы жизни могут существовать в самых разных местах, которые мы считали необитаемыми. И на Земле, и на других

планетах и спутниках мы обычно судим о пригодности среды для жизни по наличию жидкой воды. Шмидт смотрит на это иначе. Она говорит, что ищет геологические источники энергии. Например, при движении литосферных плит или сползании ледника давно похороненное органическое вещество может высвободиться и послужить источником пищи. По словам Шмидт, такие этапы развития могут поддерживать жизнь.

Другие недавние открытия свидетельствуют в пользу такого подхода. Скопления червей были найдены на дне Мексиканского залива на участках метанового льда — это необычное твердое состояние природного газа, возникающее при высоком давлении. Несмотря на жизнь в столь необычном месте, черви питаются типичной для них пищей — бактериями. А бактерии, в свою очередь, едят метановый лед. Разные виды червей обнаруживали в подземных водах, бурлящих в трещинах коренных пород, которые залегают в 3 км ниже поверхности Земли. Эти черви питаются микробами, которые едят горные породы. Существуют даже живущие на глубине микроорганизмы, которые в некотором смысле пользуются атомной энергией, поскольку для получения энергии им нужен водород, образующийся в результате распада урана и других радиоактивных элементов.

Подледное озеро Восток расположено в восточной части Антарктики в 1,5 тыс. км от скважины, пробуренной в январе этого года. Озеро покрыто слоем льда толщиной 3,7 тыс. м и отрезано от воздуха и света уже 15 млн лет. В 1990-х гг. российские ученые пробурили скважину и, не доходя до воды, взяли пробу льда с поверхности озера. В 2013 г. биолог из Государственного университета в Боулинг-Грине, штат Огайо, Скот Роджерс (Scott Rogers) опубликовал результаты анализа ДНК, содержащейся во льду. Солидные полярные биологи скептически и с усмешкой отнеслись к этим данным. В публикации сообщалось, что были обнаружены фрагменты ДНК водных животных, в том числе актиний и ракообразных, которые, по-видимому, обитают в озере.

Тулячик говорит, что не надо торопиться отвергать результаты Роджерса. Несмотря на то что озеро расположено очень глубоко, туда, по-видимому, поступает достаточно кислорода из пузырьков в тающих сверху слоях льда.

Аналогичные процессы могут происходить на Европе — покрытом льдом спутнике Юпитера, у которого под 10–20-километровым слоем льда предположительно скрывается океан из жидкой воды. Шмидт с коллегами нашли доказательства существования сильных океанических течений внутри Европы, которые происходят за счет приливов, вызванных гравитационным притяжением Юпитера. Если эти течения теплые и вызывают таяние со стороны днища ледников, они могут

питать экосистемы, как это происходит в подледном озере Уилланса или в прибрежных зонах Антарктиды. Теплые течения могут вызывать движение тектонических плит, при этом лед, поступающий с поверхности этого спутника, используется в океане, обеспечивая постоянное поступление кислорода и других химических веществ.

Находка животных в прибрежных зонах ледников вызвала множество дополнительных вопросов. Пауэлл будет наблюдать океанические течения и оценивать, как происходит нагревание, чтобы понять, с какой скоростью тает лед и высвобождаются новые пищевые частицы. С помощью инструментов, которые Тулячик опустил в скважину, он сможет еженедельно получать информацию о течениях. После того как лед сверху замерзнет, эти приборы будут регистрировать изменения наклона нижней поверхности ледника, которые возникают при ежедневных приливах, и передавать информацию через спутниковую связь. Приску и Кристнер вскрыют рачков и проведут ДНК-анализ содержимого их кишечника, чтобы увидеть, чем питаются эти животные. Кроме того, они будут анализировать ДНК микроорганизмов из воды и с древних органических остатков, чтобы определить, что используется для получения энергии в этой пищевой цепи, — аммоний, соединения серы или другие химические вещества.

Пауэлл надеется вернуться в шельфовую зону с более крупным телерадиоуправляемым аппаратом, который сможет дальше заходить под лед, снимать видео и измерять химический состав воды. Зук мечтает набрать несколько живых рыб и других животных. Но сейчас он уже очень доволен тем, как у него получился *Deep SCINI*. В январе, собирая вещи, он сказал мне: «Для Антарктиды есть правило: никакие новые крупные технологические проекты с первого раза не работают. Удача *Deep SCINI* — это маленькое чудо».

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Фокс Д. Свидетельство таяния льдов Антарктики // ВМН, № 9, 2012.
- A Microbial Ecosystem Beneath the West Antarctic Ice Sheet. Brent C. Christner et al. in Nature, Vol. 512, pages 310–313; August 21, 2014.
- О дальнейших открытиях, касающихся жизни подо льдом Антарктики, см. на сайте проекта WISSARD: www.wissard.org
- Подробнее о важнейшем открытии в прибрежной зоне шельфового ледника Росса см. по адресу: ScientificAmerican.com/jul2015/fox



ТО ЧТО НАС НЕ УБИВАЕТ...

ЗДОРОВЬЕ МОЗГА

Вещества, которые растения выделяют для борьбы с вредителями, могут защищать наш мозг от некоторых серьезных заболеваний

Марк Мэттсон

ОБ АВТОРЕ

Марк Мэттсон (Mark P. Mattson) — руководитель лаборатории нейронаук в Национальном институте старения и профессор нейробиологии в Школе медицины Университета Джонса Хопкинса. Благодаря его открытиям мы стали лучше понимать, что происходит с нервными клетками при старении.



К

огда возникает вопрос, как потребление большого количества фруктов и овощей может улучшить наше здоровье, большинство людей упоминают антиоксиданты. Это логично, поскольку с их помощью нейтрализуются свободные радикалы, которые повреждают клетки при некоторых серьезных болезнях, таких как рак, диабет и сердечно-сосудистые заболевания.

Я нейробиолог, изучаю нарушения работы мозга. Естественно, я знаю, что свободные радикалы повреждают, а иногда и убивают нейроны. С другой стороны, мне известно, что у людей, регулярно питающихся овощами, фруктами и другими растительными продуктами с высоким уровнем антиоксидантов, мозг действительно более здоровый и они реже подвержены нейродегенеративным заболеваниям. Но с антиоксидантами все оказывается не так просто.

На самом деле, в строго контролируемых экспериментах антиоксиданты, такие как витамины С, Е и А, не предотвращали и не смягчали болезни у животных и человека. Как же тогда фрукты и овощи могут защитить наше здоровье?

В последнее время выяснилось, что это тесно связано с механизмами защиты от вредителей, сформированными растениями за миллионы лет эволюции. Горькие вещества в растениях играют роль естественных пестицидов. Когда мы едим растительную пищу, мы потребляем эти яды в низкой концентрации, что вызывает в наших клетках слабую стрессовую реакцию, схожую с тем, что бывает при физической нагрузке или голодании. Клетки от этого не только не умирают, но даже становятся сильнее из-за того, что переживаемый ими стресс помогает им подготовиться

к более сильным воздействиям. Такой процесс укрепления клеток называют гормезисом, и сейчас появляется все больше и больше исследований, в которых именно с ним связывают благотворное влияние овощей и фруктов на здоровье человека. Поняв, как это работает, мы сможем разработать новые методы лечения и профилактики наиболее разрушительных заболеваний мозга, таких как инсульт, болезнь Альцгеймера и Паркинсона.

Стресс — это хорошо

Мы с коллегами несколько окольным путем узнали о роли гормезиса в мозге. В начале 1990-х гг. нам довелось работать в Центре изучения старения им. Сандерса — Брауна при Кентуккийском университете. Исследуя, как антиоксиданты могут защищать от болезни Альцгеймера, мы основывались на предположении, что они могут быть полезны, потому что знали, что при болезни Альцгеймера накапливается бета-амилоидный пептид, который разрушает клетки в культуре нервной ткани, и в этом деструктивном процессе участвуют свободные радикалы. К сожалению, когда врачи-клиницисты под руководством сотрудников Калифорнийского университета в Сан-Диего Дугласа Галаско (Douglas Galasko) и Поля Айзена (Paul Aisen) начали тестировать большие дозы

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Растения не могут убежать от хищников. Поэтому они вырабатывают различные химические вещества, отпугивающие насекомых и других желающих съесть растение.
- Мы потребляем эти ядовитые вещества в малых дозах вместе с фруктами и овощами. Их воздействие вызывает слабую стрессовую реакцию в наших клетках, и они становятся более жизнестойкими.
- Процесс такой адаптации к стрессу называется гормезисом. Он полезен для нашего здоровья. Например, потребляя брокколи и чернику, мы получаем дополнительную защиту от заболеваний мозга.

антиоксидантов, оказалось, что они не помогают пациентам с болезнью Альцгеймера. Тогда мы переключились на изучение, казалось бы, другой проблемы — и неожиданно получили новую гипотезу о причинах пользы растительной пищи для здоровья мозга.

Впрочем, как и многие другие, мы обратили внимание, что у людей, которые регулярно занимаются спортом, потребляют относительно мало калорий и часто получают интеллектуальную нагрузку, мозг работает гораздо лучше, чем у тех, кто придерживается противоположного образа жизни. Не единый ли молекулярный механизм обеспечивает влияние диеты, физкультуры и умственной нагрузки на улучшение работы мозга и устойчивость к болезням?

В 1999 г. вместе со мной это исследование начинала Аннадора Брюс-Келлер (Annadora Bruce-Keller), тогда сотрудник моей лаборатории, а сейчас профессор Пеннингтонского Центра биомедицинских исследований в Университете штата Луизиана. Мы обнаружили, что нейроны мозга крыс, питающихся через день, устойчивы к действию нейротоксина, вызывающего симптомы, схожие с эпилепсией и болезнью Хантингтона, а у крыс, питавшихся нормально, такой устойчивости не было. Затем вскоре меня пригласили руководить лабораторией нейронаук в Национальном институте старения, где мы выяснили, что такое голодание через день оказывает защитное действие на животных, которых используют как модели для изучения инсульта, болезни Альцгеймера и Паркинсона.

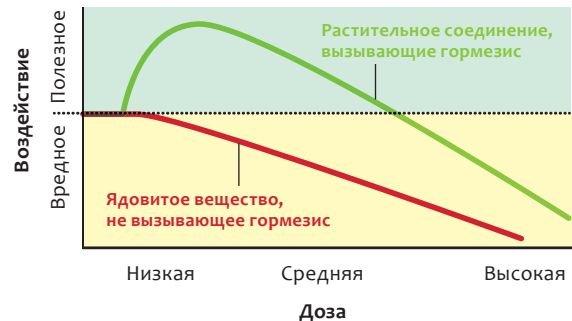
Мы начали выяснять, почему голодание так полезно мозгу. Оказалось, что при отсутствии пищи нейроны включают молекулярные механизмы, защищающие от свободных радикалов и накопления бета-амилоида. Эта защитная система запускает выработку необходимых для выживания клетки нейротрофинов, например нейротрофического фактора мозга (*BDNF*), а также других белков, способствующих экономичному использованию энергии и предотвращающих накопление поврежденных молекул.

Если посмотреть на это открытие с эволюционной точки зрения, то окажется, что совсем не удивительно, что периодическое голодание полезно. Оно создает слабый стресс, переключающий мозг в режим, при котором защита нейронов имеет первостепенное значение, это позволяет животному продолжать поддерживать активность, чтобы искать пищу, даже тогда, когда еды не хватает и на ее поиски требуется много энергии.

Заинтересовавшись полезным влиянием стресса, мы начали изучение неврологических последствий наличия растений в рационе. Мы были очень заинтригованы опубликованными в 1970-х гг. в научных журналах сообщениями о том, что

СНАЧАЛА ХОРОШО, ПОТОМ ПЛОХО

Во фруктах и овощах часто в небольшой концентрации содержатся ядовитые вещества, которые полезны для здоровья при употреблении в небольших количествах (механизм их положительного действия называется гормезисом), но при увеличении дозы становятся ядовитыми. Оба этих эффекта можно увидеть на графике, имеющем двухфазный характер. В этом заключается отличие этих соединений от, скажем, ртути и других ядовитых веществ, которые вредны в любом количестве.



содержащийся в некоторых морских водорослях нейротоксин каиновая кислота активирует глутаматные рецепторы на поверхности нейрона.

Наша исследовательская группа и другие ученые уже выяснили, как удивительно действует глутамат при голодании и физической нагрузке. Слишком сильная стимуляция глутаматных рецепторов может привести к повреждению или гибели нейрона. Умеренная же активация рецепторов запускает в нейроне каскад химических реакций, которые играют важнейшую роль в обучении и памяти, а также в защите нейронов. В результате этих открытий возникает вопрос, не могут ли нейротоксины, содержащиеся в малых дозах в овощах и фруктах, благотворно влиять на здоровье, вызывая аналогичный слабый стресс в клетках мозга.

Внимание, опасность!

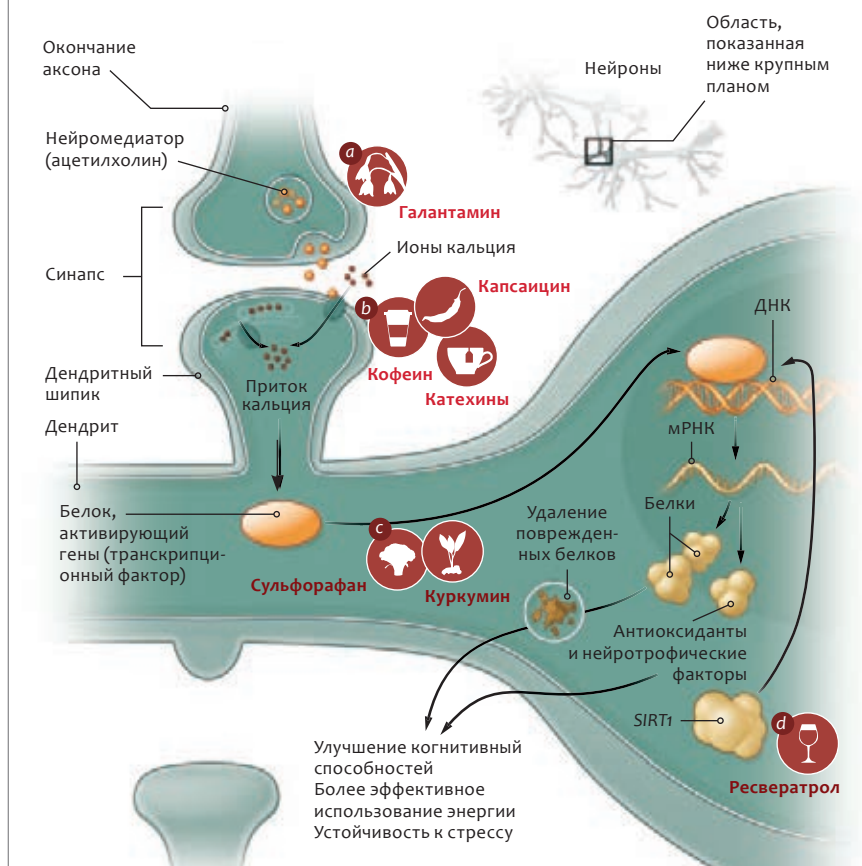
Польза овощей и фруктов для здоровья человека — это побочный результат миллионов лет войны растений с теми, кто хочет их съесть, в первую очередь с насекомыми. Чтобы выжить, растениям нужно было найти способ предотвратить собственное истребление. За сотни миллионов лет эволюции растения научились производить естественные пестициды.

Эти вещества, как правило, не убивают насекомых: растениям, в общем-то, все равно, умрут их враги или нет, главное — прогнать их так, чтобы они не вернулись. Один из распространенных способов — воздействовать на нервную систему врага. Вещества, вырабатываемые растениями, действуют на сенсиллы в ротовом аппарате насекомого, которые выполняют ту же роль, что и вкусовые

Как помогают вещества растительного происхождения

ФОРМИРОВАНИЕ ЖИЗНЕСТОЙКОСТИ МОЗГА

Исследователи выяснили, как вещества, вызывающие гормезис, влияют на биохимические процессы в клетке, улучшая работу нейрона. Галантамин, выделенный из подснежников, увеличивает содержание медиатора ацетилхолина (а), которого недостаточно при болезни Альцгеймера. После высвобождения ацетилхолина из окончания аксона одного нейрона он связывается с рецепторами, расположенными на дендритном шипике другого нейрона. Кофеин, капсаицин из красного перца и катехины из чая (b) открывают каналы на мембране и запускают внутрь клетки ионы кальция, которые активируют синтез белка (с помощью ДНК и РНК). Сульфорафан из брокколи, куркумин из куркумы и ресвератрол из винограда, попав внутрь клетки, тоже меняют активность генов или белковых регуляторов экспрессии генов (SIRT1). Эти каскады биохимических реакций приводят к синтезу антиоксидантов или нейротрофических факторов и удалению поврежденных белков, что повышает устойчивость клетки к стрессу, регулирует использование энергии и в целом улучшает когнитивные способности.



