

КОСМОЛОГИЯ

Ребус темной
энергии

ГОРНАЯ ТЕХНИКА

Пройти
сквозь Землю

НЕЙРОНАУКИ

Очистка мозга
от мусора

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

5/6 2016

12+



ЧЕЛОВЕК-ЗАГАДКА

Таинственные кости, найденные
в Южной Африке, породили новые
споры о происхождении человека

БИОТЕХНОЛОГИИ

ПОРЯДОК РОЖДАЕТСЯ
ИЗ ХАОСА

Академик Александр Спири
о молекулярных наномашинах,
законах микромира и научном
поиске





4



138

Темы номера

БИОТЕХНОЛОГИИ

Философия микромира: порядок рождается из хаоса

Елена Кокурина

Секрет успеха академика **Александра Спирина**, основателя Института белка РАН, прост: наука — это самое главное и интересное в жизни

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Сверхтяжелые элементы

Валерий Чумаков

Научный руководитель Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ академик **Юрий Оганесян** — о поиске новых элементов таблицы Менделеева



ГОРНАЯ ТЕХНИКА

Путешествие к центру Земли, а потом и Луны

Владимир Губарев

Кемеровскими учеными создан аппарат, способный уже в ближайшее время отправиться на Луну и пробурить ее насквозь

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Что наша жизнь? Вода!

Валерий Чумаков

Наше путешествие по многочисленным институтам Томского политехнического университета продолжается в Институте природных ресурсов ТПУ

ЭВОЛЮЦИЯ

Человек-загадка

Кейт Вонг

Удивительная находка древних костей привела в смятение и ученых, и средства массовой информации

СОДЕРЖАНИЕ

Май / Июнь 2016

4 КОСМОЛОГИЯ Ребус темной энергии 50

Марио Ливио и Адам Рисс

Почему расширение нашей Вселенной происходит ускоренно? После двух десятилетий исследований ответ на этот вопрос все еще не получен



12 НЕЙРОБИОЛОГИЯ Промывка мозгов 58

Стивен Голдман и Майкен Недергард

Специальная система выводит из мозга ядовитые продукты жизнедеятельности. Этот процесс происходит преимущественно во сне



УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ Сирия: беженцы от засухи 66

Джон Уэндл

Крестьяне, бежавшие из охваченной гражданской войной страны, рассказывают, как засуха и злоупотребления правительства вызвали насилие в обществе

КОГНИТИВНАЯ ПСИХОЛОГИЯ Рассказы нейробиолога каменного века 74

Дитрих Стаут

Осваивая мастерство изготовления каменных орудий, ученые сканируют собственный мозг, пытаются понять эволюцию интеллекта



ПСИХОЛОГИЯ Сила общества 84

Ульрих Кюнел

Тот, кто наблюдает только за индивидом, никогда не сможет понять людей. Кросскультурная психология изучает то, как влияют на нас общественные нормы и традиции



38



74

СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

**Будущее медицины — 2016:
защита от рака***Карен Уэйнтрауб*

Стимулирование иммунной системы открывает новые возможности борьбы с онкологическими заболеваниями

МЕДИЦИНА

«Как же бьется сердце Сибири?»*Владимир Губарев*

«Сердце» и «доброта» — именно эти слова приходят на ум при знакомстве с выдающимся кардиологом из Томска академиком **Ростиславом Карповым**, в 2015 г. удостоенным Демидовской премии

Наука о гармонии тела*Наталья Лескова*

Профессор **Оксана Драпкина** — об исследованиях российских ученых в области лечения ожирения

Кратчайший путь лекарства*Наталья Лескова*

Российские биотехнологи разработали новый способ адресной доставки лекарств в мозг через нос

БИОТЕХНОЛОГИИ

Учимся у природы*Наталья Лескова*

Начальник отдела нанобиоматериалов и структур Курчатковского комплекса НБИКС-технологий **Тимофей Григорьев** — о высокотехнологичных медицинских разработках

БИОИНЖЕНЕРИЯ

Живые компьютеры*Тимоти Лу и Оливер Перселл*

Скоро специалисты в области синтетической биологии научат живые клетки диагностировать заболевания и бороться с загрязнениями окружающей среды

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Тайна нейтрона*Петер Гельтенборг и Джефффри Грин*

Два высокоточных эксперимента расходятся в определении того, как долго живет нейтрон, прежде чем распасться. Что это значит?

66

ЭКОЛОГИЯ

Спасти Галапагос

138

Пол Таллис

Экосистема с большим количеством редких видов может погибнуть всего за несколько лет из-за постоянного увеличения числа туристов

ЭНЕРГЕТИКА

102 Иллюзия улавливания CO₂ 146*Дэвид Биелло*

В основе любого серьезного плана уменьшения глобального потепления должна лежать технология улавливания углекислого газа, а это маловероятно

КЛИМАТ

108 Изменение штата 156*Дэн Баум*

Как организовать поиски утраченной влаги в Калифорнии?

МЕТЕОРОЛОГИЯ

114 Погода по согласию сторон 166*Ксения Чернявская*

Можно ли управлять погодой? Насколько это безопасно? Отвечает директор Института экспериментальной метеорологии **Владимир Иванов**

118 ХИМИЯ**Искусство сохранять реликвии** 176*Сара Эвертс*

Музейные экспонаты из пластика разрушаются. Ученые пытаются спасти гниющие сокровища

НАУКА И ОБЩЕСТВО

122 Красота познания 184*Ольга Беленицкая*

В Пансионе воспитанниц Министерства обороны РФ учреждено Научное общество им. С.П. Капицы

Разделы**От редакции** 3**50, 100, 150 лет тому назад** 73, 155**Наука в графиках** 101**Технофайлы** 188**Книжное обозрение** 190

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



РОСАТОМ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



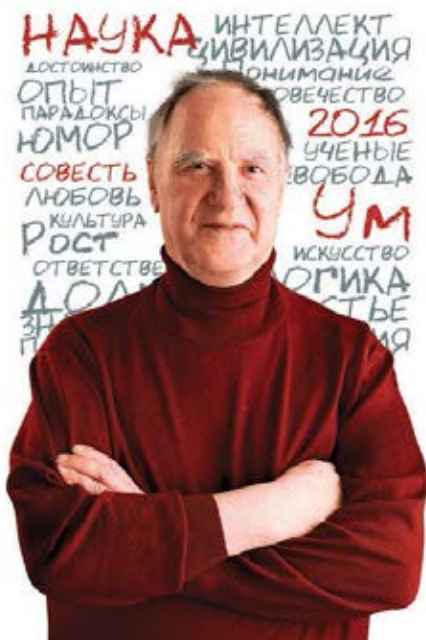
очевидное
невероятное



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

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



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство
распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортвов

Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

Заместитель главного редактора:

С.В. Попова

Ответственный секретарь:

О.И. Стрельцова

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

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

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

д.т.н., проф. В.В. Аксенов; к.х.н., доцент Т.В. Букреева; к.ф.-м.н. Т.Е. Григорьев; д.м.н.,
проф. О.М. Драпкина; к.т.н. А.Б. Ефременков; к.ф.-м.н. В.Н. Иванов; акад. РАН,
д.м.н., проф. Р.С. Карпов; С.В. Магазов; С.Г. Масалитин; акад. РАН, д.ф.-м.н., проф.
Ю.Ц. Оганесян; акад. РАН, д.б.н., проф. А.С. Спириин; д.г.-м.н., проф. С.Л. Шварцев

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, Е.В. Кокурина, Т.В. Колядич А.П. Кузнецов, Н.Л. Лескова,
Е.С. Новоселова, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина, И.Е. Сацевич, В.В. Свечников,
В.И. Сидорова, К.А. Чернявская, Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

Арт-директор:

Д.В. Левин

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

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

В.Е. Фортвов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

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 №5 16-04-00503

© В МИРЕ НАУКИ. Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство ПИ № ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

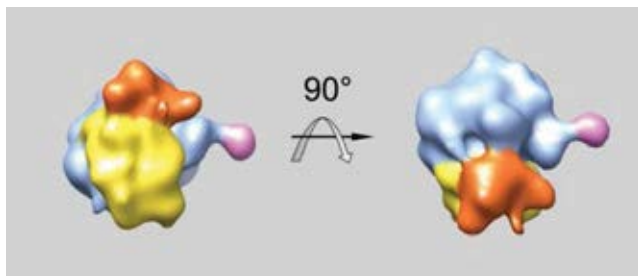
Тираж: 12 500 экземпляров

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.
Переписка 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 ответ-
ственности 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.

ОТ РЕДАКЦИИ



«Процесс научных открытий — это, в сущности, непрерывное бегство от чудес».

Альберт Эйнштейн

Б

Большие научные открытия происходят не так часто, но они всегда дают мощный импульс и самой науке, и ученым. В этом номере журнала речь пойдет именно о таких открытиях — открытиях нобелевского уровня.

По мнению научных экспертов, академик Александр Сергеевич Спиринов мог бы по крайней мере трижды получить главную научную премию: за открытие матричной РНК, за открытие информосом и за исследование структуры и функций рибосом.

В главной статье этого номера «Философия микромира: порядок рождается из хаоса» академик А.С. Спиринов приоткрыл завесу тайны зарождения жизни на нашей планете, рассказывая, как функционирует молекулярная наномашинка — рибосома, присутствующая в каждом живом организме, и по каким законам живет микромир.

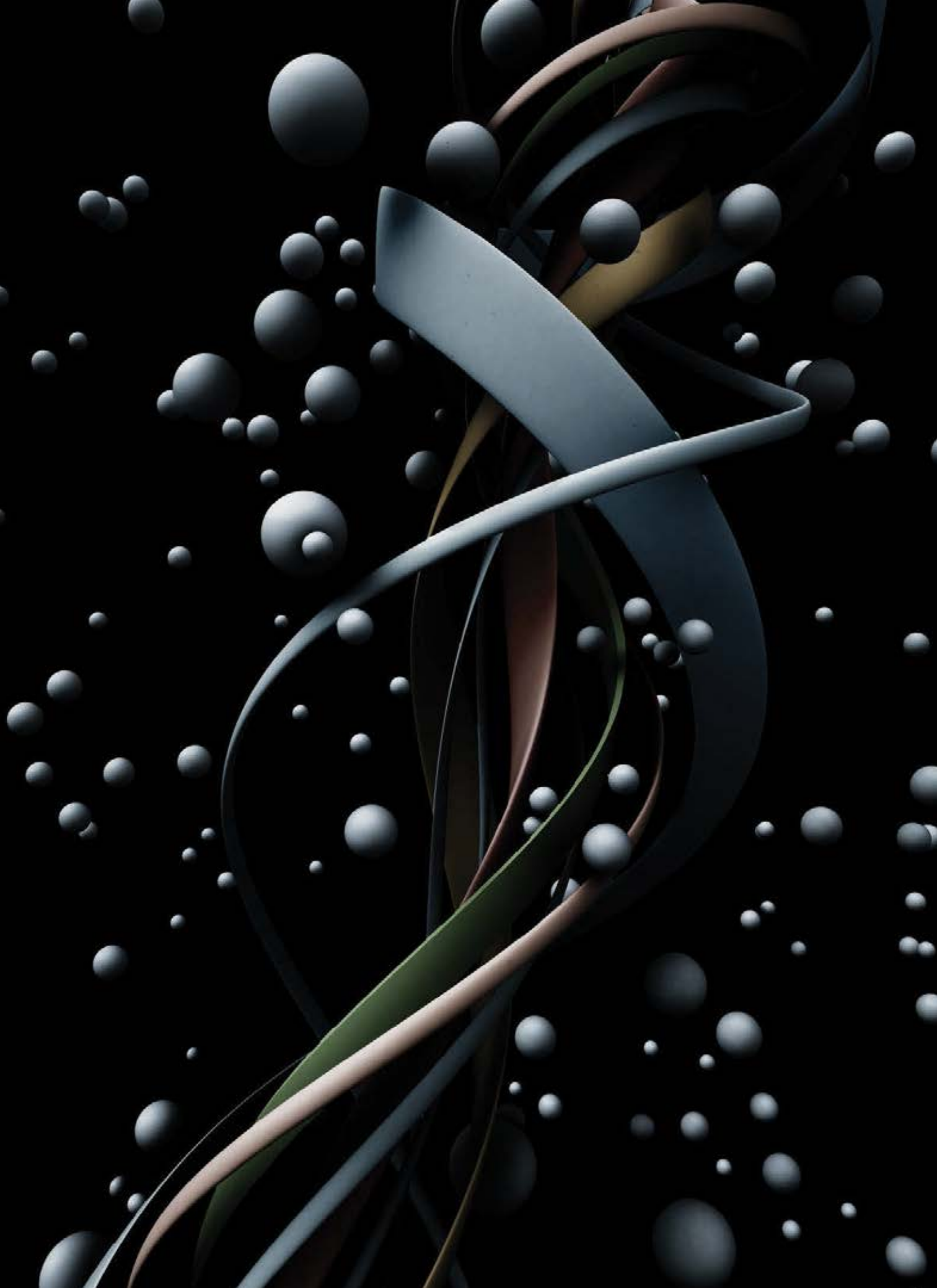
Другое крупное научное событие: несколько месяцев назад Международный союз чистой и прикладной химии (IUPAC) окончательно утвердил факт открытия четырех новых химических элементов с атомными номерами 113, 115, 117 и 118. Честь этого открытия принадлежит Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ, которой руководит академик РАН Юрий Цолакович Оганесян. О том, как были открыты эти элементы, какие трудности подстерегали исследователей на пути к островам стабильности — в статье «Сверхтяжелые элементы».