Уилл Робинсон и его семьи в космосе, за пределами Солнечной системы. Когда Робинсоны высаживались на далекой планете и исследовали территорию вокруг корабля, их помощник, мудрый робот, предупреждал о потенциальных опасностях. В 1968 г. вышла серия под названием «Великий бунт овощей», в которой робот предупреждал об угрозе со стороны смертельно опасных растений.

Наша система оповещения подобна этому роботу. Она сообщает мозгу о наличии ядовитых веществ. Горький вкус многих растений предупреждает нас не потреблять слишком много листьев, корней или плодов с таким вкусом или даже заставляет нас полностью отказаться от такой еды. Из-за этой врожденной особенности маленькие дети не любят есть брокколи. Насекомых такие неприятные вещества отгоняют полностью, у нас же только ограничивают потребление.

Народные целители методом проб и ошибок (иногда фатальных) выявили важные лечебные свойства растений с таким вкусом. Сейчас фармакологи, токсикологи и биохимики подтверждают, что выделенные из растений вещества, ядовитые при потреблении в больших дозах, в малых количествах оказывают благотворное влияние на здоровье, вызывая гормезис.

Когда ученые оценивали воздействие вызывающих гормезис веществ, оказалось что оно

рецепторы на нашем языке. Сигнал от сенсилл поступает в мозг, где принимается решение, есть это растение или не есть.

Хотя наибольшую опасность для растений представляют насекомые, наши древние обезьяны предки, жившие в тропических лесах, тоже использовали корни, плоды и листья. Некоторые растения могли быть едой или лекарством, но другие вызывали тошноту, рвоту и даже смерть.

Поэтому у нас появилась система оповещения самих себя об опасности. Мне это напоминает поведение одного героя из старого телевизионного сериала «Затерянные в космосе», повествующего о приключениях девятилетнего мальчика по имени

имеет двухфазный характер. Это можно проиллюстрировать графиком зависимости силы полезного воздействия от дозы вещества, который имеет форму перевернутой буквы U. Вначале линия графика идет вверх, это отражает пользу от потребления таких веществ в малых и средних дозах. Затем она постепенно уходит вниз, что показывает усиление токсичности при употреблении вещества в большом количестве. В бразильском орехе, например, содержится селен, поэтому если есть этот орех в больших количествах, то можно отравить печень и легкие. Однако если съесть совсем немного, то организм получит необходимое ему вещество, которое входит в состав белка,

защищающего нас от рака и болезней сердца. Этот пример показывает, как работает гормезис и в чем его отличие от гомеопатии, которую используют без веских доказательств эффективности и при отсутствии правдоподобного механизма влияния сверхмалых доз вещества на заболевание.

По-видимому, в мире растений практически повсеместно встречаются вещества, вызывающие некоторую не слишком сильную реакцию организма, достаточную для эффекта гормезиса. Профессор токсикологии в Массачусетском университете в Амхерсте Эдвард Калабриз (Edward Calabrese) большую часть своей жизни занимается выявлением веществ, вызывающих гормезис. Он провел кропотливый анализ более чем 10 тыс. статей, опубликованных за последние 30 лет, по биологии, токсикологии и медицине. В его списке оказались и кофеин, и опиаты, и другие соединения, оказывающие влияние на мозг. Калабриз основал научное общество и журнал, посвященный исследованиям гормезиса. Мы с ним оба интересуемся, как в процессе эволюции клетки и организмы научились реагировать на умеренный стресс и как эта способность влияет на здоровье человека. В итоге мы вместе подготовили книгу по этой теме.

Некоторые исследователи сейчас занимаются пересмотром результатов ранних экспериментов по изучению пользы растительных антиоксидантов для мозга и в целом для здоровья. Теперь они проверяют, не могло ли положительное влияние быть результатом гормезиса. По-видимому, эти и другие исследования подтверждают, что клеточный стресс, вызванный веществами растительного происхождения, дополняет, а в некоторых случаях и превосходит действие антиоксидантов. Это еще не означает, что про антиоксиданты можно забыть. Скорее всего, от биохимических процессов, связанных с гормезисом, зависит, когда антиоксиданты могут воздействовать на клетки мозга.

В качестве примера исследований в новом направлении можно привести работу нейробиолога Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Грегори Коула (Gregory Cole). Более десяти лет назад он взял один из ингредиентов соуса карри, куркумин, и провел эксперимент, который, как предполагалось, мог привести к появлению нового способа лечения болезни Альцгеймера. Когда генно-инженерным мышам с симптомами болезни Альцгеймера давали куркумин, у них наблюдались меньшие повреждения мозга от свободных радикалов, а также снижение накопления бета-амилоида. Сначала Коул решил, что куркумин

убирает свободные радикалы. Однако, как выяснилось из последующих экспериментов, выполненных в моей лаборатории, на самом деле куркумин вызывает легкий стресс в клетках мозга. Стресс, в свою очередь, запускает выработку ферментов, защищающих клетку и от свободных радикалов, и от накопления вредного белка. По всей видимости, куркумин положительно влияет на мозг во многих случаях. В других исследованиях, также выполненных на животных, было показано, что куркумин уменьшает повреждения мозга после инсульта и даже облегчает депрессию и снижает тревожность.

Многие другие ингредиенты карри также могут быть полезны для полуторакилограммового органа, размещенного внутри нашего черепа. Чеснок и острый перец содержат вещества, открываю-

В регионах, где широко распространено потребление чеснока и острой пищи, у людей, как правило, и к старости у мозга сохраняется отличная рабочая форма. Однако еще только предстоит выяснить, обусловлено ли это именно растительными веществами или же другими особенностями питания и образа жизни

щие ионные каналы на мембране нейрона и впускающие ионы кальция внутрь клетки. Открытие этих каналов приводит к повышению уровня электрической активности нейрона. На животных моделях показано, что этот стресс защищает нейроны от гиперактивности, встречающейся при инсультах. В регионах, где широко распространено потребление чеснока и острой пищи, у людей, как правило, и к старости у мозга сохраняется отличная рабочая форма. Однако еще только предстоит выяснить, обусловлено ли это именно растительными веществами или же другими особенностями питания и образа жизни.

Очень вероятно, что во всех этих исследованиях свою роль играет гормезис, и это значительно усложняет картину взаимодействия свободных радикалов и антиоксидантов. Куркумин сам по себе не влияет на свободные радикалы, но он активизирует ряд ферментов и другие резервные средства, которые уже защищают клетку. Наличием этих

строго скоординированных процессов можно объяснить, почему пищевые добавки с антиоксидантами часто неэффективны и даже вредны.

Пропитывание организма такими добавками может затормозить естественную стрессовую реакцию в клетках. Ученые из Йенского университета им. Фридриха Шиллера вместе с коллегами в 2009 г. показали, что у людей, принимающих антиоксидантные препараты на фоне занятий спортом, за 30 дней не произошло улучшения регуляции уровня глюкозы в крови и других показателей здоровья, в отличие от тех, кто не принимал никаких добавок. Из этого следует, что антиоксидантные добавки, мешая гормезису, могут сводить на нет полезный эффект от физических упражнений.

Сейчас мы стали лучше разбираться в том, за счет каких биохимических реакций при потреблении растительных продуктов повышается общая стойкость организма. Один из путей обеспечивается взаимодействием двух связанных друг с другом белков (*Nrf2* и *Keap1*), которые обычно находятся в цитоплазме (область клетки за пределами ядра). Под действием некоторых растительных

нервных клеток протестировали их на способность активировать один или несколько путей адаптации к стрессу. Оказалось, что некоторые из них активируют *Nrf2*-каскад и демонстрируют классический двухфазный ответ гормезиса. Особенно эффективным оказался плумбагин — вещество, содержащееся в черном орехе и цветах тропических растений. Мы обнаружили, что при моделировании инсульта на мышцах плумбагин хорошо снижал размер повреждений и улучшал восстановление мозга. Далее мы вместе с другими исследователями планируем проверить нейропротекторные свойства плумбагина и сульфорафана у людей.

Другой важный компонент системы защиты организма — семейство белков сиртуинов. Сотрудник Массачусетского технологического института Леонард Гуаренте (Leonard Guarente) показал, что белок *SIRT1* из семейства сиртуинов увеличивает время жизни дрожжевых клеток, ограничивая потребление калорий. Ресвератрол, содержащийся в красном винограде и вине, вероятно, вызывает активацию *SIRT1*, который затем запускает каскады реакций, приводящих к гормезису. В исследованиях на животных было показано, что ресвератрол защищает головной и спинной мозг от повреждений, возникающих вследствие затруднения кровообращения при некоторых видах инсульта. Однако не все исследования дают положительные результаты. Ученым еще предстоит выяснить, могут ли некоторые реакции, запускаемые ресвератролом, ускорять гибель некоторых нейронов.

Эти работы дополняются другими исследованиями, где показано, что для благотворного влияния на клетку важно время стрессовой реакции. Прием растительной пищи и другие факторы, приводящие к гормезису, например активные физические упражнения, должны перемежаться периодами отдыха для роста и восстановления клеток. Потребление фруктов и овощей переводит организм в стрессоустойчивый режим, при котором в целом снижается производство новых белков, но увеличивается синтез специфических белков, необходимых для выживания клетки, и усиливается уничтожение поврежденных молекул.

В подобном состоянии клетки могут находиться не так уж и долго, до тех пор, пока им не потребуются новые белки для других целей, после этого они перейдут в состояние избыточного стресса и начнут разрушаться. Как только стресс-факторы исчезнут, синтез белка усилится, начнется рост клетки и восстановление возможных молекулярных повреждений. У нейронов во время периода восстановления могут формироваться новые связи между клетками. По-видимому,

Веществ, например куркумина или сульфорафана из брокколи, *Keap1* отсоединяется от *Nrf2*, который затем перемещается в ядро клетки. Там он активирует гены, кодирующие антиоксидантные ферменты, которые ликвидируют свободные радикалы. Таким образом, сульфорафан активирует *Nrf2*, который запускает каскад реакций, чтобы избавить организм от избытка свободных радикалов. В культуре клеток сетчатки в чашке Петри он же защищает клетки от воздействия ультрафиолета, приводящего к дегенерации желтого пятна.

В своих собственных исследованиях я тоже опираюсь на эту способность растительных соединений активировать *Nrf2*. Около семи лет назад я наткнулся на книгу под названием «Антифиданты против насекомых» (*Insect Antifeedants*), написанную индийским ученым Опендером Коулом (Opender Koul), специалистом по естественным пестицидам, вырабатываемым растениями. Опендер Коул написал о более 800 соединений, выделенных из растений, и показал, как они мешают насекомым съесть растения. В моей лаборатории мы взяли 50 из этих антифидантов и на культуре

Веществ, например куркумина или сульфорафана из брокколи, *Keap1* отсоединяется от *Nrf2*, который затем перемещается в ядро клетки. Там он активирует гены, кодирующие антиоксидантные ферменты, которые ликвидируют свободные радикалы. Таким образом, сульфорафан активирует *Nrf2*, который запускает каскад реакций, чтобы избавить организм от избытка свободных радикалов. В культуре клеток сетчатки в чашке Петри он же защищает клетки от воздействия ультрафиолета, приводящего к дегенерации желтого пятна.

Вокруг представлений о гормезисе ведутся споры. Требуется выяснить, где кончается благотворный эффект и начинается токсический

потребление фруктов и овощей, так же как и физические упражнения, сменяющиеся периодом отдыха, могут стимулировать образование новых нейронов из стволовых клеток, расположенных в гиппокампе — структуре мозга, лежащей в глубине коры. Новые нейроны затем растут, формируют контакты с уже существующими клетками, и при этом эффективно улучшаются память и способность к обучению. На практике для восстановления клеток после дневной физической нагрузки или потребления растительной пищи достаточно обычного ночного сна.

Лекарства из народной медицины

Благодаря открытию гормезиса мы можем не только искать новые препараты, но и объяснять действие уже известных и эффективных лекарств. В цветках подснежника и белоцветника содержится галантамин — соединение, улучшающее память за счет повышения уровня ацетилхолина, одного из основных медиаторов мозга (медиаторы — вещества, передающие сигнал между нейронами). Сейчас галантамин — это выписываемое по рецепту средство, которое оказывает умеренное благоприятное воздействие на симптомы болезни Альцгеймера. Он создает в нейронах слабый стресс, что защищает их от нейродегенерации и вместе с тем улучшает химическую и электрическую передачу сигналов от клетки к клетке.

В народной медицине можно найти новые средства, подходящие для лечения гормезисом. Вещество под названием *Woo Hwang Chung Sim Won*, используемое в корейской традиционной медицине при инсульте, может защищать нейроны. Оно оказывает стрессовое воздействие, в результате которого синтезируются некоторые белки, например, *Bcl-xl*, защищающие клетки от гибели. Как показали контролируемые клинические исследования, соединения, выделенные из галлюциногенных растений, в небольших дозах могут использоваться при лечении тревожных состояний, депрессии и наркотической зависимости.

Вокруг представлений о гормезисе ведутся некоторые споры. Требуется выяснить, могут ли ученые адекватно определить, где кончается благотворный эффект и начинается токсический? Точное пороговое значение дозы, после которой наступает отравление, определяется очень индивидуально, что затрудняет использование эффекта гормезиса для лечения. Похожий скептицизм возникал, когда обсуждалось лечение с помощью радиации, например рентгеновских лучей. Было показано, что в малых дозах излучение благоприятно действовало на здоровье лабораторных животных. Но в результате длительных научных совещаний использование радиационного излучения даже в малых дозах было признано небезопасным для человека.

Поскольку представление об эффективности многих имеющихся в продаже растительных препаратов может быть неадекватно оптимистичным, для определения пользы гормезиса для здоровья потребуются строгие рандомизированные клинические испытания. В 1998 г. был основан Национальный центр комплементарной и альтернативной медицины, в том числе и для того, чтобы помочь поискам финансирования для таких проектов.

Из-за этих сложностей дальнейшее исследование гормезиса не должно прерываться. Вещества растительного происхождения, вызывающие клеточный стресс, могут быть лучше традиционных фармакологических препаратов, у которых часто бывают побочные эффекты, приводящие к нарушению нормальной работы нервных клеток. Например, диазепам (валиум) действует на мозг, снижая тревожность, но также и вызывая сонливость. Он как бы выключает нервные связи, которые остаются в таком состоянии, пока действие вещества не кончится. Препарат, действие которого основано на гормезисе, в правильной дозе не оказал бы отрицательного влияния на работу нервных связей и от него можно было бы ожидать меньших побочных эффектов.

Несколько лабораторий, как и моя, занимаются сейчас разработкой лекарств, основанных на эффекте гормезиса. Мы уже получили обнадеживающие результаты в исследованиях на трансгенных животных, на которых моделируются отдельные нейродегенеративные заболевания человека. В предварительных исследованиях выяснилось, что эти препараты защищают нервные клетки, улучшая их способность противостоять атаке свободных радикалов и повышая устойчивость к молекулярным повреждениям, наносящих серьезный ущерб мозгу. Возможно, следующее поколение лекарств от заболеваний мозга будет сделано из яблочной кожуры, грецких орехов и приправы карри. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Recruiting Adaptive Cellular Stress Responses for Successful Brain Ageing. Alexis M. Stranahan and Mark P. Mattson in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 13, pages 209–216; March 2012.
- Neurotrophic Natural Products: Chemistry and Biology. Jing Xu, Michelle H. Lacoske and Emmanuel A. Theodorakis in *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 53, No. 4, pages 956–987; January 20, 2014.
- Mitohormesis. Jeanho Yun and Toren Finkel in *Cell Metabolism*, Vol. 19, No. 5, pages 757–766; May 6, 2014.
- Рассказ Мэттсона о влиянии голодания на мозг см. по адресу: ScientificAmerican.com/jul2015/mattson



ДОБЫЧА НЕФТИ: битуминозные пески Альберты — один из немногих регионов мира, где нефть можно выкапывать из-под земли



ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Парниковая Трясина

Возможно, судьбу разработок битуминозных песков Альберты, а заодно и климата нашей планеты решит нефтепровод Keystone XL

Дэвид Биелло

Мигают красные лампочки, но Бен Джонсон (Ben Johnson) не обращает на это ни малейшего внимания. Высокий, худой, повидавший многое инженер спокойно следит за мониторами на пульте управления, рассказывая о жизни на разработках нефтеносных песков Альберты в Канаде. Его задача — добывать глинистый рудный раствор и извлекать битум, смолоподобные полезные ископаемые, которые можно переработать в обычную сырую нефть. Бен и двое его коллег обслуживают станцию мониторинга, расположенную у основания конусовидного сооружения величиной с трехэтажный дом. Глинистый раствор и горячая вода текут в центр перевернутой воронки, битум поднимается на вершину и изливается на окружающие решетки.

Однажды в 2012 г. битум вскипел так быстро, что полился вниз по сторонам конуса и затопил нижнюю часть строения. Чтобы подобное больше не повторилось, датчики следят за температурой, давлением и другими параметрами, и если что-то пойдет не так, срабатывает сигнал тревоги. Джонсон поясняет, что это происходит настолько часто — до тысячи сигналов в день, — что инженеры просто отключают звук, иначе постоянное дзиньканье могло бы свести их с ума.

Джонсон обслуживает один из множества сепараторов на разработках *North Steepbank* компании *Suncor Energy*, маленького винтика современного горнодобывающего производства, основанного на битуминозных песках Альберты, занимающих территорию размером с Флориду. Ввиду высоких цен на нефть, сложившихся в последнее десятилетие, разработки таких нефтеносных песков стали рентабельны и Канада быстро расширила производство. Только в 2012 г. из Альберты было экспортировано нефти на \$55 млн, главным образом в США, поэтому не удивительно, что команда Джонсона не отвлекается на аварийные сигналы.

Надо отметить, что скорость добычи нефти из битуминозных песков Альберты вызывает тревогу у климатологов. Выбросы двуокиси углерода при сгорании ископаемых видов топлива быстро ведут мир к тому, что он может достичь порогового значения парникового эффекта — концентрации газов в атмосфере в 450 частиц на млн, что соответствует потеплению на 2° С и более, а за этой чертой, как опасаются некоторые ученые, изменение климата может оказаться катастрофическим. Каменный уголь — более значительный источник ископаемого углерода, а для извлечения и очистки нефти из битуминозных песков Альберты требуется больше электроэнергии, чем для традиционной нефтедобычи, что добавляет дополнительный объем к выбросам парниковых газов. Добыча из нефтеносных песков растет гораздо быстрее, чем из большинства других источников нефти. Освобождение углерода, заключенного в залежах этих песков, скорее всего, отбросит всякую надежду избежать порога в 2° С.

Возможно, в настоящее время судьбу битуминозных песков Альберты, а вместе с ними и грядущих изменений климата определяет решение в отношении планируемого нефтепровода *Keystone XL*, который пройдет от Альберты вдоль Мексиканского залива к нефтеперегонным заводам в Техасе. Ему суждено стать основным трубопроводом сырой нефти из битуминозных песков. В течение десяти лет и более сторонники нефтяных разработок

в Альберте утверждали, что битуминозные пески — очень нужный США источник нефти, неподвластный тревогам, бушевавшим в Средней Азии и другие точки мира. Все, что необходимо, — наладить транспортировку нефти, экстрагированной из битуминозных песков, до мест ее использования в США и далее в Европе и Азии. И если не смогут построить нефтепровод, подобный *Keystone XL*, то можно будет задействовать другие линии нефтепроводов или железные дороги. Но независимые эксперты полагают, что *Keystone XL* имеет решающее значение в последующем развитии нефтяного производства в Альберте.

Однако этот момент был совершенно не ясен, когда президент Барак Обама отложил решение по строительству нефтепровода *Keystone XL* во время выборов. Когда вопрос будет поднят вновь, придется решать еще больше проблем.

Триллионная тонна

Рассматривая местность над разработками *Suncor* зимой с высоты, я не мог не признать, что здесь небольшое глобальное потепление было бы в самый раз. Горнодобывающая площадка расположена в промышленной зоне бореальных лесов приблизительно в 30 км к северу от Форт-Макмюррей, быстро растущего города, где снять квартиру стоит, как на Манхэттене, а водители грузовиков зарабатывают \$100 тыс. в год. Внизу на гравийной дороге я вижу вереницу карьерных самосвалов *797Fs*, самых больших в мире, каждый из которых везет 400 т слежавшегося пропитанного нефтью песка. (Женщины-водители здесь в большом почете, поскольку их легче снарядить, но их трудно найти, ведь в городе мужчин в три раза больше чем женщин.) Грузовики снуют взад и вперед между мощным электрическим одноковшовым экскаватором и сепараторной установкой Джонсона, их полный маршрут занимает 40 минут.

Самосвалы сбрасывают рудный материал в промышленную дробилку величиной с малогабаритный автомобиль, из которой он далее поступает на громадный конвейер, а тот приносит смолянистый песок на сепаратор, за которым следит Джонсон. Порция рудного материала проходит путь от самосвала до извлечения битума всего лишь за 30 минут. Этот черный и липкий, но очищенный от песка битум вскипает и пенится вверх сепаратора, собирается и затем течет вниз по трубопроводу к перегонным мини-заводам, где при высоких температурах удаляется углерод и образуется углеводородное соединение, близкое по составу к сырой нефти. При другом способе битум смешивается с более легкими углеводородами в приземистых огромных резервуарах нефтехранилища, получившаяся смесь известна под названием дилбита (смесь битума с конденсатом), она достаточно жидкая, чтобы самостоятельно течь на большие

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В результате извлечения из битуминозных песков нефти и сжигания ее в качестве топлива образуется огромное количество двуокиси углерода.
- Чтобы предотвратить поднятие более чем на 2° С средней температуры в мире, что может вызвать катастрофическое изменение климата, суммарные выбросы углерода не должны превышать 1 трлн т.
- Атмосфера Земли уже более чем на полпути к триллионной тонне, расширение производства на битуминозных песках может ускорить достижение этой черты.
- Если трубопровод *Keystone XL* будет построен, раскрутится производство на битуминозных песках, подталкивая планету к достижению ее эмиссионного предела.

расстояния по трубопроводу наподобие *Keystone XL*, связанному с нефтеперерабатывающими заводами США.

Разработки *North Steepbank* компании *Suncor Energy* представляют только небольшую часть мировой добычи нефти из битуминозных песков, это один из комплексов компании, выдающий более 300 тыс. баррелей нефти в день. Компания *Suncor* добывает 30% всей нефти, производимой в Альберте из битуминозных песков, что сегодня составляет почти 2 млн баррелей в день, равно продукции более 80 тыс. нефтяных скважин и покрывает 1/20 потребностей США. Горные разработки с огромными озерами токсических жидких отходов и ярко-желтыми массивами свободной серы уже столь велики, что видны из космоса как промышленные участки, непрерывно тянущиеся в зоне бореальных лесов.

Следует сказать, что невидимое влияние этих горнодобывающих предприятий на окружающую среду может оказаться самым что ни на есть серьезным. Чтобы избежать потепления в 2° C, надо понимать, что человечество стоит перед лицом того, что некоторые ученые называют бюджетом углерода: рассчитанное предельное значение суммарных выбросов двуокиси углерода — 1 трлн т.

Бюджет углерода придумали физик Майлс Аллен (Myles Allen) из Оксфордского университета и еще шесть других ученых. В 2009 г. группа ученых собрала воедино данные наблюдений за растущими температурами и ввела их в компьютерные модели будущих климатических изменений, которые среди прочего указывали на тот факт, что CO_2 в атмосфере сохраняется, продолжая поглощать тепло на протяжении столетий. Бюджет в 1 трлн т включает весь углерод, который человечество может выпустить без ущерба, начиная с сегодняшнего дня до 2050 г., если мы хотим оставаться ниже порогового значения потепления. Не важно, как быстро мы достигнем этого предела. Важно не превышать его. «Триллион тонн углерода — вот что главное, — утверждает ныне находящийся в отставке климатолог NASA Джеймс Хансен (James E. Hansen), который с 1988 г. не устает говорить об изменении климата и недавно был задержан, протестуя против трубопровода *Keystone XL*. — Не очень важно, как скоро он будет сожжен».

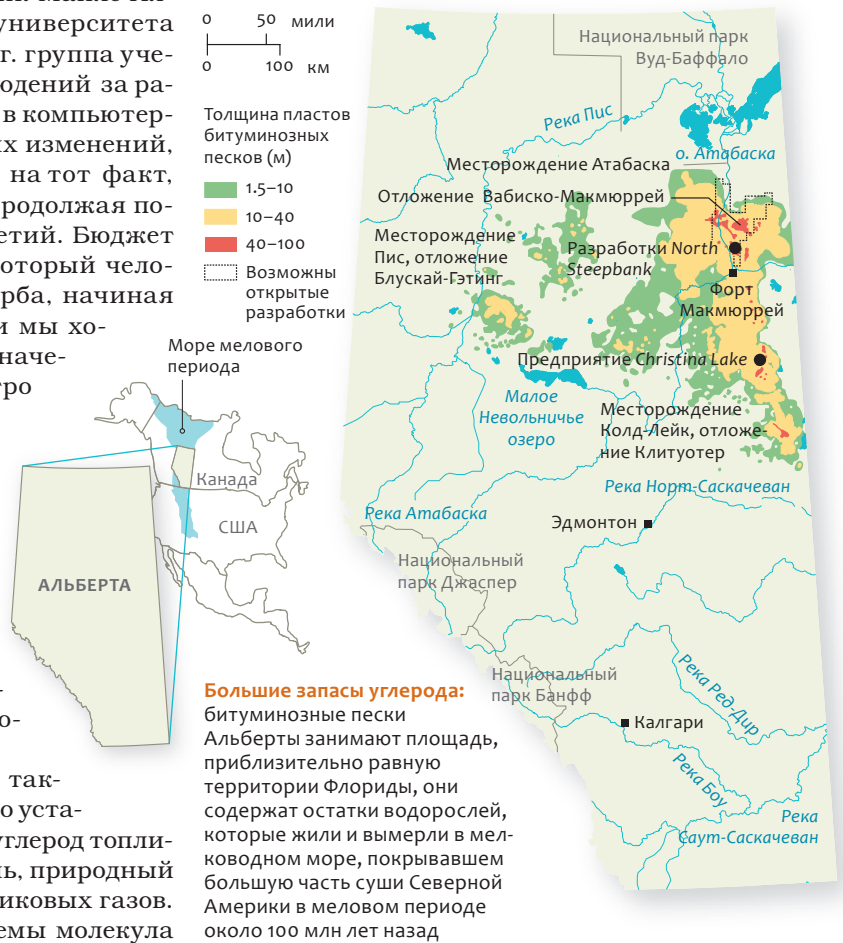
Из какого источника этот углерод, также не важно. Мир может сжечь только установленное количество содержащего углерод топлива, будь то битуминозные пески, уголь, природный газ, дерево или иной источник парниковых газов. «В отношении климатической системы молекула

CO_2 есть молекула CO_2 , и не имеет значения, появилась ли она из угля или из природного газа», — отмечает разработчик климатической модели Кен Кальдейра (Ken Caldeira) с факультета глобальной экологии Института науки Карнеги, находящегося в Стэнфордском университете.

До настоящего времени сжигание ископаемого топлива, расчистка лесов и другие виды деятельности внесли почти 570 млрд т углерода в атмосферу, причем более 250 млрд т только с 2000 г., согласно расчетам Аллена. В настоящее время человечество ответственно за выбросы 35 млрд т CO_2 (9,5 млрд т углерода) в год, эта цифра постоянно ползет вверх наряду с подъемом экономики. По расчетам Аллена, при существующих темпах общество выпустит триллионную тонну углерода приблизительно летом 2041 г. Следует отметить: чтобы придерживаться бюджета, эмиссия должна сокращаться на 2,5% в год, начиная с настоящего дня.

Подземное богатство

Битуминозные пески Альберты представляют собой массу погребенного углерода, остатки бесчисленных водорослей и других микроскопических живых организмов, существовавших сотни



SOURCE: ALBERTA GEOLOGICAL SURVEY AND ENERGY RESOURCES CONSERVATION BOARD, Map by Michael Newhouse

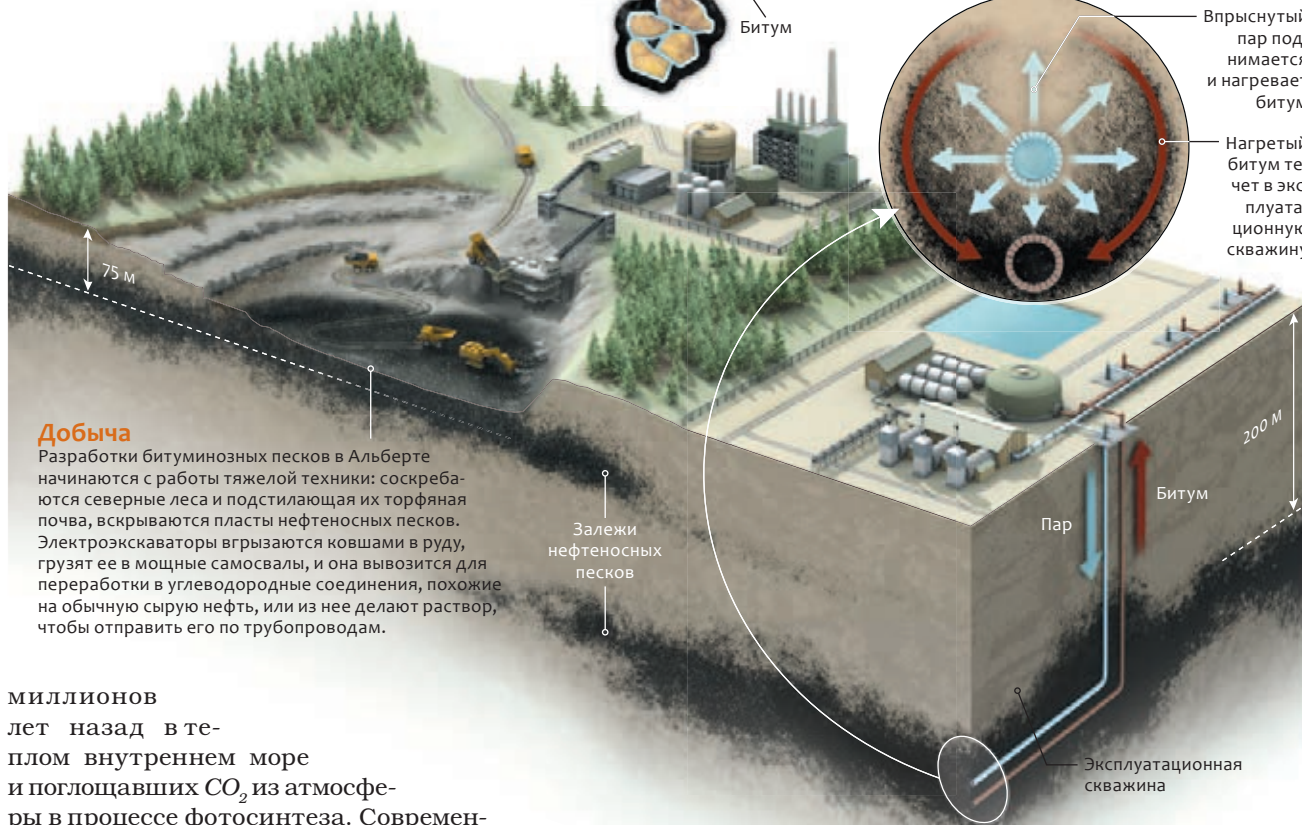
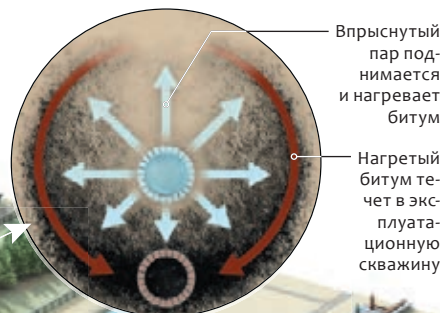
КАК ОБРАЗОВАЛАСЬ НЕФТЬ В ПЕСКАХ

Битуминовые пески Альберты были сфабрикованы жаром земли, выдавшим густую смолистую форму нефти, или битума. Каждая капля битума покрыта острогранными песчинками и водой, которые должны быть удалены перед обработкой битума. Типичная руда может состоять из 73% песка, 12% битума, 10% глины, 5% воды. В результате отделения вязких элементов остаются озера токсических отходов.



Плавка

Так называемое производство на месте заключается в закачке сверхгорячего пара под землю на глубину более 200 м, где он в пласте расплавляет битум, а тот в свою очередь откачивается на поверхность через эксплуатационные скважины. Полученный битум может быть либо очищен, либо разбавлен перед отправкой по трубопроводу на большие расстояния. При данном способе добычи потребляется больше электроэнергии, чем на открытых разработках, выбросы парниковых газов также значительно больше.