Возникновение жизни на Земле всегда представляло большой научный интерес и вызывало жаркие споры среди ученых. И по сей день выдвигаются самые разнообразные гипотезы и теории.

Вопреки мифу Чарльз Дарвин никогда не говорил, что «человек произошел от обезьяны». Он лишь предположил, что «человечеству было дано начало некоторым древним членам человекообразной подгруппы». Ученые с этим согласны, только сегодня они полагают, что у современного человека был не единственный предок. Землю одновременно населяли другие члены подсемейства гомининов, которые могли претендовать на роль прародителя *Homo sapiens*. Недавно в пещере Восходящая звезда близ Йоханнесбурга в ЮАР на глубине 30 м были обнаружены кости нового вида *Homo naledi*. О том, прольет ли эта находка свет на тайну нашего происхождения, — в статье Кейт Вонг «Человек-загадка».

Увлекательное путешествие в прошлое человечества продолжается в статье Дитриха Стаута «Рассказы нейробиолога каменного века». В качестве эксперимента добровольцы изготавливают каменные орудия, используя доисторические техники, а затем специалисты по нейровизуализации регистрируют, как это занятие изменило мозг. Дальнейшие исследования подтверждают или опровергают предположение о том, что нервные цепи, перестроенные для изготовления орудий, затем переключились на формирование первичных форм общения, включая жестикоуляцию и даже речь.

Редакция журнала
«В мире науки / Scientific American»



Философия микромира: ПОРЯДОК РОЖДАЕТСЯ ИЗ ХАОСА

Первую свою работу в зарубежном научном журнале **Александр Сергеевич Спирин** опубликовал в 1958 г., и это был *Nature*. А 219-я по счету статья (если верить *PubMed*) вышла буквально на днях в *Scientific Reports*. Между ними — почти 60 лет, отданных молекулярной биологии. Александру Сергеевичу легко удается совмещать, казалось бы, несовместимые вещи: открытия мирового уровня с высоким индексом цитирования, прорывные гипотезы с лабораторным экспериментом, большую науку и научное администрирование. И, конечно, преподавание в МГУ, его альма-матер, которое продолжается с 1964 г. и по сей день. Секрет в его изложении довольно прост: наука — самое главное и самое интересное в жизни. Занимаясь ею, нельзя отвлекаться на второстепенные вещи. Еще он максималист и абсолютно непримирим в принципиальных вопросах, и это знают все в академии.

— **Александр Сергеевич, в течение последних 15 лет вы занимаетесь разработкой модели существования микрочастиц. Если применить научный язык, это принципы работы так называемых молекулярных наномашин — иной, практически недоступный нашему привычному пониманию мир, где действуют свои законы. Какое определение микромира вы можете дать применительно к живому организму?**

— А почему к живому? Ведь то, что мы исследуем, может быть частью и живого, и неживого, и принцип один и тот же. Вот рибосомы, которые я изучаю в течение многих лет, — это, можно сказать, органеллы наноразмера (200 Å), ответственные за синтез всех белков живого мира, один из основных, или

даже основной, процесс жизни. Но ведь сами они неживые, хотя и обязательно присутствуют внутри каждого живого организма. И именно их малые размеры определяют целый ряд свойств и закономерностей, присущих микромиру и проявляющихся и работающих внутри живого.

Что же такое рибосома? Можно дать такое определение: это молекулярная наномашина, способная считывать генетическую информацию, закодированную в виде последовательности нуклеотидов матричной РНК, которую она пропускает (протягивает) через себя, и в соответствии со считываемой информацией и синхронно с ее прочтением синтезировать белок из аминокислот, поступающих в рибосому в виде аминоктил-тРНК. Сама же рибосома

Академик РАН А.С. Спирин



построена из специальной рибосомной РНК, две молекулы которой — большая и малая — образуют структурный каркас для большой и малой субъединиц соответственно. Меньшая доля приходится на специальные рибосомные белки рибосомы.

И вот эта работающая рибосома-наномашина, от которой требуется исключительная прецизионность каждого шага в процессах декодирования генетической информации и синтеза белка, оказывается в условиях, когда, казалось бы, это невозможно. При ее размерах она неизбежно вовлекается в тепловое броуновское движение, включая бомбардировку машины молекулами и частицами среды и собственные тепловые флуктуации частей машины. Таким образом, тепловое броуновское движение будет постоянно «тормозить» машину и ее подвижные модули. В итоге все подвижные части машины дрожат и флуктуируют, а машина в целом беспорядочно дергается и крутится. Другими словами, любой упорядоченной работе молекулярной машины противостоит мощное воздействие беспорядочных тепловых импульсов.

Все «обитатели» микромира подчиняются беспорядочному тепловому движению. Оказывается, на беспорядке и случайных спонтанных событиях тоже могут строиться определенные процессы, если принципиально изменить тактику отбора. Например, в живой природе естественный отбор как раз осуществляется в основном за счет выбраковки плохих особей, а не специальной поддержки хороших. Было открыто, что эта белок-синтезирующая частица в процессе синтеза белка выполняет два типа масштабных движений. Она состоит из двух

неравных субъединиц, большой и малой, объединенных друг с другом. Через рибосому между этими двумя ее частями (субъединицами) проходит нить генетической (белок-кодирующей) матрицы РНК, и несколько, а иногда и много рибосом нанизываются на нее, как бусинки на нить, и движутся по ней в определенном направлении, считывая закодированную в РНК генетическую информацию. В процессе этого продвижения рибосом и считывания ими информации с «нити» РНК каждая рибосома последовательно наращивает полипептидную цепь, из которой потом, когда цепь будет построена, она свернется в глобулу — и получится белок. И так будет повторяться в каждой рибосоме по достижении ею конца считываемой белок-кодирующей части пройденной ею «нити» РНК.

Итак, весь процесс прочтения матричной «нити» РНК каждой рибосомой можно разделить на повторяющиеся шаги, в каждом из которых осуществляется 1) прочтение определенного участка цепи РНК; 2) присоединение очередного звена, кодируемого вышеуказанным участком, к синтезируемому полипептиду. Она работает на случайности, потому что подчиняется тепловому движению и представляет собой непрочное соединение. Части рибосомы сначала притираются друг к другу и, чтобы соединиться, должны распахнуться, затем повернуться и постепенно продвигаться вперед. Но принцип — не в построении, не в индукции определенных движений, а в вылавливании полезных движений, происходящих в этом тепловом хаосе.

В моих лекциях я привожу пример, заимствованный из журнала *Scientific American*, чтобы лучше

представить, что происходит внутри микромира. Вы на автомобиле, вас бомбардируют со всех сторон крупные градины, мотор отказал, а вам надо ехать. Как? Град и ветер вас колотят и бросают в разные стороны, но у вас есть колея. Это та самая «нитка», на которую нанизываются частицы, чтобы двигаться в определенном направлении и только в одну сторону. Что вы делаете? Не забывайте: мотор не работает! Вам надо взять в руку кирпич, встать у заднего колеса, дожидаться, когда вас тряхнет вперед, и подложить под заднее колесо кирпич. Назад машина уже не поедет. Потом еще раз: толчок вперед — и снова подложить кирпич, чтобы автомобиль не откатился назад при ударе спереди. Так машина постепенно продвигается, и вы ей оставляете лишь путь вперед, а назад отсекаете.

В микромире совершенно другие условия, при таких размерах порядка быть не может, и тем не менее все прекрасно работает. Это не сразу понятно, но когда проникаешь в суть, все становится ясно и делается интересным. Основной принцип такой: не надо ничего толкать, тащить, не надо ничего строить — просто ждать и отсекал ненужное, лишнее, используя возможность, предоставляемую окружающей обстановкой.

Так работают и биологические организмы на очень маленьких размерах. Чтобы считать информацию, рибосоме надо «проехать» от начала и до конца «нити», и получится белок. Надо лишь удерживать одно направление и избивать отката назад — именно на это в микромире тратится энергия. Все сводится к тому, чтобы ждать удачного момента. Это и есть способ реализации всех движений в наном мире.

— Можно ли сказать, что в микромире из хаоса рождается порядок? Все основано на случайностях. Но кто играет роль демона Максвелла? Это аналог чего?

— Аналог механизма, который отсекает неверные движения и отбирает полезные. Демон Максвелла применительно к рибосоме — это устройство с АТФ, которое распадается, ловит энергию, снова распадается, снова ловит, в общем, настоящий чертик. Работа состоит в закрывании и открывании возможностей.

— Довольно сложно: не только обычному человеку, но и не всякому исследователю дано понять...

— Я все это описал, изобразил в виде схемы, опубликовал в американском научном журнале *Biochemistry* примерно 15 лет назад и ждал: «Ну, сейчас начнется! Дискуссия, критика, опровержение экспериментами». Дискуссии не было, до сих пор никто не опроверг, а с недавнего времени даже цитировать начали. Думаю, три четверти не поняли, а одна четверть все-таки разобралась.

Для этого надо менять философию нанотехнологии. Недавно «нано» стало модным словом, им стали называть все, что маленькое, просто чтобы получать деньги. А ведь нано — это разворот

в совершенно другой мир, в другие способы продвижения, работы. Я только что показал это на примере синтеза белка и работы рибосомы, которую можно назвать наномашинкой и которая работает на подчинении беспорядку.

— Если вернуться к вашей гипотезе о том, как все зарождалось, микромир с его законами дал начало всему?