Добыча

Разработки битуминозных песков в Альберте начинаются с работы тяжелой техники: соскребаются северные леса и подстилающая их торфяная почва, вскрываются пласты нефтеносных песков. Электрэкспловаторы вгрызаются ковшами в руду, грузят ее в мощные самосвалы, и она вывозится для переработки в углеводородные соединения, похожие на обычную сырую нефть, или из нее делают раствор, чтобы отправить его по трубопроводам.

миллионов

лет назад в теплом внутреннем море и поглощавших CO_2 из атмосферы в процессе фотосинтеза. Современные технологии позволяют извлечь из песков Альберты 170 млрд баррелей нефти, что при сгорании может добавить в атмосферу около 25 млрд т углерода. Дополнительно 1,63 трлн баррелей нефти, которые добавляют 250 млрд т углерода, ожидают своей очереди под землей, когда техники смогут найти способ и выжать последнюю каплю битума из песка. «Если мы сожжем всю нефть, добытую из песка, температура сразу поднимется в половину от того, что мы наблюдаем сегодня», — отмечает инженер-технолог Джон Абрахам (John P. Abraham) из Университета св. Фомы, Миннесота, что означает приблизительно 0,40 глобального потепления.

Горные работы открытым способом могут вестись до глубины 80 м, но при этом эксплуатируются только 20% битуминозных песков. Во многих местах нефтеносные пески залегают на сотни метров под землей, а энергетические компании разработали метод, известный как производство на месторождении, т.е. выплавление битума на месте разработок.

В 2012 г. компания *Cenovus Energy* выплавляла ежедневно более 64 тыс. баррелей нефти из залегающего под землей битума у озера Кристина в Альберте (место добычи носит то же название). Эти разработки — одни из удаленных среди прочих бурно развивающихся на песке. Клубы пара поднимаются из девяти котельных установок, сжигающих природный газ прямо на месте, чтобы превратить воду в перегретый пар с температурой $350^\circ C$. На посту управления и контроля *Cenovus* даже больше сотрудников, чем у компании *Suncor*, они закачивают пар глубоко в землю, чтобы расплавить битум, который затем вытягивается на поверхность земли через скважину и перекачивается по трубам для дальнейшей обработки. Грег Фагнан (Greg Fagnan), начальник производства *Christina Lake*, создал комплекс, похожий на гигантское водоочистное сооружение, «который случайно дает также и нефть». Время от времени

пары воды с частично расплавленным нефтяным песком прорываются в небо, как это случилось однажды на *Devon Energy* летом 2010 г., когда дали слишком большое давление.

На *Christina Lake* техники вводят около двух баррелей пара, чтобы выкачать один баррель битума. Все это количество пара и сжигаемого для его разогрева природного газа означает, что в результате расплавления битума выходит в два с половиной раза больше загрязнения парниковыми газами, чем при открытых разработках, т.е. здесь самый высокий показатель выбросов среди всех способов добычи нефти. По данным Канадской ассоциации производителей нефти, с 2009 г. выбросы парниковых газов от разработок нефтеносных песков в Альберте увеличились на 16% за счет расширения производства, применяющего метод плавления. В 2012 г. добыча нефти из подземных песков в Альберте впервые сравнялась с добычей открытым методом, и благодаря таким работам, как на *Christina Lake*, она скоро станет основным способом производства.

Следует отметить, что добыча битума из пласта ведется только при его залегании на глубине от 200 м. Таким образом, остается зазор в 120 м, слишком глубокий для открытых работ, но слишком небольшой для пластовых разработок. До тех пор пока инженеры не определят, как справиться с этой проблемой, использовать все топливные запасы битуминозных песков вряд ли удастся.

Надо сказать, достижение бюджета углерода нашей планеты только путем сжигания значительной доли топлива из битуминозных песков займет много времени. Единственный путь не превысить бюджета — это, возможно, остановить сжигание угля или другого вида ископаемого топлива, или отыскать способ коренным образом сократить эмиссию парниковых газов при добыче из нефтеносных песков. Ни одна из этих перспектив не кажется правдоподобной. Дженнифер Грант (Jennifer Grant), руководитель научных исследований битуминозных песков из Института Пембина, канадской группы защитников окружающей среды, утверждает, что «эмиссия увеличилась в два раза с 1990 г. и удвоится снова к 2020 г.».

Привязка к *Keystone*

Бюджет углерода объясняет, почему Абрахам, Кальдейра и Хансен присоединились к 15 ученым и подписали письмо президенту Барак Обама, в котором они настаивают на отказе от планируемого трубопровода *Keystone XL* длиной 27 тыс. км. Ученые написали, что строительство этого трубопровода, следовательно, расширение производства на битуминозных песках «противоречит как национальным, так и мировым интересам».

Обама, который отложил утверждение строительства трубопровода как раз перед президентскими выборами 2012 г., выразил безопасную для

климата позицию в своей второй торжественной речи при вступлении в должность, а также в докладе о положении страны в 2013 г. Решение будет принято после того, как Государственный департамент сдаст последний отчет по трубопроводу *Keystone XL*.

В первом проекте отчета Госдепартамент уменьшил значение влияния трубопровода как на перспективность разработок нефтеносных песков, так и на окружающую среду. Как в нем говорилось, *Keystone XL* «вряд ли будет оказывать значительное воздействие» на выбросы парниковых газов. Но, казалось, авторы отчета допускали, что если *Keystone XL* не будет построен, Канада ищет другие экономические пути транспортировки нефти к потребителям.

В апреле Агентство по охране окружающей среды (EPA) выступило с ответным заявлением, где дело представлено в ином свете. По словам Синтии Джилз (Cynthia Giles), помощника руководителя отдела EPA по исполнению и обеспечению соблюдения установленных требований, Госдепартамент в своем докладе среди прочих просчетов опирался на неправильные экономические показатели. EPA, исходя из прошлой практики крупномасштабной оценки окружающей среды, предположило, что альтернативные варианты *Keystone XL* были бы значительно дороже или встретили бы сильный протест. Другими словами, достижение цели без *Keystone XL* может притормозить разработки нефтеносных песков. В мае Международное агентство по энергетике (МЭА) подтвердило выводы этого аналитического обзора в своем прогнозе развития производства на нефтеносных песках.

Нефть из битуминозных песков уже транспортируется на юг по железной дороге, но это временная мера, поскольку это в три раза дороже, чем ее перекачка по трубопроводу при современных тарифах. Поскольку добыча на нефтяных песках наращивает объемы, только расходы по перевозке по железной дороге могли бы создать препятствия для дальнейшего развития отрасли ввиду высоких затрат.

Что можно сказать о других трубопроводах в случае отрицательного решения по *Keystone XL*? У Канады есть возможность перекачки нефти на западное побережье Тихого океана, чтобы далее воспользоваться супертанкерами, идущими в Китай. Еще один вариант — путь на восток по существующим трубопроводам, ведущий на Средний Запад США или побережье Атлантики. Оба маршрута проблематичны. Перекачка нефти на побережье Тихого океана наименее осуществима, поскольку в этом случае трубопровод должен пересечь Скалистые горы, пройти по землям, принадлежащим коренным народам и другим группам населения Британской Колумбии, которые настроены против подобных сооружений, поскольку их страшит угроза протечек и других негативных воздействий

на окружающую среду. Атлантический трубопровод может быть быстро проложен, если объединить его с линиями, которые сегодня соединяют Альберту с восточным побережьем Северной Америки. Инженерам придется повернуть нефтяной поток почти так же, как это сделал *ExxonMobil* с трубопроводом *Pegasus*, который сегодня поставляет сырую нефть из Иллинойса в Техас. Однако устаревшие линии, которые были использованы для обратных нефтяных потоков, могут быть сильнее подвержены протечкам. Например, в минувшем апреле на *Pegasus* в Арканзасе случилась протечка нефти, добытой из битуминозных песков. Реконструкция существующих трубопроводов наверняка вызовет масштабную волну протеста не только среди защитников окружающей среды.

Альберта — один из редких нефтедобывающих районов мира, где применяется налогообложение углерода. В провинции более \$300 млн, собранных к настоящему времени, инвестировано в развитие технологий, направленных прежде всего на сокращение выбросов CO_2 при добыче нефти из битуминозных песков

С учетом всех этих препятствий, как было отмечено в отчетах *EPA* и МЭА, требуется дальнейшее продвижение *Keystone XL* в целях освоения залежей нефтеносных песков. В настоящее время в Альберте производится 1,8 млн баррелей нефти в день из битуминозных песков. Используя *Keystone XL*, можно будет перекачивать еще 830 тыс. баррелей в день.

Принимая во внимание протест защитников окружающей среды, руководство Альберты и энергетические компании постарались свести к минимуму загрязнение парниковыми газами во время работ на нефтеносных песках. Компания *Royal Dutch Shell* проводит испытания дорогостоящего альтернативного способа получения из битума нефти с дополнительным атомом водорода вместо приготовления нефтяного кокса из углерода, чтобы сократить эмиссию CO_2 . Международный нефтяной магнат начал также разработку планов по внедрению оборудования для улавливания и хранения углерода на одном из своих

мини-нефтеперегонных заводов — проект под названием *Quest*. Ожидается, что по его завершении в 2015 г. глубоко под землей будет ежегодно сохраняться 1 млн т CO_2 , или около одной трети всех загрязнений предприятия. Другие перспективные планы включают улавливание CO_2 с дальнейшим его использованием для вымывания дополнительного количества обычной нефти из-под земли.

Альберта — один из редких нефтедобывающих районов мира, где применяется налогообложение углерода. Сегодня налог составляет \$15 за тонну, и его увеличение продолжает обсуждаться. В провинции более \$300 млн, собранных к настоящему времени, инвестировано в развитие технологий, направленных прежде всего на сокращение выбросов CO_2 при добыче нефти из битуминозных песков. Рон Липерт (Ron Liepert), бывший в 2011 г. министром энергетики Альберты, сказал мне тогда, что «налог по крайней мере служит какой-то защитой, когда люди нападают с обвинениями в негативном следе углерода».

Действия по сокращению углеродного воздействия горных разработок нефтеносных песков удорожают дальнейшую экстракцию нефти и не принципиально влияют на углеродный след. Согласно данным Канадской ассоциации производителей нефти, при ежедневной добыче 1,8 млн баррелей нефти из битуминозных песков в 2011 г. выбросы парниковых газов составили более 47 млн т.

МЭА, анализируя пути, позволяющие не превысить пороговое значение в $2^\circ C$, установило, что выпуск продукции на нефтеносных песках в Альберте не должен быть выше 3,3 млн баррелей в день к 2035 г. Тем не менее предприятия, уже утвержденные или находящиеся в процессе строительства, могут поднять выпуск нефти в Альберте до 5 млн баррелей в день к 2030 г. Трудно представить, как разрабатывать залежи нефтеносных песков, соблюдая бюджет углерода.

За пределами бюджета углерода

Справедливо ли беспокоиться только по поводу нефтеносных песков? В конце концов, другие виды ископаемого топлива вкладывают больше в мировой бюджет углерода, но они не вызывают такого раздражения. Вероятно, они должны были бы это сделать. В 2011 г. угольными электростанциями США было выброшено около 2 млрд т парниковых газов, что почти в восемь раз превышает их количество при добыче, очистке и сжигании на производстве нефти из битуминозных песков. Многие

угольные разработки в мире оставляют заметные шрамы на ландшафте и оказывают большое влияние на изменение климата. Шахты Монтаны и угольного бассейна Паудер-Ривер в Вайоминге не вызывают столь громких протестов, с какими столкнулся проект *Keystone XL*, демонстранты не блокируют движение поездов, которые растянлись на километры и изо дня в день вывозят уголь. Специалисты Геологической службы США считают, что современные технологии позволяют только в этом бассейне извлечь 150 млрд т угля. Сжигание всего этого количества угля вынесет мир на позиции, далеко превосходящие триллионную тонну углерода в его бюджете.

Планы Австралии по расширению экспорта угля в Азию добавят ежегодно еще 1,2 млн т CO_2 в атмосфере при сжигании угля. Это количество затмевает эмиссию от развития производства на битуминозных песках даже в его самом оптимистичном варианте. США и такие страны, как Индонезия, также планируют расширение угольной сферы. Приостановка или даже сворачивание угольной промышленности в США может с лихвой компенсировать любой из вариантов увеличения добычи на нефтеносных песках в результате пуска *Keystone XL*, хотя эти два вида топлива используются для разных целей: уголь в энергетике, нефть для транспортировки.

Канада становится удобной мишенью с учетом и ее демократического настроя, дружелюбного восприятия давления защитников окружающей среды. Производители тяжелой нефти в Мексике, Нигерии или Венесуэле вносят такой же вклад в загрязнение парниковыми газами, что и их коллеги на нефтеносных песках Канады, но их деятельность не подвергается столь тщательному анализу, несмотря на высокие показатели выбросов CO_2 . На самом деле, только извлечение аналогичной тяжелой нефти на заброшенных месторождениях в Калифорнии способствует большему загрязнению атмосферы углекислым газом, чем все другие нефтедобывающие предприятия в мире, в том числе применяющие метод плавления битуминозных песков. Мюррей Грей (Murray Gray), химик-технолог, научный руководитель Центра инновационных разработок нефтеносных песков из Университета Альберты, поясняет: «Если вы думаете, что эксплуатация других источников нефти (не из песков) гораздо лучше, то вы ошибаетесь. Возрастающее во всем мире использование каменного угля дает нам значительную передышку».

Производство на других источниках нефти, расположенных поблизости, не растет столь быстро, как добыча на песках Альберты, где за прошедший год выпуск продукции увеличился более чем на 1 млн баррелей в день. Чтобы уложиться в бюджет углерода в атмосфере, мировая добыча должна снизиться более чем наполовину от известных

промышленных запасов нефти, газа и угля. Это означает, что большая часть ископаемого топлива, особенно самых загрязняющих видов нефти, таких как, например, извлекаемые из битуминозных песков, должна оставаться под землей.

В защиту окружающей среды во всем мире могут выступить экономические силы. Гидравлический разрыв пласта, применяемый для добычи нефти в Северной Дакоте на части месторождения *Bakken Shale*, повлиял на снижение потребностей США в канадской сырой нефти; в ответ новые проекты обустройства месторождений нефтеносных песков в Альберте, такие как, например, нефтеперерабатывающий мини-завод *Voyageur* стоимостью \$12 млрд, были закрыты. Новые обязательные стандарты эффективного использования топлива, принятые для автомобилей в США, также повлияют на снижение потребностей, по крайней мере на недолгий период. Во всяком случае, нефтеносные пески останутся на месте в ожидании будущего соблазна их эксплуатации, когда однажды закончится нефть, добываемая более легким способом.

Если прокладка трубопровода *Keystone XL* будет утверждена или же будут изысканы другие средства транспортировки нефти из битуминозных песков в Китай, экспорт продолжит свой рост, ускоряя невидимое накопление CO_2 в атмосфере. Вместо сокращения эмиссии на 2,5% в год начиная с нынешнего дня, что было вычислено Майлсом Алленом как необходимое условие удержания планеты в пределах порогового значения потепления в $2^\circ C$, загрязнение мира парниковыми газами продолжит нарастать. Каждая капля углерода, производимого при сжигании ископаемого топлива, будь оно добыто из песков или других источников, идет в зачет. ■

Перевод: В.И. Сидорова

Дэвид Биелло (David Biello) — помощник редактора *Scientific American*.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Warming Caused by Cumulative Carbon Emissions towards the Trillionth Tonne. Myles R. Allen и др. в *Nature*, Vol. 458, pages 1163–1166; April 30, 2009.
- The Alberta Oil Sands and Climate. Neil C. Swart and Andrew J. Weaver в *Nature Climate Change*, Vol. 2, pages 134–136; February 19, 2012.
- The Facts on Oil Sands. Canadian Association of Petroleum Producers, 2013. См. PDF-файл по адресу: www.capp.ca/getdoc.aspx?DocId=220513&DT=NTV
- Более глубокий анализ производства нефти из битуминозных песков см. по адресу: ScientificAmerican.com/jul2013/tar-sands

ОБ АВТОРЕ

Мелинда Уэннер Мойер (Melinda Wenner Moyer) — доцент Высшей школы журналистики в Нью-Йорке. Пишет популярные статьи на научные темы, в частности посвященные вопросам сохранения здоровья. Публикуется в журналах *Nature*, *Newsweek* и *The Oprah Magazine*.



Может ли бурый жир победить ожирение?

Почему, выключив обогреватель, вы получаете возможность сбросить вес?



Для большинства из нас жир, в частности тот, по вине которого кожа становится бугристой, а на бедрах и животе образуются складки, обозначается одним словом без всяких дополнений. Накопление его сверх меры повышает риск сердечно-сосудистых заболеваний и диабета II типа. Десятилетиями врачи и физиологи бьются над тем, как найти способ уменьшить его запасы, но пока не очень успешно.

Впрочем, в биологии не бывает простых вещей. В конце 2000-х гг. сразу в нескольких лабораториях было обнаружено нечто, нарушившее единодушие среди ученых в их отношении к жиру как абсолютному злу. Давно было известно, что существует два типа жировой ткани — белая и бурая. В каждой клетке белого жира энергия запасена в единственной большой жировой капле, никаких функций, кроме как хранилища калорий, она не выполняет. Клетки бурой жировой ткани содержат множество капель меньшего размера, а кроме того в них есть митохондрии — органеллы, содержащие железо (оно и определяет цвет ткани), в которых происходит «сжигание» жира с выделением тепла. Организм младенца, у которого еще

не развилась система терморегуляции, использует отложения бурого жира (главным образом в области плеч и шеи) для поддержания температуры тела на нужном уровне. Но, как оказалось, бурая жировая ткань с возрастом не исчезает, в небольшом количестве она присутствует и у взрослых.

Данное открытие было с энтузиазмом встречено научной общественностью, породив надежду на то, что бурый жир может справиться с ожирением. Идея была проста: если удастся выяснить, как побудить организм вырабатывать больше бурого жира или повысить расходование уже имеющихся запасов, то содержащиеся в нем калории будут превращаться в тепло, что уменьшит запасы белого жира.

Однако исследовать бурый жир не так-то просто — отчасти потому, что трудно обнаружить, где находятся его отложения. Кроме того, существуют сомнения, что его количества в организме достаточно, чтобы манипуляции с ним повлияли на ожирение. И наконец, самый простой способ стимулировать выработку бурого жира состоит в понижении температуры тела, а это не очень-то привлекательный способ борьбы с ожирением. Получается, что чем больше ученые узнают о свойствах этого вещества, тем больше вопросов возникает.

Сегодня, однако, ситуация меняется к лучшему. Найдены способы выявления подкожных отложений бурого жира, а самые последние данные свидетельствуют о том, что он действительно способствует уменьшению жировых запасов даже у тучных людей. Идентифицированы вещества, стимулирующие его выработку, и теперь отпала необходимость подвергать людей действию низких температур. Как ни парадоксально, но жир может оказаться эффективным инструментом в борьбе с ожирением.

Жир жиру рознь

В 2009 г. три группы ученых независимо друг от друга опубликовали статьи в *New England Journal of Medicine*, в которых подтверждались данные, уже полученные ранее, о наличии в организме взрослых функционально активных клеток бурого жира. Следующие пять лет ушли на то, чтобы найти более простые способы выявления его отложений и детально изучить его свойства.

Самым распространенным методом обнаружения бурого жира признана позитронно-эмиссионная/компьютерная томография (ПЭТ/КТ). «Она позволяет получить детальное изображение внутренних органов и тканей, но имеет свои недостатки: во-первых, она стоит немалых денег, во-вторых, это инвазивная процедура», — говорит

Пол Ли (Paul Lee) из Гарванского института медицинских исследований в Сиднее. Чтобы получить изображение, пациенту вводят раствор радиоактивного сахара. Он проникает в клетки бурого жира, и митохондрии начинают его расщеплять; процесс сопровождается испусканием гамма-квантов, которые регистрирует ПЭТ. Компьютерный томограф дает изображение разных типов тканей, и совместно эти два метода идентифицируют жировые клетки, остающиеся функционально активными среди массы других в отложениях бурого жира.

По словам Ли, на подходе несколько новых методов, которые позволят обнаруживать бурый жир с меньшими затратами и с большей точностью. Так, разработан способ определения содержания бурого жира с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ). Пациента помещают в мощное магнитное поле, под действием которого молекулы воды в его организме ориентируются тканеспецифичным образом, что позволяет различать их и идентифицировать. Метод гораздо менее инвазивен, чем ПЭТ/КТ, поскольку не предусматривает

Даже очень небольшое увеличение скорости метаболизма, если оно поддерживается достаточно долго, может привести к весьма ощутимому уменьшению массы тела

никаких инъекций. Еще один относительно недорогой и неинвазивный способ — термосканирование; он выявляет подкожные «горячие точки», измеряя температуру поверхности тела.

По мере появления новых методов изучения свойств бурого жира пессимизм по поводу возможности использования его для снижения массы тела рассеивается. В 2012 г. был проведен следующий эксперимент: температуру тела шестерых мужчин, находящихся в состоянии полной неподвижности в течение четырех часов, поддерживали на уровне 18° С с помощью специального снаряжения, по трубкам которого пропускали холодную воду. При этом следили за тем, чтобы дрожь в теле не была слишком сильной. При таких условиях бо́льшая часть калорий расходовалась на сжигание бурого жира, а не на мышечные сокращения.

Каждый из участников эксперимента «сжег» на 250 калорий больше, чем если бы он в течение тех же четырех часов просто лежал неподвижно при комнатной температуре. Казалось бы, не так уж много, но если расходовать 250 калорий ежедневно в течение двух недель, это будет равноценно потере 454 г жира. «Даже небольшое увеличение

скорости метаболизма, если оно поддерживается на таком уровне достаточно долго, может привести к весьма ощутимому уменьшению массы тела», — говорит Барбара Каннон (Barbara Cannon), физиолог из Института экспериментальной биологии Веннера-Грена в Стокгольме.

Недавно обнаружилось, что бурый жир — не только «сжигатель» калорий. Проведенные в 2011 г. эксперименты на мышах показали, что он вовлекает в этот процесс триглицериды крови, жировые молекулы, повышающие риск метаболического синдрома — целой группы патологических состояний, опосредующих развитие серьезных сердечно-сосудистых заболеваний и диабета. Кроме того, клетки бурого жира поглощают циркулирующие в крови молекулы сахара, снижая тем самым риск диабета II типа.

Бежевый жир

Все большее число научно-исследовательских институтов и биотехнологических компаний по всему миру вовлекаются в поиски способов, которые могли бы увеличить содержание в теле человека клеток бурого жира или повысить их активность.

Две основные причины ожирения — неправильное питание и малоподвижный образ жизни

Рассматривается также возможность использования другого подхода: превращение белой жировой ткани в бежевую, близкую по свойствам к бурой.

Прежде всего была предпринята попытка выяснить, влияет ли на этот процесс понижение температуры тела. В прошлом году японские физиологи провели следующий эксперимент: они предложили 12 молодым мужчинам с меньшим, чем обычно, содержанием активных бурых жировых клеток проводить в неподвижности по два часа в день при температуре 18° С в течение шести недель. В первое время их организм сжигал в среднем 108 избыточных калорий, но через шесть недель величина достигла 289, а ПЭТ/КТ-сканирование показало повышение активности клеток бежевого жира. У мужчин такого же возраста, но с обычным содержанием активных клеток бурого жира, которые находились при пониженной температуре, никакого изменения интенсивности метаболизма не наблюдалось. Физиологи полагают, что пребывание в течение шести недель при низкой температуре повышает активность гена *UCP1*, который, по-видимому, отвечает за превращение белого жира в бежевый.

Низкие температуры — это не для вас? Есть другие средства. Идентифицировано несколько веществ, которые, по-видимому, стимулируют «побурение» белого жира, а в 2012 г. в ходе двух независимых исследований было показано, что гормон под названием иризин, секретлируемый мышечными клетками после физической нагрузки, содействует превращению белых жировых клеток в бурые. В одном из этих исследований в геном мышей с избыточным весом и высоким содержанием сахара встроили ген, обуславливающий троекратное повышение этого гормона в крови. Животные потеряли в весе, и у них нормализовался уровень глюкозы в течение всего десяти дней.

Показано, что при физической нагрузке повышается уровень экспрессии гена *UCP1*, соответственно, и активность клеток бурого жира. Среди других потенциальных природных стимуляторов бурого жира — нейротропный фактор, содержащийся в головном мозге, который инициирует рост нейронов, и белок *SIRT1*, чье прямое назначение остается загадкой (известно лишь, что он помогает преодолеть стресс).

Несмотря на то что превращение белого жира в бежевый представляется перспективным направлением, некоторые исследователи (в их числе и Барбара Каннон) полагают более целесообразным повышение содержания бурого жира. В 2013 г. она с коллегами сообщила о том, что последний может утилизировать в пять раз больше запасенной энергии, чем бежевый жир. По мнению Каннон, когда-нибудь ученые изобретут способ запасаения бурого жира в организме взрослых в таком же объеме, как это происходит у младенцев. «Следует стремиться к тому, чтобы поддерживать отложения этого вещества с расчетом на будущее, а не регенерировать их», — считает она.

Многие эксперты уверены, что придет время — и бурый жир будет применяться как лекарственное средство. Правда, произойдет это не скоро, лет через десять. А пока можно попробовать применить все, что известно о буром жире, самостоятельно. «Две основные причины ожирения — неправильное питание и малоподвижный образ жизни, — говорит Ли. — Но свой вклад, пусть небольшой, вносит и температурный фактор».

Другими словами, тепло в доме имеет свою отрицательную сторону — оно снижает активность клеток бурого жира. Но пока никто не готов мерзнуть зимой, переключив комнатный терморегулятор на более низкую температуру, во имя снижения веса — хотя, кроме всего прочего, это сэкономило бы вам некоторую сумму денег. Способно ли это также улучшить состояние вашего здоровья — покажет будущее. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская



СЕНТЯБРЬ 1965

Города на подъеме. Урбанизированные общества, где большинство людей тесно сосредоточены в городах, — это новый и фундаментальный шаг в ходе социальной эволюции. Хотя города как таковые возникли около 5,5 тыс. лет назад, они были малыми и их окружало во мно-

го раз более многочисленное сельское население. Более того, они легко возвращались в состояние сельских поселений. В отличие от этого современные урбанизированные общества не только образуют агломерации невиданных прежде масштабов, но и сосредотачивают в себе большую часть населения. Ни новизна этого эволюционного развития, ни его скорость широко не осознаются. До 1850 г. ни одно государство нельзя было считать преимущественно урбанизированным, а к 1900 г. таковым было лишь одно — Великобритания. Сегодня, спустя всего 65 лет, высоко урбанизированы все промышленно развитые страны.



СЕНТЯБРЬ 1915

Война и животный мир. Война очень сильно влияет на птиц во всей Европе, особенно на перелетных. Таких птиц обнаруживали там, где прежде никогда не встречали, их не видели в местах активных боевых действий. В Люксембурге, где в лиственных лесах обычно собирались миллионы пернатых, сегодня редко можно увидеть или услышать хоть одну. Один местный любитель природы пишет: «На дорогах и рыночных площадях маленьких городов и деревень выросли целые поля овса, на которых паслись кони проходившей кавалерии».

Раньше такого не могло быть, потому что птицы быстро подбирали каждое упавшее на землю зернышко.

Защита от моря. «За 13 лет, прошедших со времени постройки большой бетонной стены вдоль береговой линии Галвестона, она дважды блестяще выдержала вызванные ураганами натиски бушующего моря. Последний шторм причинил ущерб в основном в деловом районе к северу от Бродвея, где план

повышения крутизны уклона так и не был выполнен. По распоряжениям мирового суда графства Галвестон автор инспектировал состояние стены сразу после штормов 1909 и 1915 гг. и ни в одном случае не обнаружил ни малейших повреждений, хотя тяжелые бревна перелетали через нее и сильно повредили бульвар». — Бригадный генерал Генри Роберт (Henry M. Robert).

Примечание: автор составил также регламент Роберта, впервые опубликованный в 1876 г.



СЕНТЯБРЬ 1865

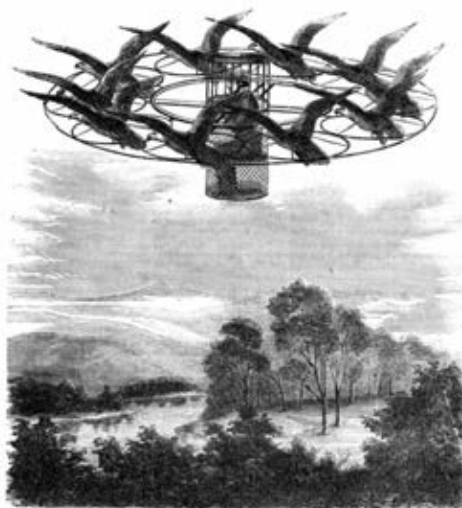
Взрывчатое вещество. Как известно, глицерин — это сладкая составляющая жиров, широко применяемая в косметологии, но недавно он нашел совершенно неожиданное применение. В 1847 г. Асканьо Собрего (Ascanio Sobrero) открыл, что при обработке азотной кислотой глицерин превращается в сильнейшее взрывчатое вещество, названное нитроглицерином.

Он представляет собой маслянистую жидкость тяжелее воды, растворимую в спирте и в эфире. Нитроглицерин настолько сильно действует на нервную систему, что одна его капля, нанесенная на кончик языка, вызывает сильнейшую головную боль, не утихающую несколько часов. Химики, похоже, почти забыли о нитроглицерине, и только сегодня шведский инженер Альфред Нобель сумел применить его к очень важной области своей деятельности — взрывному делу.

Блестящее изобретение. «Господа издатели, я осмеливаюсь предложить вам для публикации план, который представляется мне простым и вполне осуществимым, хотя я не пытался проверить его

на практике. В его основе то, что люди уже делали на Земле, — использование в своих целях силы братьев наших меньших. Есть много птиц с мощными крыльями, способных летать долгое время. Я предлагаю собрать достаточное число таких птиц, надеть на них подходящую упряжь и впрячь в некий каркас с подвешенной к нему корзиной, достаточно большой, чтобы в ней мог поместиться человек».

Примечание: слайд-шоу о других идеалистических «изобретениях» 1865 г. см. по адресу: www.ScientificAmerican.com/sep2015/motor-vehicles



Мечты о полете: как вырваться из оков земного притяжения, 1865 г.



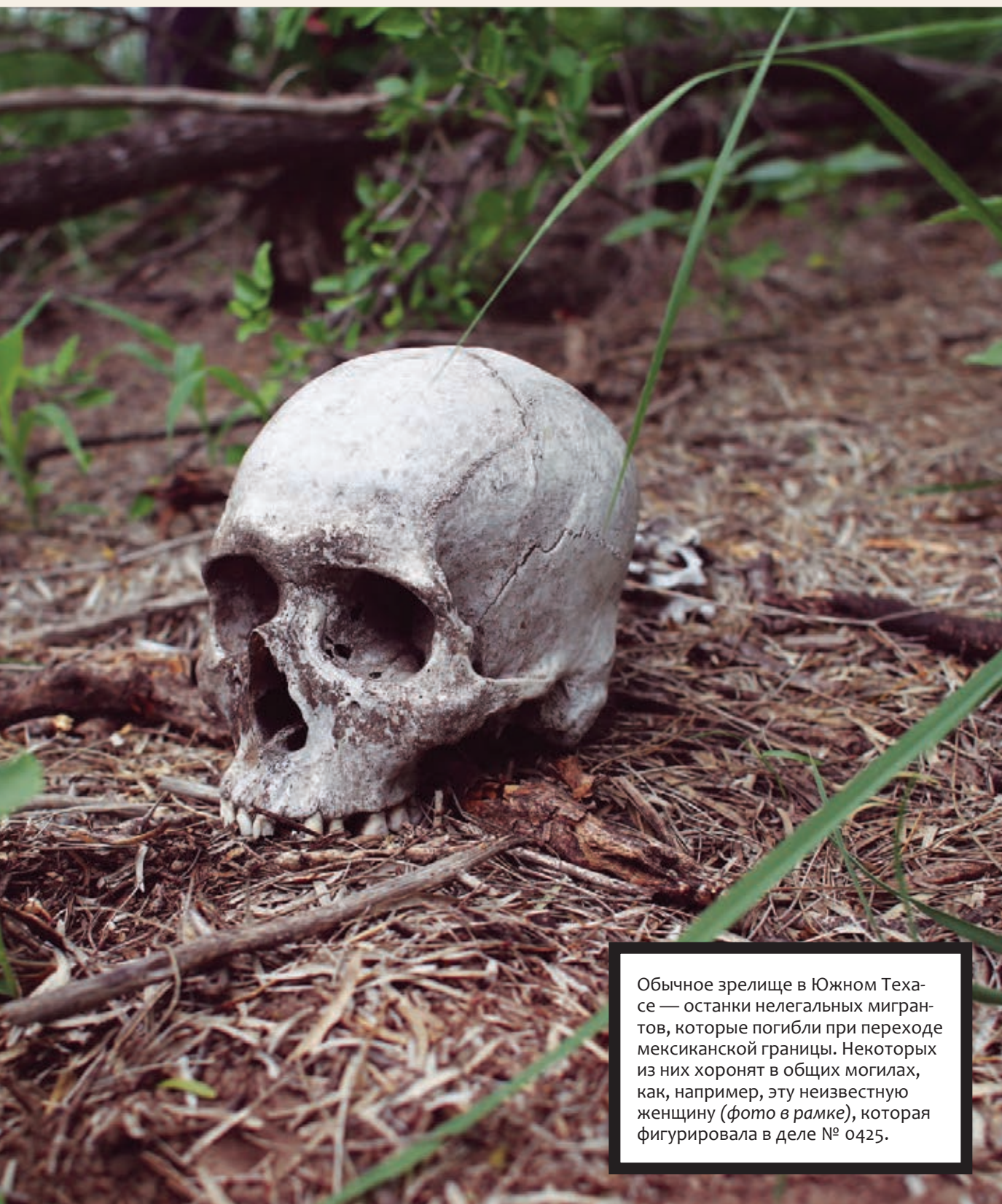
КРИМИНАЛИСТИКА

ТАЙНА ДЕЛА № 0425

Ученые идентифицируют останки неизвестных людей, погибших при переходе границы между Мексикой и США, — мигрантов, чьи имена могли бы навсегда остаться утерянными

Ананда Роуз





Обычное зрелище в Южном Техасе — останки нелегальных мигрантов, которые погибли при переходе мексиканской границы. Некоторых из них хоронят в общих могилах, как, например, эту неизвестную женщину (фото в рамке), которая фигурировала в деле № 0425.