— По этому поводу я написал в «Палеонтологический журнал» статью о том, как зарождалась наномашинка. Главный тезис: происхождение жизни началось с образования наномашин, и самая первая примитивная наномашинка — это фермент хеликазы. Главным событием стало не появление РНК и ДНК, а происхождение фермента хеликазы, которая была первой моделью движения наночастиц. РНК и ДНК — уже более сложные, спиральные структуры.

— Согласно вашей гипотезе, при происхождении мира действовал тот же закон, что при рождении из хаоса порядка?

— Конечно! Сначала полный беспорядок, потом — приручение движения при помощи нитки, рельсов, это так и называется — прирученное броуновское движение. А дальше уже требуется работа, чтобы «нанопоезд» шел в одну сторону, и «чертик» обеспечивает толчки для его продвижения вперед. С этого момента появляется машинка. И это явление уже называется «ректификация броуновского движения», т.е. отбор однонаправленных ударов и усилий. Это самовоспроизводящийся механизм.

— Некоторые исследователи, в том числе молекулярные биологи, признают существование Бога. Как вы считаете, это несовместимые вещи?

— Несовместимые, на мой взгляд. Однажды в Америке коллега пригласил меня домой, и я попал в неудобное положение: они перед едой всегда молятся, а я этого не понял, да и не мог предположить. Этот человек был исследователем-естественником, как говорят, до мозга костей, мы мыслили с ним в одних категориях...

Однако многие исследователи допускают существование Бога, но я этого просто не понимаю. Это должны быть очень глубокие следы детства. Или, возможно, из-за недостаточного знания физики. Мы ведь мало понимаем, что происходит в сфере физики малых объектов. Возможно, только сейчас начинаем понимать.

С другой стороны, тезис «выбор из беспорядка» тоже ведь можно назвать догмой, но он по крайней мере основан на эксперименте, а не на религии. Есть другой дежурный ответ: «Так устроен мир». Действительно мир устроен так, но Бог-то при чем? Я думаю, дело в познании, все более глубоко, когда меньше остается уголков для мистического восприятия. Почти все области, которые не даются простому взгляду, постепенно становятся понятными, все-таки дело науки копать глубже и глубже. Хотя,

Модель рибосомы на основе субтомограмм



Головка 40S-субъединицы (красный), тело 40S-субъединицы (желтый), 60S-субъединица (голубой), P1/P2-выступ 60S-субъединицы (розовый)

случается, на каком-то этапе вдруг перестаешь понимать логику, как будто упираешься в тупик. Особенно, когда дело касается микрочастиц за пределами электронов, на уровне позитронов — это уже почти религия!

Я работаю не на самом микроуровне, а все-таки с относительно большими объектами микромира, и уверен, что здесь все поддерживается логикой и физикой, поскольку вы можете в точности наблюдать, как работают эти системы.

— **Ваши собственные взгляды на микромир как-то менялись в течение жизни?**

— Конечно. Я работаю с системами, функционирующими в условиях теплового шума, и была недооценка или неправильная оценка очень малых объектов. Сначала мы считали, что это может работать, подчиняясь законам макромира. Но, сталкиваясь с физикой малых частиц, вы понимаете, что это невозможно. Что нельзя отвинтить «микровинт», налить в микромашину микроколичество, условно говоря, бензина, и она поедет. Вся логика больших машин не работает уже на уровне рибосом. Налить в машину бензин будет невозможно — все разбрызгается.

— **А когда это понимание к вам пришло?**

— Я сам задавал себе этот вопрос, пытаюсь понять, поймать в памяти тот момент. Конечно, это произошло гораздо раньше первого осознанного объяснения закономерностей микромира, первых собственных работ по этой теме. Наверное, это стало приходиться еще в 1960-е гг., когда я занялся изучением рибосомы. Посмотрели рибосому в электронный микроскоп — знали, что она состоит из двух субъединиц, а почему двух — непонятно. Знали, что через нее проходит мРНК, значит, что-то ее «тащит». Как это возможно? Помню, в начале 1960-х гг. я был в США, слушал доклады на Гордоновской конференции и думал об этом. А потом догадался и написал статью.

Представьте, что когда я начинал работать в науке, практически ничего не было известно о явлениях, составляющих основу современной молекулярной биологии, в частности об экспрессии генов и о биосинтезе белка. Многих понятий, с которыми современные школьники знакомятся на уроках, просто не существовало. Только что, в 1958 г.,

появилось слово «рибосомы». Они были открыты с двух сторон, независимо друг от друга, биохимическими и физико-химическими методами как главные клеточные рибонуклеопротеиды (т.е. частицы, состоящие из РНК и белка) и цитологическими методами, с помощью электронной микроскопии.

Безусловно, я начал свои работы с рибосомами не на пустом месте. Моим учителем был Андрей Николаевич Белозерский, который, собственно, основал российскую научную школу исследователей нуклеиновых кислот. В Советском Союзе идеи молекулярной биологии легли на подготовленную почву и получили развитие во многом благодаря тому, что эта школа уже существовала. Я вошел в эту науку в 1956 г., начав анализ состава нуклеиновых кислот в бактериях. Первая моя работа, выполненная вместе с А.Н. Белозерским, была опубликована в *Nature* в 1958 г. Тогда она стала научной сенсацией.

До того момента считалось, что, поскольку функция РНК — только перенос информации от ДНК к белкам, РНК должна повторять специфический нуклеотидный состав (соотношение четырех сортов азотистых оснований) ДНК. Я проанализировал нуклеотидный состав ДНК и РНК у 20 видов бактерий и обнаружил, что состав ДНК сильно различается у разных видов, тогда как у РНК он сравнительно стабилен. Последующая обработка данных показала, что небольшая фракция РНК действительно копирует ДНК (так была предсказана информационная, или матричная РНК — мРНК). Однако основная масса РНК не задействована в переносе генетической информации, схожа у разных организмов и выполняет какую-то иную роль. Это был первый шаг на пути к рибосомам — универсальным белок-синтезирующим частицам, структурная РНК которых и составляет основную массу тотальной клеточной РНК. В 1960 г. я впервые выделил рибосомы и начал новый цикл работ. Сначала я вплотную занимался физико-химией РНК как биополимера, ее макромолекулярной структурой, и на этом защитил докторскую диссертацию, а потом уже перешел к изучению функций, к биосинтезу белка.

Изучая рибосому, я полностью переменял свою психологию восприятия микромира. Ни одному упорядоченному механизму природа малых тел не соответствует. Возникает система отбора нужных движений. И когда рассматриваешь зарождающиеся нашего мира, все тоже становится ясным. Когда вы что-то «сажаете» на нитку, можно при затратах энергии «зацепить» правильное движение, и, чтобы эта зацепка оказалась крепкой, происходит продвижение вперед. Для этого необходимо всего одно условие — быть достаточно маленьким, чтобы ощущать воздействие теплового шума.

— **Вы занимаетесь фундаментальной наукой, но может ли знание этих механизмов как-то повлиять на практические решения в биомедицине?**

— Во-первых, нельзя на малых размерах достигнуть точности, используя макропринципы. Во-вторых, я не верю в нацеленность знаний. Рождение человека и его внедрение в природу — это уже второй этап, «вторая жизнь». А до этого был гигантский отрезок времени, где все происходило так, как мы описали сейчас, где никто не руководил (если вы в Бога не верите, конечно). Это ведь происходило само собой, из случайного отбиралось то, что лучше, еще лучше... Так и произошла двуспиральная ДНК.

— Но все-таки закономерности могут оказаться полезными, например, для генной инженерии?

— Есть только один способ: не надо производить заданные свойства, надо просто оставлять хорошее. Не улучшать, а избавляться от плохого.

— А синтез молекул с заданными свойствами?

— Ничего не даст. Только отбор. Хорошее само будет расти. Можно, конечно, протянуть ниточку: если мы знаем реальный механизм синтеза белка, наверное, могут быть соответствующие выходы — лечить дефекты, усиливать продукцию белков. Но я этим не интересуюсь, я считаю, что это отвлекает от главного — изучения фундаментальных механизмов. Новые фундаментальные знания гораздо важнее отдельных практических изобретений, они приводят к гораздо более крупным решениям многих проблем и на протяжении намного более длинного периода времени. Раньше умные люди не делали подобных прогнозов на будущие практические применения фундаментальных научных открытий, поскольку предсказать, к чему приведут новые знания, в большинстве случаев невозможно.

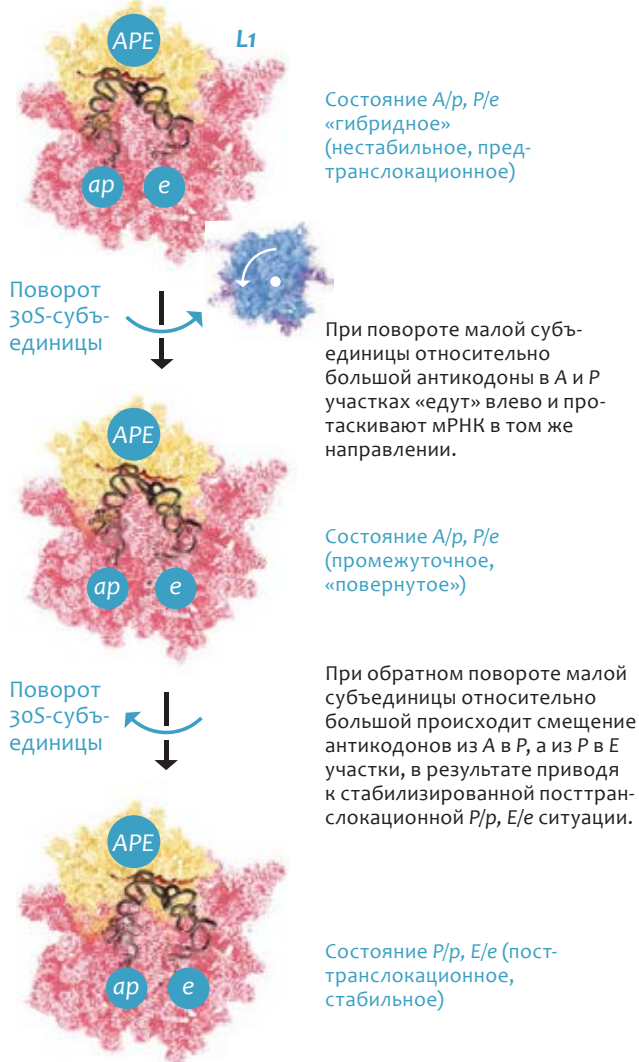
Кстати, сейчас подобное потребительское отношение власти к науке представляет настоящую угрозу и может привести к гибели. Сам это испытал. В свое время я создал производственную технологию синтеза белка в бесклеточных системах и считаю, что это был неправильный шаг, поскольку я потратил много времени, отняв его у чистой науки, где изучаются фундаментальные принципы. Наука — отдельная область знаний, и фундаментальным исследователям не надо заниматься прикладными вещами, потому что для них это гибель. Есть люди, которые, наоборот, занимаются прикладной наукой, и им не надо создавать теории — у них это не получится.

— Вы с середины 1960-х гг. читаете на биологическом факультете МГУ курс лекций по молекулярной биологии. Я завидую вашим нынешним студентам, но, с другой стороны, догадываюсь, что им приходится очень нелегко на экзамене. Они вообще быстро схватывают этот сложный материал?