ОБ АВТОРЕ

Ананда Роуз (Ananda Rose) — автор книги «Трагедия в пустыне Сонора: религия, право и споры об иммиграции» (*Showdown in the Sonoran Desert: Religion, Law, and the Immigration Controversy*, 2012). Работает над второй книгой на тему гибели нелегальных мигрантов в Техасе.



28 июня 2012 г.

работник с фермы *La Cantina*, что в округе Брукс, штат Техас, возился с кормушками для диких зверей — и вдруг заметил, что рядом, на участке земли радиусом около 1,5 м, покрытом порослью мескитового дерева, разбросаны какие-то кости.

В тот же день на место прибыл представитель шерифа округа. Как указано в отчете, на костях остались следы от зубов диких животных. Были найдены слипшиеся комки волос, клочки одежды и несколько личных вещей: рюкзак, четыре упаковки лапши быстрого приготовления, спрей от комаров, зубная щетка и нетронутая упаковка чипсов.

Вскоре после этого состоялись скромные похороны в мемориальном парке Святого Сердца в городе Фалфьюрриас, административном центре округа, в 16 км от того места, где было обнаружено тело. Останки и личные вещи доставили в местное похоронное бюро, на имя неизвестного было выписано государственное свидетельство о смерти за номером 0425.

Скорее всего, останки принадлежали нелегальному мигранту, который пересек мексиканскую границу. На всем протяжении этого рубежа длиной свыше 3 тыс. км пограничный патруль США ежегодно арестовывает сотни тысяч мигрантов,

включая детей, путешествующих в одиночку. Число людей, предпринимающих такое путешествие, намного превышает официальную статистику. Они бегут от хаоса в своих странах — от организованной преступности, контрабанды наркотиков, разрушенной экономики, некомпетентных



! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В последние годы при попытке пересечь границу в Техасе погибло больше безымянных мигрантов, чем на любом другом участке границы между Мексикой и США. Власти округа не справляются с ситуацией, и останки попадают в общие могилы.
- Группа из трех ученых-судмедэкспертов, в которую также вошли их студенты, начала поиски останков на кладбищах Южного Техаса, чтобы опознать погибших и вернуть их останки родственникам.
- «Дело № 0425» о нелегальной мигрантке, погибшей на территории Техаса, показывает, с какими трудностями сталкиваются ученые, устанавливая по скелетным останкам человека его пол, возраст, рост и национальность.



Эта женщина (фото сверху), чье дело получило номер 0425, погибла в 2012 г. в Южном Техасе. В 2013 г. ее останки (фото в центре) были извлечены группой студентов из Бэйлорского университета, возглавляемой Лори Бейкер (фото слева, Лори Бейкер — в соломенной шляпе).

и продажных правительств. На этой плоской пустынной земле, где в летние месяцы термометр зашкаливает за 40° С, нелегальные мигранты часто гибнут от обезвоживания, истощения, болезней или травм, а еще они зачастую просто не могут найти дорогу, когда контрабандисты бросают их посреди необозримой территории, где на многие километры вокруг — лишь заросли колючки.

Если бы «номер 0425» погиб в Аризоне, власти штата распорядились бы провести аутопсию, проверили бы образец ДНК по различным официальным базам данных и, если было бы найдено соответствие, передали персональные данные о погибшем в консульскую службу той страны, откуда предположительно он происходил, после чего уже консульство этой страны должно было бы уведомить семью. Однако Техас с трудом справляется с потоком мигрантов. Поскольку другие штаты ужесточают меры пограничного контроля, нелегальные мигранты ринулись в Техас. В период с октября 2011 г. по октябрь 2014 г. здесь погибло 685 человек. Для сравнения: за тот же период в трех штатах — Калифорнии, Аризоне и Нью-Мексико — умерло 540 нелегалов.

В округе Брукс, где было найдено тело, каждый третий живет за чертой бедности. У округа нет ни инфраструктуры, ни финансов, чтобы справиться

с наплывом нелегалов. В результате найденные останки просто закапывают в парке Святого Сердца или на других кладбищах, даже не пытаясь выяснить, кто были эти люди.

Когда Лори Бейкер (Logi E. Baker), криминалист-антрополог из Бэйлорского университета, впервые услышала о бессистемных захоронениях в парке Святого Сердца, она пришла в ужас. Бейкер, в 2001 г. помогавшая расследовать случаи нарушения прав человека в Перу, собрала небольшую группу из ученых-криминалистов и студентов, чтобы эксгумировать и идентифицировать останки мигрантов, захороненных на кладбище Святого Сердца.

Группа взялась за дело так, словно проводила археологическую экспедицию, только вместо раскопок древних руин они занимались кропотливой и утомительной работой по подъему и описанию человеческих останков и личных вещей.

Одним из первых случаев, которым занялась группа, было дело неизвестной № 0425.

Создание биологического досье

К концу весны 2013 г., после недель раскопок, ученые подняли на поверхность останки около 70 мигрантов — больше, чем ожидалось. Некоторые оказались захороненными в ящиках из-под молочных

бутылок, другие — в пластиковых мешках для трюпов. Отдельные захоронения не имели даже указателей — простейших табличек, на которых можно было бы прочесть: «Неизвестная» или «Неизвестный». «Мы знаем, что всегда нужно ждать неожиданного», — написала Криста Латам (Krista Latham) в 2014 г. в блоге «Через барьеры» (*Beyond Borders*), перефразируя неформальный лозунг группы. Латам руководит Лабораторией молекулярной антропологии в Университете Индианаполиса и добровольно вызвалась быть одним из лидеров команды.

Латам привезла с собой в Брукс четырех студентов-аспирантов. Условия для работы были суровые. Кроме жары и влажности, а также пауков, скорпионов, змей и огненных муравьев, трудности создавало полное отсутствие карт и каких бы то ни было записей, отражающих количество и характер захоронений. «Мы не знали, похоронены ли люди в деревянных ящиках, что могло бы обеспечить сохранность, или просто в пластиковых мешках, — говорит Латам. — Поэтому мы копали очень осторожно и пользовались небольшими инструментами, чтобы случайно не повредить останки».

С помощью бечевки члены команды разметили кладбище на квадраты. Ученые измеряли расстояние от любой точки, где производились раскопки (как на поверхности, так и под землей), до опорной точки на разметке. Таким образом они смогли зафиксировать местоположение каждой находки в разных слоях грунта и в конечном итоге составить подробнейшую карту участка.

В июле 2013 г. останками № 0425 поручили заниматься Кейт Спрэдли (Kate Spradley), биологу-антропологу из Центра судебно-медицинской антропологии Техасского государственного университета в Сан-Маркосе. Спрэдли, молодая серьезная женщина 42 лет, объясняет, что побудило ее взяться за это дело: она почувствовала, что таким образом смогла бы соединить свою преподавательскую и научную работу с важной миссией общественного служения.

При первоначальном разборе останков дело № 0425 выглядело относительно простым. Официальный протокол, имевшийся в распоряжении,

Нераскрытые дела

ТАЙНА ОСТАНКОВ

Команда волонтеров, состоящая из судмедэкспертов-антропологов, идентифицировала лишь два из более чем 110 наборов останков, поднятых на поверхность на территории мемориального парка Святого Сердца с весны 2013 г., когда начались эти работы. Члены группы надеялись, что им удастся провести большее количество опознаний. Однако многие из этих дел остаются нераскрытыми: когда в деле есть лишь несколько фрагментов скелета, задача становится неразрешимой.

Никто не знает этого лучше, чем руководитель команды судмедэкспертов Криста Латам. Она возглавляет лабораторию молекулярной антропологии Университета Индианаполиса, ее специальность — устанавливать личность, по кусочкам собирая информацию о человеке путем исследования наиболее пострадавших от времени, фрагментированных скелетов.

Один из случаев, с которым столкнулась группа судмедэкспертов во время работы в Техасе, показывает, что эти усилия вполне могут оказаться тщетными. Рабочие фермерского хозяйства *Hornsby Ranch* из округа Брукс 26 декабря 2011 г. обнаружили части скелета и перевезли их на кладбище Святого Сердца. Останки, фигурирующие в деле № 0402, были погребены под простой табличкой с надписью «Неизвестная женщина». Дальнейший анализ выявил, что останки, вопреки надписи на могиле, принадлежат мужчине.

Под крышкой гроба обнаружили еще два набора человеческих костей, что случается нередко. Во время захоронения гроб развернули на 180°, поэтому таблички на могилах не соответствовали захороненным в них останкам. Внутри гроба находилась кучка костей в белом пластиковом пакете. Лабораторное исследование показало, что для судебно-медицинской экспертизы может быть представлено лишь 2% костей из скелета № 0402. Сохранились череп, левая и правая тазовые кости (бедренные суставы) и стержень бедренной кости; не хватало даже зубов.

Немногочисленные останки, как в деле № 0402, — совсем не исключение. «Кости могли не подобрать, потому что их приняли за что-то другое, или те люди, что собирали останки, не понимали, как далеко дикие животные могут их разнести, и не расширили территорию поиска, — поясняет Латам. — Поэтому вполне вероятно, что останки "номера 0402" все еще лежат где-нибудь на землях этой фермы».

Сравнивая работу судмедэкспертов-антропологов в Чили и в Техасе, Латам говорит: «Ситуация на приграничных землях очень похожа. Люди пропали, и с тех пор их никто не видел и не слышал. И некому вернуть им голос, а ведь они заслуживают того, чтобы о них вспомнили». Вместе с коллегами она делает для этого все возможное, пусть даже иногда их усилий и не хватает. Пропавшего человека «номер 0402» еще предстоит опознать, но возможно, что его имя никогда не будет узнано.

утверждал, что останки принадлежат 39-летней женщине из Сальвадора по имени Арели Ноэми Бланко Коца (Arely Noemy Blanco Sosa). Имя значилось на гражданском удостоверении личности, найденном рядом с фрагментами скелета, разбросанными на территории фермы *La Cantina*, поэтому в управлении шерифа решили, что это были кости именно этой женщины. В отличие от других случаев, когда удавалось найти лишь небольшое число костей, этот скелет был почти цел.

В Центре судебно-медицинской антропологии имеются целые ряды металлических столов, поставленных один на другой, стеллажами. На каждом из них — скелет, тщательно разложенный таким образом, чтобы сохранить строгий анатомический порядок, в котором располагаются кости: так, лучевая кость должна лежать рядом с локтевой. Спрэдли начала работу с «делом № 0425» с того, что составила фотографический каталог скелета и найденных вместе с ним личных вещей. Даже с учетом того, что скелет почти целиком сохранился, а в распоряжении исследователя

имелись новейшие инструменты криминалистики, однозначно идентифицировать останки № 0425 оказалось на удивление трудной задачей.

В процессе инвентаризации останков Спрэдли и ее команда нашли под стелькой правой туфли еще одно удостоверение личности. Оно принадлежало 37-летней гражданке Гондураса, поэтому возникло сомнение, представляют ли останки № 0425 фрагменты тела Бланко Сосы или нет.

Тогда команда судмедэкспертов начала составлять биологическое досье «номера 0425» — исследовать пол, происхождение, возраст, телосложение, карту стоматолога. Далее эксперты погрузили останки в горячую воду с добавлением моющего средства — этот процесс называется мацерацией (вымачиванием), он ускоряет естественный распад, размягчая хрящи, связки, сухожилия и другие мягкие ткани. Затем скелет высушили, составили описание всех костей и упаковали — в таком виде останки месяцами хранились в контейнере.

Возможно, самое сложное в этой работе — найти необходимые деньги на судебно-медицинскую экспертизу. Ни федеральная, ни местная власть не финансирует работы по идентификации тел нищих мигрантов — не граждан США. Из-за нехватки средств проведение различных лабораторных анализов, необходимых для составления биологического досье, откладывалось. Ситуацию, с которой столкнулись волонтеры, Спрэдли отразила в заявке на грант, которая читалась как страстный призыв о помощи. Она сопоставила число погибших мигрантов, обнаруженных в округе Брукс в 2012 г., с числом пассажиров «Боинга-737». «Если разбивается «Боинг-737», это считается массовым бедствием и государство выделяет средства на поиск и идентификацию останков пассажиров, — писала она. — Но поскольку мигранты-нелегалы гибнут не сразу, несчастные случаи накапливаются постепенно, хотя и происходят на той же самой территории, их смерть не считается массовой трагедией и на необходимую работу по документальному оформлению и захоронению жертв этой массовой катастрофы не выделяется никакого финансирования».

20 марта 2014 г., почти через год и девять месяцев после того, как были найдены останки № 0425, Спрэдли со студентами смогла вернуться к анализу досье этого мигранта. Предварительно

установить базовые параметры — пол и рост — в подобных случаях не всегда легко из-за порчи останков и отсутствия главных костей. Но поскольку скелет относительно хорошо сохранился, Спрэдли смогла провести тщательный анализ костей таза. Исследование группы костей, включая вентральную дугу, подлобковую дугу, срединную седалищно-лобковую часть левой тазовой кости, позволили команде Спрэдли утверждать «с вероятностью 100%», что останки № 0425 принадлежат женщине, что и было указано в совместном отчете.

Ученые использовали другую методику для оценки роста «номера 0425», известную как анатомический метод Фулли, когда длина всех костей из-

Для определения возраста умершей ученые исследовали структуру костей. Как показал анализ, у «номера 0425» эпифизы — суставные части трубчатых костей — не полностью сформировались. Это могло свидетельствовать о том, что с раннего возраста эта женщина переносила тяжелые нагрузки или недоедала, что стало причиной задержки ее физического развития

меряется вдоль средней линии тела — с головы до пят. Этот метод был впервые использован для измерения роста французов, погибших во время Второй мировой войны в австрийском концлагере Маутхаузен. Выяснилось, что рост «номера 0425» был между 140 и 150 см.

Оценить возраст этой женщины оказалось труднее. Некоторые эксперты утверждают, что практически невозможно установить точный возраст человека на момент смерти на основании одних лишь останков, поскольку у одних людей кости изнашиваются быстрее, чем у других. Для определения возраста умершей Спрэдли с командой исследовали структуру костей. Как показал анализ, у «номера 0425» эпифизы — суставные части трубчатых костей — не полностью сформировались. Это могло свидетельствовать о том, что с раннего возраста эта женщина переносила тяжелые нагрузки или недоедала, что стало причиной задержки ее физического развития. «Эпифизы костей формируются с возрастом, — объясняет Спрэдли, — и у взрослого человека этот процесс

завершается к 25 годам». Несформировавшиеся кости «номера 0425» позволили оценить возраст погибшей в интервале от 20 до 35 лет.

Откуда она?