— Не быстро. Их неправильно учат. Надо уже в школе изучать особенности существования малых тел. Но физику даже в университете биологам преподают безобразно, и так было всегда. Помню, когда я

Транслокация:

разомкнутая рибосома позволяет поворот (~ 10°) малой субъединицы относительно большой, что смещает мРНК вместе с антикодонами тРНК по направлению к выходу (к L1-выступу)



учился в МГУ, профессор с физфака рассказывал нам очевидные вещи, совершенно не нужные биологам.

Мне повезло, потому что у меня был школьный друг Сергей Гордон, который собирался поступать на физфак, и мы с ним проводили много времени, обсуждая физику, решая задачи. Я прочел Я.И. Перельмана, а затем и том физики для вузов. И мне потом было просто работать, поскольку я владел физическим языком, чего очень не хватает многим биологам. Я обращался по этому поводу с письмом в министерство — что надо знать студентам, оканчивающим биофак. Им не столько нужна, например, оптика, нужно выбрать основные фрагменты и хорошо подать их ребятам, потому что потом они уже этому нигде не научатся. Сейчас же многие из них не знают даже закон Архимеда. Но, повторяю, мне помог мой друг, а не система обучения.

— Скажите, а кто из исследователей оказал на вас сильное влияние? Вы ведь в начале вашей работы встречались со многими «гигантами» и в России, и в мире...

— Трудно сказать, по-настоящему мало кто. Я действительно часто ездил в Америку, был хорошо знаком и с Джеймсом Уотсоном, и с Фрэнсисом Криком, и с другими известными исследователями, но это была уже работа, а не равное партнерство, поскольку я шел с возрастным и научным отставанием. Крик был старше, ряд ученых в Калифорнии, которые очень помогли мне, конечно, опережали меня. Поэтому мне пришлось быстро догонять. И я очень благодарен, в первую очередь А.Н. Белозерскому, и даже не за то, что он научил меня чему-то, а за то, что предоставил полную свободу, это очень редкое качество для руководителя.

Но еще, пожалуй, все-таки Фрэнсис Крик. Он был по-настоящему гениальным: проблема только чуть-чуть просматривается, а он уже своим интеллектом схватывает, доводит до первой гипотезы, причем продуктивной, которая потом полностью подтверждается. Уотсон — отличный ученый, умный, но творцом был Крик. Кстати, у Уотсона биологическое образование, а у Крика было физическое. Он обладал колоссальной интуицией и логикой по отношению к той системе, в которую он вглядывался.

Помню, он как-то подвозил меня после Гордоновской конференции из Массачусетса в Нью-Йорк, в течение трех часов мы были вдвоем в машине, и он говорил непрерывно. После той поездки я очень жалел, что просто слушал его, не задавая вопросов. Помню, это была огромная машина, которую он арендовал в Америке, и, как только мы двинулись в путь, он воскликнул: «Что это такое? Это четыре наших английских машины!»

Фрэнсис Крик, как известно, умер от рака, а Джеймс Уотсон стал директором Лаборатории в Колд-Спринг-Харбор, лучшей в США, по моему мнению. Но это назначение фактически означало конец его работы в науке. Он уже не публиковал блестящих статей, и основная его деятельность свелась к добыванию денег. Будучи нобелевским лауреатом, он только этим и занимался. К сожалению, это судьба многих хороших исследователей, активно работавших в молодости и впоследствии ставших начальниками, администраторами.

— А вам как удалось этого избежать? Более 30 лет вы руководили Институтом белка, оставаясь глубоко в науке, продолжая делать собственные открытия. Сейчас вы уже не директор, а наука по-прежнему с вами.

— Мне это интересно, я этим живу, и у меня получается, а от этого становится еще интересней. Кроме того, я бескомпромиссный. Когда институт создавался, я ставил свои условия и стоял намертво. Конечно, огромную роль в моей судьбе сыграл М.В. Келдыш, который в то время был

президентом академии наук. Создать такой институт было его идеей, он выбрал меня и очень поддержал и в самом начале, и впоследствии.

Я никогда не был членом партии, и поначалу меня никуда не выпускали. Келдыш, став президентом академии, попросил меня рассказать ему про биологию, и я ему одному читал персональные лекции в течение двух месяцев. Он содействовал моей первой поездке в Америку.

Американцы на меня нацелились сразу. Я сделал доклад по своим работам на Гордоновской конференции, он понравился, и мне предложили посетить несколько лабораторий, самых продуктивных и интересных в то время. Посетив их, я понял, как должна быть устроена настоящая наука: маленькая лаборатория в маленьком институте, да еще желательна в маленьком городе. Вернувшись, я узнал, что принято решение о создании в Пущине Института белка.

Я не хотел быть директором, потому что опасался, что это отвлечет меня от науки, но М.В. Келдыш мне сказал: «А вы найдите себе хороших помощников». Вокруг меня в тот момент уже сформировалась группа людей, в основном питерцы. Например, Олег Борисович Птицын — тоже физик. Они приходили ко мне домой, и мы все обсуждали. Помощникам я сказал, что ничего не буду делать — в их понимании — как директор. Сначала это вызвало возмущение, а потом все привыкли.

— А в вашем понимании что должен делать директор?

— Я не допускал глупостей и на научном уровне, и на административном. Чтобы их не было на научном уровне, я устроил директорские семинары, каждую неделю по субботам в десять утра, куда приглашались все замы, руководители лабораторий и кто-то из исследователей с отчетом. Мы написали неофициальный устав института: лаборатория должна состоять из пяти человек, включая заведующего, потому что если сотрудников больше, руководитель перестает работать сам. А всего в институте должно быть не более 30 научных сотрудников. Сейчас — около 50.

Так что в субботу я занимался администрированием, а всю неделю — только наукой. И получилось! В каком-то смысле тут использовалась модель микромира — порядок из хаоса, просто отбирать лучшее и не давать идти назад. Мы с пустого места сверкнули отличными работами, получился прекрасный институт.

— Вернемся к этой модели: вы опубликовали это исследование в начале 2000-х гг. Над чем работаете сейчас?

— Модель — это же упражнение в свободное время, когда вы не ставите экспериментов, а обдумываете результаты. Но я главным образом экспериментатор. Мы с коллегами в лаборатории биосинтеза белка этим и заняты. Вот пример одной темы,

над которой работаем сейчас и недавно опубликовали результаты. Чтобы синтезировать белок, рибосома должна «сесть» на один конец молекулы РНК, потом она движется и в каком-то определенном, инициаторном месте цепляется и начинает кодировать информацию. Мы исследуем, почему и за счет чего она движется. Это универсальная модель. У всех существ есть информационная РНК с так называемой некодируемой, концевой частью. Чтобы потом начать правильно считывать информацию, рибосоме надо прицепиться очень точно, попасть в фазу. Вот это движение рибосом по нетранслируемой области РНК мы и исследуем. Причем эта начальная часть пути очень плохо изучена.

— **Как выгладит такой эксперимент в лаборатории?**

— Мы воспроизводим РНК в бесклеточных системах, помещаем туда рибосомы, подаем энергию, ну а самописец фиксирует движения. Это недорого. Самое дорогое в таком эксперименте — выделить белки. Мы в лаборатории воспроизводим бесклеточную систему биосинтеза белка.

Мы отправили статью в журнал *Scientific Reports* и получили две противоположные рецензии. Один рецензент оценил нашу работу как открытие, а второй написал, что считает ее незаконченной. Я на это возразил редактору: «Мы исправлять ничего не будем, а вы, пожалуйста, сделайте выбор». Подобная работа в принципе не бывает законченной, она породила еще ряд идей, которые надо прорабатывать дальше. Меня эта фраза от рецензента международного научного журнала шокировала. А что закончено? Вся наука не закончена. Статья была опубликована в прошлом месяце.

— **Вы не испытываете трудностей с публикациями?**

— В целом нет, но иногда приходится бороться с дураками. Потому что второй аргумент того рецензента был следующим: у вас бесклеточная система, а надо все делать в клетке. Я ответил ему, что только благодаря бесклеточной системе Крику и удалось разрешить загадку генетического кода всего за несколько месяцев.

Это должно быть врожденное чувство — бороться за правду, приводить аргументы, дискутировать. Большинство людей этого не делают. Обычный прием: не пробовать статью, а искать другой журнал более низкого уровня. А я так не хочу, я сторонник публикаций только в журналах высокого уровня. И не только потому, что это обеспечивает импакт-фактор, но и из принципа: с какой стати я отдам свою работу, которую считаю хорошей, в низкоуровневый журнал?

— **А вы институт отдали в хорошие руки, есть преемственность?**

— Только если в институте будут следовать нашим старым правилам. Пока это выполняется. Заветы Келдыша выполнялись долго, даже после

его смерти, вплоть до последнего времени. Сейчас в РАН возникла угроза объединения институтов, и я по этому поводу сделал четкое заявление и сказал нынешнему директору: чем бы ни угрожали, чем бы ни привлекали — мы объединяться не будем. Пусть денег не дадут, самостоятельность важнее. Объединение — это конец науки в институтах. Я ведь из Америки приехал очень заряженный тем, как маленькие лаборатории и институты создают науку. А Кембридж — знаете какое там было главное место? Столовая! Так ответили кембриджские основатели молекулярной биологии. Там происходило общение. У нас аналогом были наши субботние заседания.

— **А ученики? Есть кто-то, кто полностью перенял у вас и отношение к науке, и научную линию?**

— Трудный вопрос. Думаю, нет. Почти все мои ученики работают в Америке. Я сам способствовал их устройству, давал рекомендации, советы — когда нужно ехать и куда. Здесь они, конечно, тоже могли бы работать, в нашем институте лучше, чем во многих других в России, но все равно не с тем размахом. Масштаб другой.

Хотя и время сейчас тоже другое, другой у исследователей характер, стиль. У меня есть ученик, Марат Юсупов, который в Страсбурге сделал несколько прекрасных работ. Он, как это говорят, «вязкий» — как собака, которая идет по следу. Хороший гончак берет след и идет по нему за своим зайцем, не замечая других, которые возникают у него на пути, — их называют шумовыми. Он настигает своего, методично, спокойно, без истерики. Важно идти за главной задачей и не сбиваться на мелочи. В науке нужна такая «вязкость».

— **Что же делать тем, кто работает здесь?**











— Стараться сделать по максимуму, тогда удастся сделать хоть что-то. В некотором смысле течение науки не зависит от внешних обстоятельств. Скорость работы ими определяется, но оригинальных идей не становится меньше. Главное — не бояться и отстаивать свою позицию. ■

Беседовала Елена Кокурина

СПРАВКА

Александр Сергеевич Спирин

- Ученый-биохимик, академик РАН, член президиума РАН.
- В 1954 г. окончил биолого-почвенный факультет МГУ.
- В 1957 г. поступил в аспирантуру Института биохимии им. А.Н. Баха АН СССР в лабораторию под руководством А.Н. Белозерского.
- С 1964 г. и по сей день читает курс лекций по молекулярной биологии в МГУ.
- В 1967 г. основал в Пущине Институт белка АН СССР, которым руководил с даты основания до 2001 г.

 <p>0.175 Rb 0.126(2+) lead</p>	 <p>0.155 Bi 0.120(3+) bismuth</p>	 <p>0.164 Po 0.104(4+) polonium</p>	 <p>0.232(1-) At astatine</p>	 <p>0.222 Rn radon</p>
<p>114 [289] [Rn]5f¹⁴6d¹⁰7s²7p² 2;4</p>  <p>Fl flerovium</p>	<p>115 [291] [Rn]5f¹⁴6d¹⁰7s²7p³</p>  <p>Uup ununpentium</p>	<p>116 [292] [Rn]5f¹⁴6d¹⁰7s²7p⁴</p>  <p>Lv livermorium</p>	<p>117 [293]</p>  <p>Uus ununseptimum</p>	<p>118 [294]</p>  <p>Uuo ununoctimum</p>

Сверх тяжелые элементы



30 декабря 2015 г.
Международный союз чистой и прикладной химии (IUPAC) окончательно утвердил факт открытия четырех новых химических элементов с атомными номерами 113, 115, 117 и 118. Теперь седьмой период таблицы Менделеева из шести элементов полностью укомплектован в соответствии с периодическим законом.