Далее Спрэдди попыталась установить национальное происхождение этой женщины по ее черепу. Еще в магистратуре Спрэдди занималась так называемым краниометрическим анализом, изучая черепа людей, имевших африканских предков. Тогда же она узнала, что физические перегрузки в детстве могут вызывать изменения костной структуры. Группа получила необходимые для анализа данные с помощью цифрового преобразователя, построив трехмерную компьютерную модель черепа. Эту информацию ввели в программу

применены к исследованию останков предположительно мужчины-латиноамериканца, обычно приводят к ошибке в определении пола, — говорит Спрэдди. — Но если пол установлен неправильно, человека вообще невозможно идентифицировать».

Проведенные Спрэдди замеры черепа, принадлежащего «номеру 0425», показали, что он «вероятно, принадлежит латиноамериканке», но такая формулировка не позволяла сделать вывод, откуда эта женщина — из Мексики, Гватемалы, Сальвадора или Чили, а если бы она была, например, из Мексики, то нельзя было бы сказать, из какого она города — из Оахаки или Веракруса. Отсутствовали и способы определения ее этнической или племенной принадлежности: относится ли она к народам майя, сапотекам, шинка, ленка, к афро-

колумбийцам или другой народности? Спрэдди методично пополняет сравнительную базу данных, описывая особенности костной структуры и генов-маркеров, характерных для иммигрантов из Центральной Америки, — люди оттуда чаще всего и гибнут в Южном Техасе. Она сводит воедино отчеты о несчастных случаях при переходе границы, которые составляются управлением судебно-медицинской экспертизы округа Пима в Тусоне, штат Аризона, две описанные коллекции останков с двух кладбищ в Мексике и документальные матери-

алы о жертвах нарушений прав человека во время гражданской войны в Гватемале.

Спрэдди использует эту информацию, чтобы систематизировать различия в размерах и формах черепа, например, у мексиканцев и гватемальцев. Эти данные затем поступают в Банк данных судебно-медицинской антропологии, соучредителем которого в 1980 г. стал Ричард Янц (Richard Jantz) из Университета Теннесси в Ноксвилле, ее бывший университетский преподаватель. Эта информация в конечном итоге поможет быстрее и точнее узнавать, откуда мигранты, такие как «номер 0425», начинали свое путешествие.

Установить личность

Имея полное биологическое досье, Спрэдди со своей группой попыталась идентифицировать останки, сверяя досье с базой отчетов о пропавших без вести людях. Спрэдди обратилась в правозащитный центр «Колибри» в Тусоне, который ведет списки пропавших людей — не граждан США. Эти

Проведенные замеры черепа, принадлежащего «номеру 0425», показали, что он «вероятно, принадлежит латиноамериканке», но такая формулировка не позволяла сделать вывод, откуда эта женщина — из Мексики, Гватемалы, Сальвадора или Чили, а если бы она была, например, из Мексики, то нельзя было бы сказать, из какого она города — из Оахаки или Веракруса

FORDISC 3.1. Программа позволила произвести поиск по цифровой справочной базе данных, хранящей информацию о формах черепа, характерных для разных этнических групп, и сравнить данный череп с имеющимися в базе эталонами.

Когда речь идет о народах Латинской Америки, такой анализ крайне затруднителен. Хороших коллекций, включающих эталоны костей латиноамериканцев, не существует. В США имеются археологические коллекции костных останков — американцев европейского происхождения и афроамериканцев, причем большинство единиц хранения относятся к концу XIX — началу XX в. Из-за отсутствия сравнительных данных судебно-медицинские расследования, которые проводятся для установления этнического происхождения латиноамериканцев по найденным останкам, часто заходят в тупик. В самых запутанных случаях попытки установить происхождение могут привести к полной неразберихе. «Методики для идентификации предположительно белого человека, будучи

данные важны, поскольку американский Национальный регистр пропавших без вести лиц и неопознанных останков (*NamUs*) имеет существенные пробелы в информации об иностранных гражданах.

В базе данных центра «Колибри» обнаружилось возможное совпадение биологического доосье № 0425 с документами о пропаже человека, объявленного в розыск в Гондурасе. Как выяснилось, семья из Гондураса обратилась с этими документами в центр «Колибри». Информация по делу совпала с некоторыми деталями из биологического доосье, установленными в ходе расследования, включая пол, происхождение, рост и личные вещи. Эти данные также соответствовали приметам женщины, чье удостоверение личности было найдено в тифле: ее звали Мария Альбертина Ирахета Гуардадо (*María Albertina Iraheta Guardado*). И теперь Спрэдди должна была это проверить. Исполнительный директор «Колибри» Робин Райнеке (*Robin Reineke*) порекомендовал тexasским исследователям обратиться в Аргентинскую группу судебной антропологии. Это объединение правозащитников собирает образцы ДНК у членов семьи пропавших мигрантов (так называемые контрольные образцы ДНК родственников), чтобы помочь установить личности нелегалов, погибших при переходе границы.

Анализ ДНК проводится только после того, как находится совпадение данных из тщательным образом составленного биописьма и конкретного протокола о пропаже человека. Тexasская лаборатория взяла образец плюсневой кости и отослала его в лабораторию Аргентинской группы для сравнения с контрольными образцами ДНК родственников из имеющейся базы данных. Проба ДНК плюсневой кости совпала с одним из контрольных образцов. Так 25 апреля 2014 г. ученые наконец получили необходимое подтверждение. С того дня, как были найдены останки Ирахеты Гуардадо, понадобилось целых два года, чтобы установить ее личность.

В ожидании итога

В возрасте 37 лет Мария Альбертина Ирахета Гуардадо решила покинуть общину Дос Бокас в городке Санта-Роса-де-Агуан, что в Гондурасе, и переехать в Бронкс, к сестре, которая трудится домработницей. Она собиралась посылать деньги своей матери, чтобы помогать ее шестерым детям. Некоторые из них уже взрослые, но двое — девяти и 14 лет — все еще живут с матерью Ирахеты.

По словам матери и сестры, с которыми я говорила по телефону, Ирахета Гуардадо хотела уехать еще и потому, что она устала от насилия, свирепствующего в Гондурасе, где с 2012 г. отмечается наивысший уровень убийств среди всех стран мира. Несколько лет назад ее муж трагически

погиб от шальной пули во время перестрелки, говорит Мария Амелия Гуардадо, мать Ирахеты: «Его просто убили, как и всех прочих, потому что здесь такое происходит сплошь и рядом».

В Аргентинской группе судебной антропологии женщине сообщили, что ее дочь пересекла границу 15 июня 2012 г. недалеко от города Браунсвилл, штат Тexas, вместе с группой других мигрантов и сопровождавших их контрабандистом. Она шла пешком два дня, потом ей стало плохо и ее бросили недалеко от городка Фалфьюрриас.

Опознание Ирахеты Гуардадо потребовало совместных усилий судмедэкспертов-антропологов, правозащитных организаций, зарубежных консульств и правоохранительных органов. После этого мать с нетерпением ждала, когда ей вернут останки дочери; их репатриация затянулась из-за волокиты с выдачей свидетельства о смерти. В конце концов в начале апреля 2015 г. останки прибыли и были переданы семье для захоронения.

Команда экспертов, которой удалось идентифицировать останки Ирахеты Гуардадо, одержала трудную, но абсолютную победу. Члены команды были воодушевлены успехом, но их изнурительный труд потребовал эмоционального напряжения. Когда в июне 2014 г. Криста Латам готовилась к очередной поездке в Фалфьюрриас на двухнедельные работы по эксгумации останков, она написала в своем блоге: «Я 13 раз не смогу почитать сыну сказку на ночь, 14 дней не смогу обнять и поцеловать его. Но меня поддерживает одна мысль: я временно покидаю семью, чтобы помочь воссоединиться другим семьям. Я снова обниму и поцелую сына, но сотни матерей, чьи дети похоронены в безымянных могилах в мемориальном парке Святого Сердца, не могут сказать о себе того же».

Перевод: С.В. Гогин

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- *Showdown in the Sonoran Desert: Religion, Law, and the Immigration Controversy.* Ananda Rose. Oxford University Press. 2012.
- *Northbound: What Happens after Crossing the Border.* Ananda Rose in Foreign Affairs. Published online July 2, 2014.
- Фильм Гаэля Гарсии Бернала и Марка Сильвера «Что за Даяни Кристал?» (*Who Is Dayani Cristal?*) 2014 г.: <http://whosidayanicristal.com>
- Фильм Пилар Тимпейн о работе судмедэкспертов-антропологов в Тexasе см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2015/forensic-anthro

Российские ученые раскрыли тайну смерти Ясира Арафата



Палестинского лидера Ясира Арафата не стало 11 ноября 2004 г. Ему было 75 лет, и ничто не предвещало его ухода из жизни. Но вдруг он почувствовал себя плохо, потерял сознание и в очень тяжелом состоянии был доставлен во Францию, где вскоре скончался в военном госпитале. Супруга Арафата не дала согласия на вскрытие, медики точно не смогли определить причину смерти, но поставили диагноз: обширный инсульт. Казалось бы, поставлена точка, но...

КРИМИНАЛИСТИКА

ИНСУЛЬТ

Спустя восемь лет после смерти Арафата специалисты Лозаннского института радиофизики обнаружили в одежде, на шапке и в зубной щетке Арафата повышенное содержание полония-210. Швейцарские радиологи тут же сообщили о своем сенсационном открытии — что именно этот радиоактивный материал и вызвал резкое ухудшение здоровья Арафата.

Заявление об отравлении Арафата не только вызвало переполох в мире, но и породило множество всевозможных предположений о тайной войне, которую ведут спецслужбы разных стран против Палестины.

Президент Палестины Махмуд Аббас дал разрешение на эксгумацию останков Ясира Арафата, которая состоялась 27 ноября 2012 г. В ней приняли участие эксперты трех государств — Швейцарии, Франции и России.

Нашу группу исследователей возглавил академик Леонид Андреевич Ильин — один из ведущих российских ученых в области радиационной защиты. На протяжении многих лет он возглавлял Институт биофизики Минздрава СССР, а сейчас занимает пост президента ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.Н. Бурназяна».

— Почему вокруг этого дела была такая секретность?

— Во-первых, по этическим соображениям, во-вторых, ученые должны работать в спокойной обстановке и сообщать о результатах исследований только тогда, когда они в них полностью уверены. Мы подготовили научную статью о результатах исследований, т.е. сегодня мы можем ответить на вопрос, стало ли причиной смерти Ясира Арафата отравление полонием.

— Я пока не спрашиваю, да или нет, поскольку хочу понять масштабы проведенных исследований.

— Хотелось бы подчеркнуть, что в них принимали участие многие специалисты, и их имена нужно обязательно назвать, хотя обычно в интервью и беседах это не делается. Однако работа проведена необычайно сложная и важная, а потому называю тех, кто подготовил к публикации в научной печати статью «Полониевая версия смерти Ясира Арафата: результаты российских исследований». Это В.В. Уйба, К.В. Котенко, Л.А. Ильин, Ю.Е. Квачева, Ю.В. Абрамов, И.А. Галстян, А.К. Гуськова, Б.А. Кухта, Н.М. Надеждина, В.А. Стебельков, А.Г. Цовьянов, С.М. Шинкарев, В.Н. Яценко.

ИЛИ ПОЛОНИЙ?



— Некоторых знаю — прекрасные специалисты, зарекомендовавшие себя в случаях, когда происходили ядерные аварии...

— В исследованиях принимали участие специалисты, которых хорошо знают в мире. Наш институт был создан в конце 1946 г. Это было первое научное учреждение, в котором разрабатывались проблемы патогенеза, клиники и лечения лучевой болезни, изучалась токсикология радиоактивных веществ.

— В том числе и полония-210?

— Конечно. Причем исследовались не только влияние этих веществ на человеческий организм, но и способы его удаления — создавались средства для профилактики и лечения радиационных поражений. Позже появились и другие научные центры — лаборатории и институты, но Институт биофизики по-прежнему оставался головным учреждением. Именно он обеспечивал медико-биологическое сопровождение атомного проекта — как создания ядерного оружия, так и мирного развития атомной энергетики и промышленности. Итак, наши специалисты имели самое прямое отношение к поражению радиоактивными веществами, однако случай с Ясиром Арафатом оказался уникальным. Дело в том, что необходимость получения информации о содержании в останках умершего человека конкретного радионуклида в связи с подозрением на радиоактивное отравление как возможную причину смерти возникла впервые. Требовалась абсолютная надежность результатов, чтобы не возникло сомнений. Ситуация осложнялась тем, что между захоронением и эксгумацией останков прошло восемь лет. Мягкие ткани тела подверглись полному разрушению, а потому отдельные органы трудно было различить. Полоний концентрируется в селезенке, печени и почках, так что в первую очередь исследовались их разложившиеся останки. Плюс к этому изучались и образцы костей.

— Все-таки можно назвать главную трудность?

— Надо было понять, что произошло осенью 2004 г., когда, по предположениям, Арафат мог быть отравлен полонием-210. Физические измерения затруднены, т.к. за восемь с половиной лет прошло более 22 периодов полураспада полония, т.е. активность радионуклида снизилась в 7 млн раз! Нашим клиницистам было хорошо известно, что для развития «полониевой» лучевой болезни необходимо, чтобы в организм человека в течение двух-трех недель поступало определенное количество вещества. Стало очевидным, что если в октябре-ноябре 2004 г. Арафата пытались отравить полонием, то к маю-июню 2013 г. исходная активность снизилась бы до естественного фона. Таким образом, факт отравления установить было бы невозможно. Поэтому нужны были медицинские документы пациента. Они могли бы в определенной степени прояснить ситуацию. Впрочем, можно было пойти и по ложному пути, если безоговорочно принять вариант



Почетный президент ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, академик РАН, д.м.н., профессор Л.А. Ильин

отравления. Наличие повышенного содержания полония в организме при жизни и в останках может быть по двух причинам. Первый сценарий — поступление полония-210 с пищей, водой или при дыхании. Второй — в организм или останки мог поступить свинец-210, который, постепенно распадаясь, «нарабатывает» радионуклид полония-210. Обстоятельства, которые я перечислил, да и другие барьеры на пути исследований потребовали применения разноплановых подходов и методов решения столь необычной и уникальной научно-практической задачи. Так что пришлось вести исследования как медицинские, так и физические.

— Что вы имеете в виду?

— Что греха таить, у нас были случаи, когда во время аварий страдали люди и мы их лечили. Это были поражения полонием, и они самым тщательным образом зафиксированы медиками. В нашем распоряжении оказались медицинские документы Арафата. Они были представлены по нашей просьбе палестинской стороной. Таким образом, была возможность сопоставлять материалы клинических наблюдений, анализировать данные, определять, стало ли причиной смерти Арафата радиационное воздействие.

— И вывод?

— Не следует торопиться, сначала необходимо познакомиться с физическими исследованиями. В них выяснялось, каково содержание полония-210, свинца-210 и других радионуклидов в изъятых при эксгумации образцах.

— **Их было много?**

— Чуть более 20 биологических и иных объектов. Это детрит внутренних органов.

— **Что это такое?**

— Детрит — разложившиеся остатки. Изучались образцы костей, образец мягких тканей затылочной области головы с волосами, а также фрагменты савана, пробы земли над и под останками и в склепе. При проведении физических исследований использовались все известные методы регистрации полония-210. Установки самые разные, поверьте, они у нас весьма разнообразны. Причем методы измерений были как прямые, так и косвенные.

— **После Чернобыля мы лучше понимаем, что такое лучевая болезнь и насколько стремительно и жестоко она развивается. Но там полония-210 ведь не было...**

— Полоний-210 относится к тем радионуклидам, которые относительно равномерно распределяются в органах и тканях организма. Если он поступает в организм человека в большом количестве, то поражения очень сходны с острой лучевой болезнью от внешнего равномерного облучения — т.е. теми самыми случаями, которые мы наблюдали во время аварии в Чернобыле. Происходит поражение системы кроветворения, костный мозг становится «пустым» и организм не может защищаться от любых инфекций. Это общая картина радиационного поражения. Однако у полония-210 есть некоторые особенности. При поражении им отмечаются множественные спонтанные кровоизлияния, обильные повторные кровотечения из мочевыводящих путей, прямой кишки, носа и т.д. Кроме нарушения кроветворения выходят из строя печень и почки, они работают неустойчиво, спонтанно.

— **Нечто подобное было и у Арафата?**

— Он скончался на 30-е сутки после начала болезни. Признаков поражения кроветворной ткани выявлено не было. Костный мозг работал без сбоев. Лихорадки и признаков очаговой инфекции врачи не наблюдали. В течение 25 суток почки работали нормально, ухудшение произошло на заключительной стадии заболевания. Таким образом, по итогам детального изучения медицинских документов, которые были нам предоставлены, мы можем твердо заявить, что симптомов лучевого поражения, характерных для поступления в организм полония-210, не было.