Все шесть элементов седьмого периода — 113-й, 114-й, 115-й, 116-й, 117-й, 118-й — были синтезированы в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) на ускорительном комплексе У-400 Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова в сотрудничестве с физиками и химиками национальных лабораторий США в Ливерморе, штат Калифорния, Ок-Ридже, штат Теннесси, и Университета Вандербильта. Эксперименты проводились в Дубне (Московской области) под руководством и при непосредственном участии академика РАН **Юрия Цолаковича Оганесяна**, научного руководителя Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований. Он рассказал нашему журналу, как шел поиск столь долгожданных элементов.

Один из фундаментальных научных вопросов — где находится граница материального мира, или сколько элементов может вместить таблица Менделеева?

Большой шаг в поисках ответа на этот вопрос был сделан нашим соотечественником Дмитрием Ивановичем Менделеевым. Именно он первым попытался классифицировать все природные элементы и понял, что их химические свойства укладываются в некоторую закономерность, известную теперь как периодический закон Д.И. Менделеева.

Отметим, что когда Менделеев создавал свою периодическую систему, в его распоряжении было всего 63 элемента. И он, полагаю, тоже задумывался над тем, сколько их может быть сверх того. Этот вопрос и по сей день не потерял свою актуальность в современной науке.

В 1911 г. Эрнест Резерфорд предложил свою планетарную модель атома: положительно заряженное ядро, содержащее практически всю массу атома и весь положительный заряд, и электроны, которые двигаются на громадном расстоянии от этого ядра. Время, когда два года спустя великий Нильс Бор рассчитал, как выглядит простейший атом водорода (протон, вокруг которого вращается электрон), можно считать годом рождения ядерной физики. Дальше, как известно, она развивалась поистине бурными темпами.

Людам свойственно стремление познать границы своего обитания, в том числе границы окружающего нас материального мира. Впоследствии оказалось, что планетарная модель атома Резерфорда — Бора достаточно устойчива и хорошо работает вплоть до атомных номеров 173–175. Но проблема в том, что задолго до достижения этих номеров перестает жить ядро атома. Поэтому вопрос, где же проходит граница, должен быть переадресован из атомной физики в ядерную физику.

Здесь следовало бы заметить, что атомная физика базируется на квантовой электродинамике — науке точной. Эта теория позволяет рассчитать огромную атомную станцию или маленький чип, и все будет работать абсолютно так, как это следует из фундаментальных законов электродинамики. В ядерной физике, к сожалению, до этого пока далеко. В ней до сих пор неизвестна природа ядерных сил, посредством которых в ядре взаимодействуют друг с другом протоны и нейтроны. Теория ядра находится еще в процессе создания. Однако если мы все-таки хотим определить границу существования ядер, нам надо понять или предположить, как выглядит ядро и каковы основные свойства ядерной материи.



Академик Ю.Ц. Оганесян (слева)
с президентом РАН В.Е. Фортовым

Ядро-капля

Наш соотечественник Георгий Антонович Гамов, выпускник Ленинградского университета, работавший с известным ученым Абрамом Федоровичем Иоффе в Ленинградском физико-техническом институте, а затем всю последующую жизнь — в США, в 1928 г. высказал удивительное предположение о том, что ядро похоже на каплю заряженной жидкости. В конце 1920-х гг. уже было известно, что ядро имеет малый размер, высокую плотность, хорошо очерченные края, сферическую форму и оно несжимаемо. На самом деле очень похоже на каплю заряженной жидкости.

Предположение, что в микромире объект может быть идентифицирован как макроскопическое тело (видимая капля жидкости), было достаточно смелым. И в то, что такая аналогия будет работать, верилось с трудом. Но «капельная» модель оказалась весьма плодотворной. Она позволила самому Гамову создать теорию альфа-распада и объяснить явление радиоактивности, которое было открыто еще в 1898 г. Анри Беккерелем. Капельная модель позволила Карлу Вайцзеккеру вывести свою знаменитую формулу для расчета потенциальной энергии ядра. И, наконец, когда в 1939 г. в Берлине было открыто ядерное деление, Нильс Бор и Джон Уилер на основе «капельной модели» создали теория деления.

Согласно Бору и Уилеру, в заряженной капле происходит противоборство двух сил: поверхностного натяжения, которое сжимает каплю и придает ей сферическую форму, и кулоновских сил, которые ее растягивают, поскольку положительно заряженные протоны отталкиваются друг от друга. В сферической капле эти силы уравновешены. По мере добавления в ядро протонов мы мало меняем силы поверхностного натяжения, но определенно наращиваем деструктивные силы кулоновского расталкивания. В результате, как следовало из расчетов, «капля» будет деформироваться.

До определенного предела подобная деформация ей не страшна: силы поверхностного натяжения возвращают ее в начальную сферическую форму. Но по достижении некоторой критической деформации у нее появляется перетяжка — «шейка». Дальнейшее увеличение все более растягивает эту «шейку», и в конце концов капля разрывается на две примерно равные части. По-английски «деление» — *division*. Но Лизе Майтнер, которой, как мне кажется, удалось первой объяснить процесс ядерного деления, сказала: «Нет, это не похоже на *division*, процесс деления ядра скорее напоминает *fission* — деление биологической клетки». Именно так делится клетка: сначала она растягивается, потом появляется шейка, а потом клетка разрывается на две части. Уран — самый тяжелый элемент, сохранившийся в Земле со времени образования Солнечной системы. Отто Ган и Фриц Штрассман из Института химии Общества кайзера Вильгельма в Берлине впервые наблюдали образование осколков деления при облучении урановых слоев потоком нейтронов. Они показали, что стоит к ядру урана добавить нейтрон и внести в ядро энергию около 6 МэВ, как ядро поделится на две части. Этот феномен объясняла классическая («капельная») теория деления.

Но из теории Бора и Уилера следовало также, что уран и без дополнительной энергии может самопроизвольно (спонтанно) разделиться на две части. Спонтанное деление урана — очень редкий процесс, имеющий чисто квантово-механическую природу. Бор и Уилер предсказали гигантское время такого распада. Если на участке от критической деформации (вершины барьера деления) до момента разрыва на два осколка процесс деления занимает всего 10^{-19} секунды, то здесь, согласно ожиданиям, требовалось более 10^{20} лет. Возраст Вселенной меньше этого времени распада почти в миллион раз!

В первом эксперименте американского физика и химика Уилларда Либби спонтанное деление урана не было обнаружено. Из этого эксперимента следовало, что время деления урана — более чем 10^{15} лет, что не было удивительным, т.к. не противоречило предсказаниям «капельной» теории деления.

Четвертый вид радиоактивности

Я и сейчас не совсем понимаю, чем руководствовался Игорь Васильевич Курчатов, когда предложил двум молодым ученым — вчерашнему студенту Георгию Флерову и Константину Петржаку — заняться исследованием спонтанного деления урана. Он не верил Либби, не верил предсказаниям Бора и Уилера?

Но два молодых человека взялись за дело с большим энтузиазмом. И уже в скором времени обнаружили спонтанное деление урана.

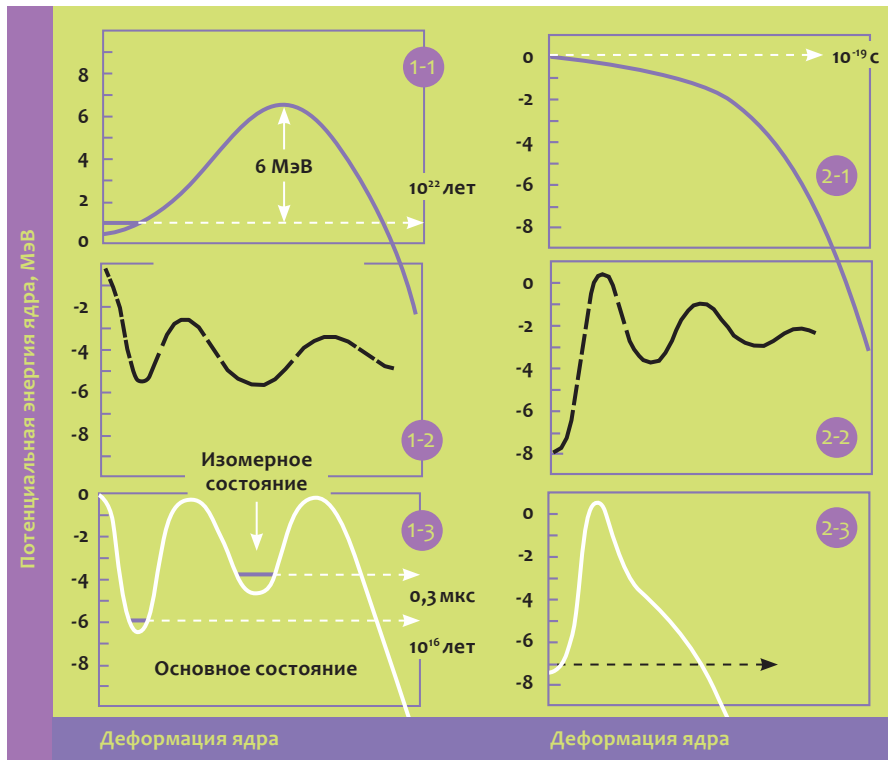


Рис. 1

Возникновение барьера деления в сверхтяжелых ядрах

Зависимости потенциальной энергии ядер с ростом их деформации. Левые графики — расчеты для ядра урана. 1-1. Потенциальная энергия ядра урана в модели жидкой капли. 1-2. Структурная поправка в зависимости от ядерной деформации. 1-3. Сумма: энергия жидкой капли и структурной поправки. Расчетный период спонтанного деления урана $T_{SF} = 10^{22}$ лет показан на графике 1-1. Периоды спонтанного деления из основного и изомерного состояний получены в эксперименте. Правые графики — то же самое для сверхтяжелых ядер. На графике 2-3 видно, что сумма нулевого «капельного» барьера и структурной поправки приводит к появлению у сверхтяжелого ядра достаточно высокого барьера деления. Периоды спонтанного деления урана из основного и изомерного состояний, приведенные на графике 1-3, получены в эксперименте.

Наши герои решили измерять в эксперименте не сопутствующее делению урана излучение (нейтроны), как делал Либби, а непосредственно регистрировать осколки деления. Осколки нужно было обнаружить на фоне 10 млн альфа-частиц. Многие отработанные и широко используемые к тому времени методы оказались непригодными. В качестве детектора осколков деления была выбрана пропорциональная ионизационная камера, для которой необходимо было создать специальный широкополосный усилитель с коэффициентом усиления примерно 2×10^6 . Усилитель, естественно, был ламповым, а камера со слоями урана общей площадью 1 тыс. см² (а затем и 6 тыс. см²) была удивительно похожа на переменную емкость от старинного радиоприемника.

Измерения в ленинградском Физтехе проводились только ночью, чтобы не мешали трамваи, которые искрят и создают электрический фон. Молодые физики тренировали себя сидеть часами в темном помещении, всматриваясь в экран осциллографа, на котором была видна всегда мелкая рябь — сигналы от альфа-частиц урана. Но иногда в этом частотоле наблюдался всплеск, большой сигнал от осколков деления. Спонтанное деление! И такой сигнал приходил раз в полчаса, иногда в час. Они сидели часами и ждали, когда вновь появятся эти сигналы. И они появлялись...

На первом же заседании, где были доложены результаты ночных бдений, научная элита была предельно скептически. Мало кто поверил в то, что уран испытывает спонтанное деление

с вероятностью всего в десять раз меньшей, чем экспериментальный предел, полученный Либби, но в миллион раз выше, чем предсказывал великий Бор. Были и такие высказывания: «Понятно, молодые люди увлеклись, им кажется, что они сделали величайшее открытие. Они, может быть, еще не знают, что есть космические лучи, которые могут вызвать деление урана, а урана в камере много. Куда смотрит Курчатов?»

К чести людей работающих, они меньше спорили, а больше делали. Решено было проверить устойчивость результата к убийственной гипотезе о делении космическим излучением. Нарком Кагановичу было написано письмо с просьбой предоставить им небольшую комнату на подземной станции московского метро, чтобы повторить свои эксперименты в новых условиях. И молодые люди со своим странным багажом прибывают из Ленинграда в столицу СССР, чтобы на самой глубокой тогда станции «Динамо» (кажется, 32 м под землей) повторить опыты по самопроизвольному делению урана. Они целый день носились по Москве, с нетерпением ожидая ночи, когда остановится последний поезд и можно будет с часу ночи до пяти утра проводить измерения. Эффект спонтанного деления полностью повторился, хотя поток космических лучей на этой глубине ослаблен почти в тысячу раз.

Далее следует то, что написано в их отчете 1940 г.: «Итак, можно утверждать, что установленный эффект спонтанных импульсов обусловлен актами деления урана. Такой процесс представляет

новый вид радиоактивности, принципиально отличной от известных ранее видов радиоактивности с испусканием альфа и бета-частиц.

Расхождение между экспериментально наблюдаемым временем жизни урана и указанным Бором и Уилером объясняется тем, что формула прохождения частицы через барьер очень чувствительна к выбранной высоте и ширине барьера, а выбор этих величин в значительной мере произволен.

Выражаем искреннюю благодарность нашему руководителю профессору И.В. Курчатову, наметившему все основные контрольные опыты и принимавшему самое непосредственное участие в обсуждении результатов».

Так через 42 года после открытия альфа-радиоактивности был обнаружен новый тип радиоактивного распада ядер — спонтанное деление. Об этом было послано короткое сообщение в американский журнал *Physical Review*. Потом опыты прекратились, началась война.

Далеко за ураном...

Очень быстро стало ясно, что это будет война не пехоты и кавалерии, а механизмов и техники. Было известно, что Германия пытается создать грозное оружие, использующее энергию деления урана, что в ядре урана аккумулирована огромная энергия и ее высвобождение несопоставимо ни с какими другими способами импульсной работы энергии.

Ядерная физика привлекла тогда большое внимание воюющих правительств. В разработку вопроса были вложены огромные средства. Очень быстро, в 1943 г. в США и в 1946 г. у нас, были построены первые ядерные реакторы. В них начали нарабатывать плутоний — следующий за ураном, но уже искусственный элемент.

Таблица элементов, найденных в Земле, кончается 92-м элементом — ураном. Плутоний, 94-й, — рукотворный. Тем не менее в XX в. этот искусственный элемент нарабатывали многими сотнями тонн на специальных установках не только для ядерного оружия, но и для энергетики — как источник нейтронов и для многих других целей.

В течение длительных кампаний в ядерном реакторе образуется не только плутоний.



Научный руководитель Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ Ю.Ц. Оганесян

В меньшем количестве там синтезируются следующие элементы таблицы Менделеева: 95-й (америций), 96-й (кюрий), 97-й (берклий), 98-й (калифорний). Количество трансурановых элементов сильно уменьшается с ростом атомного номера. Одновременно резко укорачивается их время жизни. Действительно, уран живет 4,5 млрд лет, плутоний — 25 тыс. лет, америций распадается еще быстрее, период полураспада наиболее долгоживущего изотопа этого элемента — 8 тыс. лет. Сотый элемент (фермий) живет год, 102-й (нобелий) — секунды. 104-й элемент — миллисекунды.

Поэтому ответить на вопрос, где предел таблицы Менделеева, согласно приведенным выше данным, казалось бы, нетрудно: совсем недалеко. Тем более что

из «капельной» теории деления следовало, что таблица Менделеева будет ограничена лишь элементами первой сотни. Тот факт, что мы синтезировали 104-й, мало менял дело. Дальнейшее продвижение к более тяжелым ядрам быстро приведет нас к критической ситуации, когда бессмысленно говорить об элементе. Мы получим ядро, которое распадется раньше, чем вокруг него возникнут орбитальные электроны. Это произойдет, когда период полураспада этого ядра будет менее 10^{-14} секунды. Подобную картину можно было ожидать для ядер 106-го или 108-го элементов. Поэтому приведенную выше тенденцию резкого падения времени жизни ядер с ростом их атомного номера следовало бы рассматривать как хорошее согласие с предсказаниями «капельной» модели ядра.

Так обстояло дело до 1962 г., когда в нашей лаборатории совершенно случайно, в другом эксперименте, нацеленном на синтез 104-го элемента, обнаружили спонтанное деление с очень коротким (14 миллисекунд) периодом полураспада. Очень скоро оказалось, что это не 104-й, не 100-й и даже не 98-й, а 95-й элемент — америций. Но изотопы 95-го элемента тогда были уже известны и неплохо изучены. Мы знали, что у изотопа америция-242, который наблюдался в нашем эксперименте, период спонтанного деления превышает 10^{15} лет. А тут — второе значение этого периода полураспада, всего 14 миллисекунд. Странное

обстоятельство: два периода полураспада или две вероятности спонтанного деления одного и того же ядра! По всей видимости, ошибка, решили мы.

В поисках причин этой ошибки появился другой изотоп америция — америций-244 с периодом спонтанного деления 0,9 миллисекунд. Потом выяснилось, что еще 33 изотопа трансурановых элементов имеют два, а иногда и три периода полураспада, один очень длинный, другой — существенно более короткий. Тот же изотоп урана-238 с периодом спонтанного деления, который Флеров и Петржак определили как 10^{16} лет, имеет второй период полураспада, равный 0,3 микросекунды. Отличие составляет 30 порядков!

Два периода полураспада (или две различные вероятности одного и того же типа распада, в данном случае — спонтанного деления) могут быть только в случае наличия у ядра двух состояний, из которых происходит деление. Но это никаким образом не вписывается в представление о капле. Два состояния могут быть только в том случае, если тело не аморфное, а обладает внутренней структурой. Этот факт был, пожалуй, наиболее ярким примером того, что ядерное вещество не представляет собой полного аналога капли заряженной жидкости. Капельная аналогия — это некое приближение в описании свойств ядра. Более строгое описание требует учитывать его структурные особенности.

Теперь, переходя к вопросу о границе масс ядер, нам придется пересмотреть ранее высказанные суждения. С ростом массы и заряда ядер мы неминуемо приближаемся к критической точке. Когда силы кулоновского отталкивания будут сравнимы с силами поверхностного натяжения или

будут превосходить их, даже маленькие поправки к энергии связи ядра будут играть важную роль. Эту роль на чаше весов «быть или не быть» играет структурная поправка, о которой пойдет речь ниже.

Первые экспедиции к тяжеловесам

Уже давно было замечено, что среди известных сегодня примерно 3 тыс. ядер есть ядра, более связанные по сравнению с расчетом в модели жидкой капли, а есть другие — связанные слабее. Нас, естественно, интересуют первые, более связанные. Максимальный эффект повышенной стабильности наблюдается лишь при определенном, так называемом магическом, числе нейтронов или протонов в ядре. Среди обилия ядер есть и уникальные, дважды магические образования с магическим числом одновременно протонов и нейтронов. Таких ядер немного. К дважды магическим ядрам относятся гелий (два протона, два нейтрона), кислород (восемь протонов, восемь нейтронов), кальций (20 протонов, 20 нейтронов; есть и другой, редкий изотоп — 20 протонов и 28 нейтронов), никель (28 протонов 28 и 50 нейтронов), олово (по 50 протонов, 50 и 82 нейтронов), свинец (82 протона и 126 нейтронов). Кстати, свинец-208 сохранился в Земле, потому что он имеет дважды магическую структуру. В отсутствие этой структуры он был бы менее связанным — радиоактивным и не дожился бы до наших дней с момента образования Земли (примерно 4,5 млрд лет тому назад).

Что же находится за фермием (элементом с атомным номером 100) — там, где по чистой «капельной» теории ничего быть не должно? Оказалось, что если отойти от фермия несколько

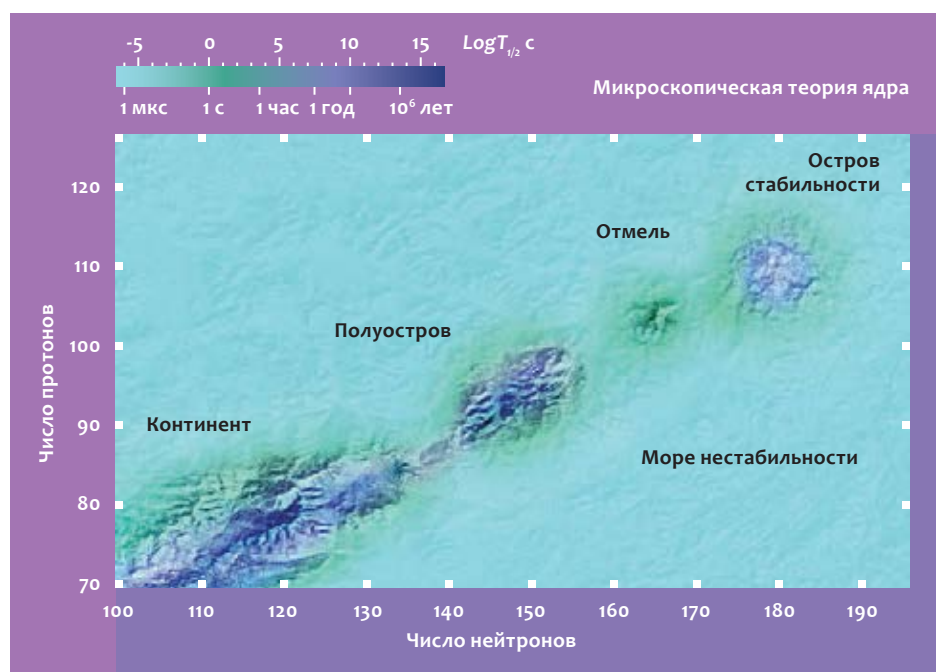


Рис. 2

Карта ядер и прогнозы микроскопической теории ядра

Чем темнее цвет, тем выше вершина ядерной стабильности (см. шкалу цветов и периодов полураспада ядер в верхнем левом углу графика). В синем поле — море нестабильности — ядра как связанные системы протонов и нейтронов не существуют. В микроскопической теории ядра (модель заряженной жидкой капли) ядерная стабильность заканчивается на элементах первой сотни. В макро-микроскопической теории возникают области (острова) стабильности, обусловленные внутренней структурой ядер.