— **А что же показала физическая часть исследований?**

— Было решено провести углубленные исследования. Мы вели сравнение не только с литературными источниками, как обычно это делается в аналогичных случаях. Для контроля данных и для определения фоновых, т.е. природных, значений содержания полония-210 были взяты образцы костной ткани у мужчины, который скоропостижно скончался и которому исполнился 71 год.

Контрольные измерения были нужны для того, чтобы не совершить весьма распространенную ошибку. Дело в том, что содержание полония-210 в мягких тканях человека в различных регионах Земли разное...

— **А здесь оказалось одинаковым?**

— Не торопитесь. Вывод оказался для всех неожиданным: в биологических пробах останков Арафата активность радионуклида полония-210 превышала значения естественного фона на один-два порядка!

— **Но это уже детектив! В десять или даже сто раз больше! Может быть, ошибка?**

— Нет. Исследования велись в двух разных лабораториях. Каждый образец делился на несколько частей. Затем проводилась соответствующая радиохимическая обработка и шло измерение всплывающей. Такой подход позволил каждому подразделению лаборатории осуществить независимый анализ материалов. Сравнение результатов подтверждает достоверность полученных данных.

— **Значит, Арафат был отравлен?**

— Сделаем гипотетическое предположение, что обнаруженное повышенное содержание полония-210 в останках Арафата в мае-июне 2013 г. связано с тем, что радионуклид поступил в организм в октябре 2004 г., то есть за месяц до смерти. Простой расчет показывает, что в этом случае количество полония-210 должно быть очень большим, доза составила бы несколько сотен грай (если пользоваться терминологией из прошлого — рентген). Это острейшая лучевая болезнь, от нее человек погибает в течение нескольких суток. Как известно, во французской армейской лаборатории 8 ноября 2004 г. проводились измерения двух проб мочи пациента. Ничего опасного выявлено не было. Однако пациент скончался через три дня.

— **Но полоний-210 есть! Откуда же он?**

— От изотопа свинца-210. Его концентрация вследствие посмертного обезвоживания возрастает, причем в детрите мягких тканей больше, чем в костях. Активность радионуклида свинца-210 в исследованных образцах также на один-два порядка превышает значения природного фона.

— **И главный вывод?**

— У нас нет сомнений, что острой лучевой болезни у Ясира Арафата не было. Более того, содержание свинца-210 и полония-210 в его организме не могло вызвать резкое ухудшение здоровья, а тем более смерть.

Итак, как и положено, вот и развязка детективной истории, связанной с Ясиром Арафатом. Поставлена последняя точка, ясная и убедительная. Остались ли сомнения? По мнению ученых, французских и наших, их нет. ■

Беседовал Владимир Губарев

Стюарт Ли и Елизавета Солопова. Ключи от Средиземья (*Stuart Lee and Elizabeth Solopova. The Keys of Middle-Earth*)

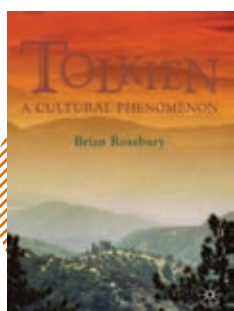


Книга профессора Оксфордского университета Стюарта Ли и доцента Елизаветы Солоповой представляет собой развернутый комментарий специалистов к сочинениям Д.Р.Р. Толкиена. Не ограничиваясь рамками какого-либо одного текста, авторы показывают механизм создания писателем неповторимого художественного мира Средиземья.

Вначале они кратко характеризуют уровень медиевистики и совокупность источников, которыми мог располагать писатель, а затем показывают пути их использования.

В поле зрения авторов находятся памятники кельтской, готской, древнеанглийской литературы, а также записи эпических текстов, выполненные в XIX в., например карело-финский эпос «Калевала». Впервые привлекаются изданные и неизданные переводы Толкиена, в частности его перевод «Сказания о Беовульфе». Поскольку книга адресована не только специалистам, но и многочисленным фанатам, авторы избрали форму занимательного эссе. Вместе с тем работу отличают точность и обоснованность выводов, характерные для научного исследования. Все средневековые тексты представлены в переводах и на языке оригинала, снабжены лексикологическим и реальным комментарием, помогающим понять механизм их использования. Авторы показывают, как прочтение древних текстов вдохновило Толкиена на создание трилогии и как многочисленные источники были использованы при создании его авторской мифологии, а затем и цельного культурного мира.

Брайан Роузбери. Культурный феномен Толкиена (*Brian Rosebury. Tolkien: Cultural Phenomenon*)



Книга профессора Университета Центрального Ланкашира Брайана Роузбери, второе, значительно расширенное издание которой мы представляем читателю, — результат многолетних изысканий автора. Важно, что Роузбери подходит к творчеству Толкиена исключительно с позиций исследователя. Он

впервые анализирует все, что им создано («Сильмариллион», «Хоббит», «Властелин колец», а также письма, эссе и стихи), как единый метатекст. Подобный прием позволяет не только вскрыть особенности толкиеновского нарратива и приемов организации повествования, но и вписать книги писателя в контекст английской литературы, показав обоснованность исключения писателя из числа серьезных литераторов. Заключительная часть книги посвящена месту Толкиена в культуре XX в. Роузбери показывает, что влияние, которое оказали и оказывают его книги на современных авторов, определяется прежде всего литературными достоинствами текстов, а не популярностью их экранизаций.

Сирина Паттерсон. Игра и игровой компонент в средневековой литературе (*Serina Patterson. Games and Gaming in Medieval Literature*)

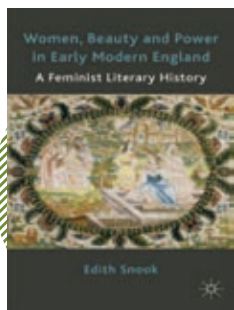


Книга, вышедшая под редакцией известного специалиста по европейскому Средневековью, профессора английской литературы Университета Британской Колумбии Сирины Паттерсон, демонстрирует возможность междисциплинарного подхода к изучению средневековой книжности. Опираясь на широкий круг источников (от фламандских, романских и англо-норманнских проповедей до испанской поэзии и старых французских церковных песнопений и монашеских посланий), она показывает важную роль игры как средства межкультурного общения, особенности ее функционирования в социальных стратах и функции игр в разнообразном социальном окружении — церкви, суде, школе и домашнем хозяйстве дворян и ремесленников.

Например, в ее работе доказано, что в монастырях игра в шахматы использовалась для воспитания внимания и усидчивости, а также формирования логического мышления. Выявляя место игрового компонента в творчестве средневековых писателей и книжников, Паттерсон останавливается на особенностях его восприятия игроками, зрителями и различными социальными сообществами. Главы ее исследования хронологически охватывают период от XII до XVI в., а географически — практически всю Западную Европу. Важно, что автор не ограничивается собственно играми, но показывает воздействие игрового компонента на культуру, в частности на читателя, и его роль в различных речевых жанрах, например в застольных беседах. Для человека

Средневековья игра была не столько развлечением или средством организации досуга, сколько инструментом психологического тренинга, хотя во многих случаях сами игроки об этом и не догадывались. На это указывает зыбкость границ между игрой и реальным миром, а также общность игровых действий в разных концах Европы.

Эдит Снук. Женская красота и власть женщин в средневековой Англии (*Edith Snook. Women Beauty and Power in Early Modern England*)



Монография профессора канадского Университета Нью-Брансуика Эдит Снук относится к редким работам, которые посвящены исследованию повседневной жизни в далеком прошлом. Однако, в отличие от большинства работ, она не стремится к широким обобщениям, но предлагает взглянуть на жизнь известных в истории женщин изнутри. Весь материал распределен вокруг трех главных составляющих внешнего облика женщины — одежды, косметики и парикмахерского искусства. В поисках достоверных сведений Снук пришлось просмотреть множество мемуаров, писем и личных дневников, домашних расходных книг и сборников рецептов, которые на протяжении многих веков передавались из поколения в поколение. Все эти собранные по крупицам сведения исследовательница сопоставляет с мемуарами и дневниками известных женщин. В результате возникает эффект двойного видения — то, что женщины не договаривали в текстах для публики, фиксировалось в личных документах и восстанавливается по косвенным источникам — например, по книгам заказов лондонских парикмахеров, обслуживавших представительниц аристократии. По их просьбам они обращались к аптекарям и заказывали у них необходимые средства. Оказывается, многие рецепты средств для ухода за волосами были известны уже 250 лет назад.

Автор показывает, как женщины постепенно совершенствовали методы и средства ухода за своей красотой, использовали самые последние достижения медицины своего времени, а иногда опережали ее развитие. На многочисленных примерах Снук доказывает, что мир женщины в раннее Новое время был ничуть не менее насыщен, чем мир мужчин. Ведь внешность не только служила целям социальной идентификации, но и была важнейшим средством достижения успеха в мужском обществе, а иногда определяла и успешную

карьеру супруга. Благодаря большой библиографии и обширному цитированию редких источников книга представляет собой прекрасный справочник для историка и специалиста по английской литературе.

Джанет Мэйбин и Николь Уотсон. Детская литература: подходы и география (*Janet Maybin and Nicole Watson. Children's Literature: Approaches and Territories*)



Книга доцентов британского Открытого университета Джанет Мэйбин и Николь Уотсон задумывалась как обзорное современное англоязычной литературы для детей и юношества. Однако в процессе работы авторы поняли, что без исторического введения обойтись невозможно, и в результате по-

лучилась интересная монография о происхождении, истории, современном состоянии и будущем англоязычной детской литературы.

Как определить границы современной детской литературы? Каким образом она изменилась в XXI в.? Повлияло ли это на представления о классических книгах? Каково воздействие цифровых СМИ и глобализации на книги для детей? В поисках ответов на эти вопросы авторы обратились к ведущим специалистам главных университетов Великобритании, обобщив их ответы в форме тематических эссе. Обрамлением книги стали историческое введение и завершающий раздел о воздействии современной информационной среды на детское чтение. Авторы показывают, что представление о подлинной классике — константа, не подверженная существенным изменениям, и даже мощное влияние современных средств передачи информации не смогло сместить приоритеты, складывавшиеся веками.

Подготовила Т.М. Колядич

КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.
2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.
3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:
 - по адресу 119991, г. Москва, ГСП-1 Ленинские горы, д. 1, к. 46, офис 138, редакция журнала «В мире науки»;
 - по электронной почте podpiska@sciam.ru, info@sciam.ru;
 - по факсу: +7 (495) 939-42-66.

Стоимость подписки на первое полугодие 2015 г. составит:

Для физических лиц: **1380 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью*.

Для юридических лиц: **1500 руб. 00 коп.**

Стоимость одного номера журнала: за 2013 г. — **100 руб. 00 коп.**, за 2014 г. — **120 руб. 00 коп.**

(без учета доставки): стоимость почтовой доставки по России — **100 руб.** заказной бандеролью, **70 руб.** — простым письмом.

Бланк подписки на журнал размещен на сайте www.sciam.ru.

Уважаемые подписчики! После подтверждения платежа вы будете получать журнал ежемесячно с доставкой в отделение почтовой связи.

* Если ваша заявка о подписке получена до 10-го числа месяца, то начиная со следующего месяца с почты вам начнут приходить уведомления о заказной бандероли. Такая система доставки журналов гарантирует 100%-ное получение. За доставку простой бандеролью редакция ответственности не несет.

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2014 г.												
2013 г.							объединенный выпуск					
2012 г.												
2011 г.												
2010 г.											объединенный выпуск	

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик

ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ

НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ»

МОЖНО:

В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ

ПО КАТАЛОГАМ:

«РОСПЕЧАТЬ»,

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

81736 ДЛЯ ЧАСТНЫХ ЛИЦ,

19559 ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

И ОРГАНИЗАЦИЙ;

«ПОЧТА РОССИИ»

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

16575 ДЛЯ ЧАСТНЫХ ЛИЦ,

11406 ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

И ОРГАНИЗАЦИЙ;

КАТАЛОГ «ПРЕССА РОССИИ» 45724

WWW.AKC.RU

ПОДПИСКА ПО РФ И СТРАНАМ СНГ:

ООО «УРАЛ-ПРЕСС»,

WWW.URAL-PRESS.RU

СНГ, СТРАНЫ БАЛТИИ И ДАЛЬНЕЕ

ЗАРУБЕЖЬЕ: ЗАО «МК-ПЕРИОДИКА»,

WWW.PERIODICALS.RU

РФ, СНГ, ЛАТВИЯ:

ООО «АГЕНТСТВО "КНИГА-СЕРВИС"»,

WWW.AKC.RU



Цикл телепрограмм

ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



Автор и ведущая —
Эвелина Закамская

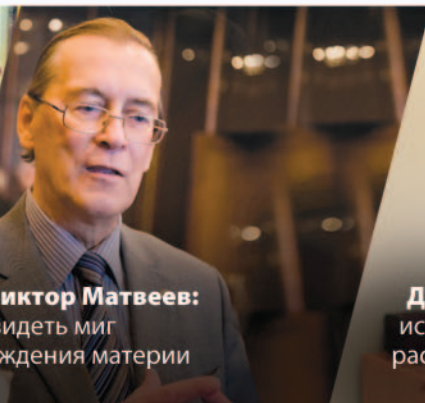
РОССИЯ 24

очевидное
невероятное

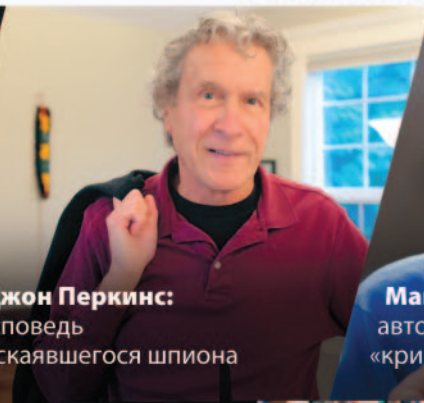
ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ
**НАУЧНАЯ
РОССИЯ**



Дирк Хельбинг:
как выжить
в информационной
лавине



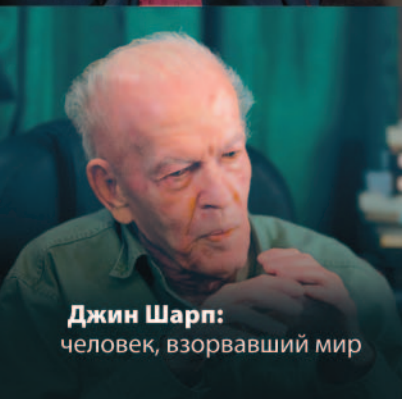
Виктор Матвеев:
увидеть миг
рождения материи



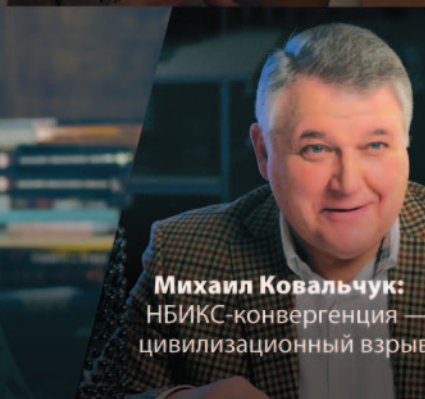
Джон Перкинс:
исповедь
раскаявшегося шпиона



Майкл Газзанига:
автор концепции
«криминального мозга»



Джин Шарп:
человек, взорвавший мир



Михаил Ковальчук:
НБИКС-конвергенция —
цивилизационный взрыв



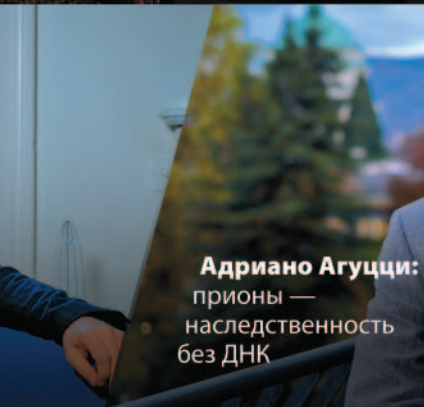
Ноам Хомский:
интеллектуал
Западного полушария



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



Бертран Пикар:
вокруг света
на энергии Солнца



Адриано Агуцци:
прионы —
наследственность
без ДНК

АСТРОНОМИЯ

Весь свет,
который был

ТЕХНОЛОГИИ

Лучший шанс для
покорения Марса

МЕДИЦИНА

Лекарство против
воспаления

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sci-ru.org

№8-9 2015

Юный чудо-разум

Быстрый рост аксонов —
причина живости ума
и рискованного поведения
подростков

ISSN 0208-0621



15009



9 770208 062001 >