Ускоритель тяжелых ионов Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ, на котором впервые были получены интенсивные пучки ионов кальция-48

дальше — к числу протонов 108 и числу нейтронов 162, то у ядер в этой области, согласно структурным эффектам, энергия связи может вновь возрасти. И ядро с числом протонов 108 и нейтронов 162 в принципе может существовать; его жизнь, по оценкам, составит несколько часов. А если уйти совсем далеко, к числу протонов 114 и огромному числу нейтронов 184, эта структурная поправка будет еще больше. Там будет примерно такая же ситуация, как с упомянутым ранее стабильным ядром — свинцом-208. Сверхтяжелые ядра могут существовать очень долго — не секунды, а часы, годы, тысячи, может быть, миллионы лет.

Эти долгожители образуют целую область, ее часто называют островом стабильности гипотетических, очень тяжелых, сверхтяжелых элементов.

Реакция, которую мы предложили в 1974 г. и продемонстрировали в Дубне ее возможности для синтеза элементов тяжелее 106-го, была подхвачена в Германии, а затем и всеми другими ведущими лабораториями мира

Тут мы приходим к удивительному заключению о том, что наш мир не кончается на фермии, после которого элементы, согласно «капельным» прогнозам, тонут в «море нестабильности». Далеко от известной области ядер возникает остров, который отодвигает предел существования ядер и элементов.

Новая теория была сформулирована в 1969 г., и все бросились ее проверять. Первый эксперимент, на который пригласили и меня, был проведен во Франции уже в 1970 г. Тогда у нас ничего не получилось. В отличие от своих французских коллег я уже имел некий опыт — с середины 1960-х гг. занимался синтезом 104-го и 105-го элементов в Дубне и чувствовал, что задача получения сверхтяжелых ядер значительно труднее, что наших средств явно недостаточно для того, чтобы рассчитывать на успех. На самом деле этот эксперимент был только началом массивного наступления экспериментаторов.

С 1970 по 1985 г. во всех лабораториях мира — в Германии, Японии, Франции, Соединенных Штатах — шла интенсивная работа, нацеленная на синтез сверхтяжелых элементов. К сожалению, во всех этих экспериментах сверхтяжелые элементы обнаружить не удалось. В эти годы и наши попытки синтеза сверхтяжелых ядер в Дубне также оказались безрезультатными.

Причин неудачи всегда может быть две: либо не дотянулись (низкая чувствительность эксперимента), либо предмета поиска вообще нет (идея постановки данного эксперимента неверна). Однако когда одним и тем же делом занимаются многие лаборатории мира и у всех нулевой результат, кажется более вероятной вторая. К 1985 г. это привело к пессимистическому мнению о возможности синтеза гипотетических сверхтяжелых элементов.

Восемь дополнительных нейтронов

Анализируя результаты своих экспериментов, а также все за и против в результатах экспериментов других лабораторий, мы пришли к выводу, что отрицательный результат всех опытов обусловлен тем, что не дотянулись. Скорее всего, метод синтеза сверхтяжелых ядер, который использовали все лаборатории, исчерпан и следует искать новые подходы к решению этой трудной задачи.

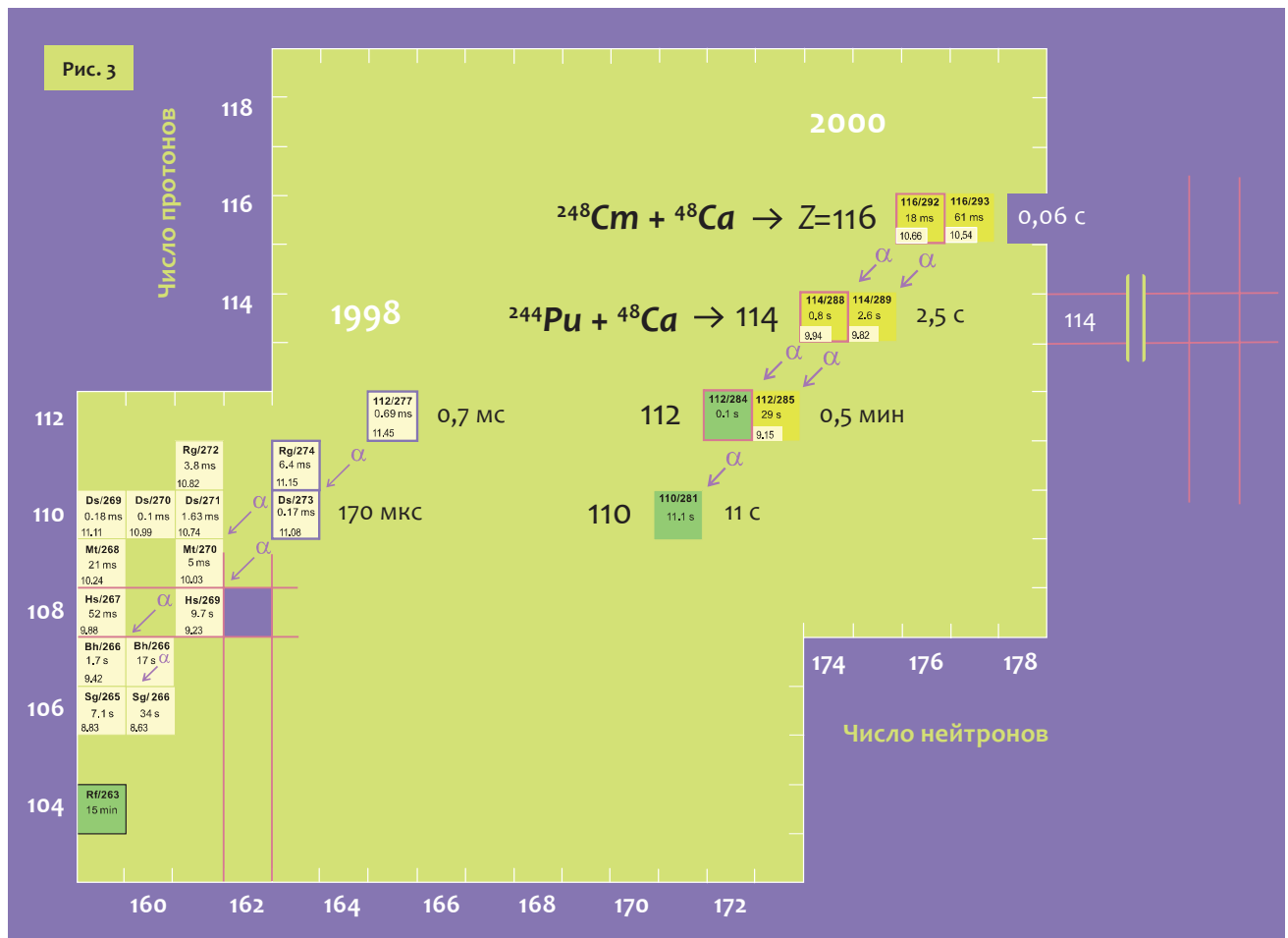
В поисках этих подходов можно увеличивать количество протонов, использовать все более тяжелый снаряд. Но надо иметь еще и много нейтронов. Ведь мы ведем искусственный синтез: сталкиваем два ядра в расчете, что в какой-то, пусть даже очень малой, доле случаев они сольются. Но соотношение протонов и нейтронов в них задано. И нейтронов при этом оказывается недостаточно. Это равносильно отклонению корабля от курса на остров.

Реакция, которую мы предложили еще в 1974 г. и продемонстрировали в Дубне ее возможности для синтеза элементов тяжелее 106-го, была подхвачена в Германии, а затем и всеми другими национальными лабораториями мира: в США, Франции, Японии. Новые элементы с атомными номерами 107, 108, 109, 110, 111 и 112 были синтезированы в Германии именно этим методом, который использовался на протяжении 38 лет!

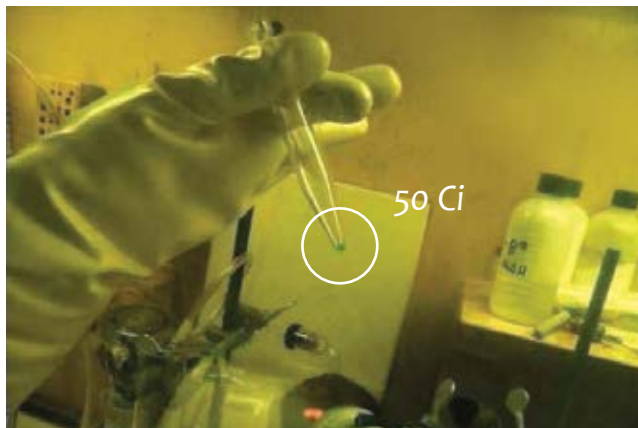
Мне часто говорили: «Вы придумали новый метод синтеза. Почему сами его не используете?» Если кратко, ответ прост: он не ведет туда, где находится остров стабильности. В ядрах, полученных этим способом, большой дефицит нейтронов. Поэтому дальнейшее продвижение к элементам тяжелее 112-го есть движение в глубину моря нестабильности, в бездну. И 113-й элемент, синтезированный в Японии, о котором сейчас много говорят, — последний в этой серии на дороге, ведущей в тупик. Не удивительно, что на синтез всего трех

новых атомов в лаборатории японского Института физико-химических исследований (RIKEN) было потрачено девять лет. Нетрудно также понять, что это уже не дорога, а исчезающая тропинка.

Стало ясно, что для того чтобы получить в сверхтяжелых ядрах столь недостающие нейтроны, надо существенно усложнить эксперимент. Мы решили использовать в качестве мишенного материала искусственные элементы тяжелее урана, который нарабатывается в реакторе путем захвата нейтронов. Полученные таким способом ядра хоть и радиоактивны (дополнительная проблема), но имеют максимальный избыток нейтронов. Как минимум надо взять 94-й элемент — плутоний, и вновь не плутоний-239, который нарабатывается и используется в атомной энергетике, а самый тяжелый изотоп — плутоний-244, который может быть накоплен в специальных реакторах с высоким потоком нейтронов. А в качестве бомбардирующего снаряда использовать



В левой части рисунка — тяжелейшие изотопы 110-го, 111-го и 112-го элементов, полученные к 1998 г. в Центре по изучению тяжелых ионов (Дармштадт, Германия) в реакциях слияния ядер свинца и висмута с ускоренными ядрами никеля-64 и цинка-70. В правой стороне — результаты первого эксперимента по синтезу изотопов 114-го и 116-го элементов в реакциях слияния ядер плутония-244 и кюрия-248 с ускоренными ядрами кальция-48. Видно, что увеличение числа нейтронов в изотопах 110-го и 112-го элементов на восемь единиц ведет к повышению на пять порядков их периодов полураспада.



На конце пинцета 22,5 мг искусственного элемента — берклия-249 ($T_{1/2} = 320$ дней). Этот уникальный материал был получен в 250-дневном облучении нейтронами на мощном реакторе HFIR Ок-Риджской национальной лаборатории (США) для приготовления мишени, используемой в эксперименте по синтезу 117 элемента.

ионы кальция. Но это тоже должен быть не обычный, наиболее распространенный изотоп — кальций-40, где 20 протонов и 20 нейтронов (его содержание в естественной смеси изотопов — 97%), а значительно более редкий изотоп, кальций-48, в котором 20 протонов и 28 нейтронов. В кальции-48 восемь избыточных нейтронов! К сожалению, у кальция нет летучих соединений, поэтому тяжелый изотоп можно обогатить только весьма трудоемким способом, посредством массового раз-

на шесть нейтронов. Подходя к прибрежным границам острова, мы должны «почувствовать землю» и, если справедливы теоретические предсказания, увидеть резкий рост стабильности сверхтяжелых ядер при движении вглубь острова.

Наши исследования пришлось на 1990-е гг., и нетрудно представить, с какими сложностями мы столкнулись. Достояние, наработанное годами, которое мы имели, — прекрасный ускоритель, прецизионные установки, электронная аппаратура — для этой задачи не подходило. Все надо было делать заново.

Георгий Николаевич уже ушел из жизни, и я вступил в должность директора Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Решение было принято, и мы пошли по дороге отработки нового метода синтеза. Это была непростая задача. Как уже сказано выше, часто нас не устраивало то, что было достигнуто ранее большим трудом. В частности, расход того же кальция-48 в источнике ионов нашего ускорителя, в то время одного из лучших в мире, составлял 20 мг в час! При таком расходе дорогого вещества у нас не хватило бы никаких средств, чтобы вести работу на пучке ионов кальция-48 годами. Пришлось переходить на другую, для нас совершенно новую конструкцию ионного источника, работающего на другом принципе, и исследовать его в режимах получения рекордной интенсивности пучка при минимальном расходе исходного материала.

Но все в конечном итоге было сделано, и в 1999 г. мы впервые увидели, как в результате длительно-

го облучения плутония-244 пучком кальция-48 детекторами был зарегистрирован распад сверхтяжелого ядра, который составил две секунды. Не миллисекунды или сотые доли миллисекунд, как ранее при синтезе более легких ядер, а секунды! После альфа-распада ядра 114-го элемента (спонтанный выброс тяжелым ядром ядра гелия-4) образовалось дочернее ядро 112-го элемента, которое прожило

Далеко от известной области ядер вследствие ядерной структуры проявляются новые магические числа протонов и нейтронов, формирующие остров стабильности сверхтяжелых элементов

деления природных изотопов кальция на электромагнитном сепараторе. Содержание этого изотопа в обычном кальции — 0,19%, он очень дорогой: один грамм стоит около \$200 тыс. А нам надо его ускорить почти до 0,1 скорости света и направить этот пучок на мишень из плутония.

Если мы сможем осуществить реакцию слияния плутония-244 и кальция-48, то образовавшееся ядро 114-го элемента с массой 292 будет содержать 178 нейтронов. При таком избытке нейтронов мы достигаем острова стабильности, хотя еще удалены от магического числа $N=184$

почти минуту, после чего таким же образом перешло во внучатое ядро 110-го элемента, последнее распалось спонтанно на два осколка. Сценарий этого ядерного превращения был весьма необычен, но очень близок к картине, предсказанной теорией. Мы решили продолжить эксперимент и скоро увидели второе такое событие.

Чтобы проверить себя, мы «поднялись этажом выше» с целью синтезировать подобным способом 116-й элемент: вместо плутония-244 использовали изотоп следующего, 96-го элемента — кюрия-248 и облучали его кальцием-48.

Группы																			Орбитали
1	1 H	2											13	14	15	16	17	2 He	1s
2	3 Li	4 Be											5	6	7	8	9	10	2s2p
3	11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	3s3p
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	4s3d4p
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	5s4d5p
6	55 Cs	56 Ba	57-71 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	6s5d6p
Заполнение седьмого периода	87 Fr	88 Ra	89-103 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113	114 Fl	115	116 Lv	117	118	7s6d7p
6	ЛАНТАНОИДЫ																4f		
7	АКТИНОИДЫ																5f		

Рис. 4

Периодическая таблица химических элементов Д.И. Менделеева.

Синтез элементов 113–118 заполняет седьмой период таблицы (желтые квадраты).

Продуктами распада ядер этих элементов становятся также новые ядра — изотопы 104–112-го элементов с большим избытком нейтронов (квадраты с зеленым контуром).

В аналогичной реакции образовавшееся ядро 116-го элемента в результате альфа-распада должно переходить в ядро 114-го элемента, полученного ранее в реакции плутоний-244 + кальций-48. Все последующие распады в 112-й и 110-й элементы будут такими же, как в эксперименте с мишенью из плутония-244.

В наблюдаемых цепочках распада регистрируются координаты ядер в фокальном детекторе сепаратора, а также времена и энергии альфа-частиц и осколков деления (для цепочки из трех звеньев — 11 параметров). В этих условиях генетическая достоверность (последовательность распадов: материнское — дочернее — внучатое и т.д. ядро) и повторяемость результатов устанавливаются с высокой точностью.

Первые пришельцы с острова стабильности

Первым отреагировал журнал «В мире науки / Scientific American». На обложке первого номера за 2000 г. матрос стоит на мачте, всматривается в тонкую полосу на горизонте и кричит «Земля!». Статья называлась «Путешествие на остров сверхтяжелых элементов». Действительно, и для нас после первых экспериментов по синтезу 114-го и 116-го элементов гипотетический остров приобрел видимые очертания.

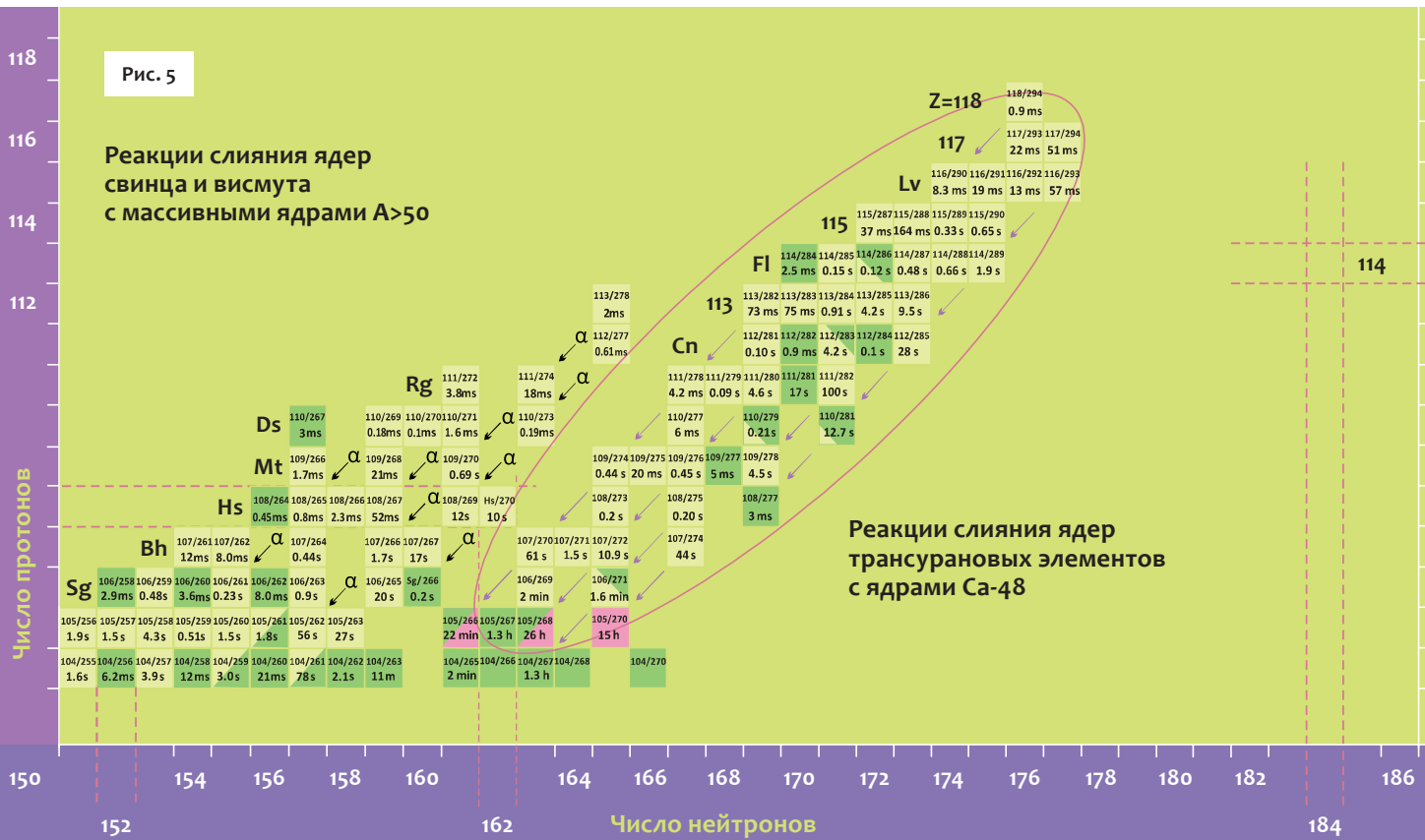
В первых экспериментах по синтезу 114-го элемента мишень была изготовлена из плутония-244 американского производства. Это был вклад сотрудничающих с нами американских коллег из Ливерморской национальной лаборатории. Другие изотопы 114-го элемента мы получили в реакциях с мишенью из плутония-242 российского производства. Недавно были закончены эксперименты по синтезу еще двух изотопов 114-го элемента, где использовалась мишень

из плутония-240, полученного на мощном реакторе Ок-Риджской национальной лаборатории. Так началось — и уже давно продолжается — наше плодотворное сотрудничество с американскими ядерно-исследовательскими центрами. Поэтому, когда дело дошло до присвоения названия элементам 114 и 116, мы предложили назвать их в честь сотрудничающих лабораторий: 114-й — флеровий с символом Fl и 116-й — ливерморий, символ Lv. С этими символами они вошли в таблицу Д.И. Менделеева как первые сверхтяжелые элементы.

В последующих экспериментах были синтезированы элементы с нечетными атомными номерами 115 и 117, а также самый тяжелый 118-й элемент. Дочерним продуктом распада 115-го элемента стал также неизвестный ранее 113-й элемент. В общей сложности мы получили 52 новых ядра — изотопов 112–118-го элементов и продуктов их распада вплоть до ядер 104-го и 105-го элементов. Прибрежную полосу и выход на сам остров мы прошукали в 52 точках.

Сейчас и в будущем

Фундаментальная часть нашей работы заключается в подтверждении теоретических предсказаний о существовании сверхтяжелых элементов, в том, что далеко от известной области ядер вследствие ядерной структуры проявляются новые магические числа протонов и нейтронов, которые формируют остров (острова) стабильности сверхтяжелых элементов. Сам факт существования сверхтяжелых ядер существенно смещает пределы масс ядер и атомов. Таблица Д.И. Менделеева содержит сегодня 118 элементов, заполняющих ее семь рядов. Вполне возможно заполнение восьмого ряда.



Карты атомных ядер. На рисунке показаны все известные к настоящему времени ядра изотопов с атомными номерами более 103. В овале расположены ядра, синтезированные в реакциях с кальцием-48.

Существенное преимущество ядер, расположенных на острове стабильности, — их относительно большое время жизни по отношению к ядрам более легких элементов. Это дает возможность исследовать электронную структуру сверхтяжелого атома, особенно последнего электрона, ответственного за химические свойства данного элемента. Раньше, когда периоды полураспадов более легких ядер исчислялись миллисекундами, мы такой возможности были лишены. Теперь, с использованием современной экспрессной химической аппаратуры, начаты химические исследования 112-го, 113-го и 114-го элементов, их химического поведения по отношению к легким гомологам: ртути, таллия и свинца (см.: Скерри Э. *Таблица Менделеева: век недолюе?* // *ВМН*, № 7–8, 2014).

Вполне естественно, что открытие сверхтяжелых элементов породило много вопросов. Где граница масс ядер, последний ли этот остров или могут существовать еще более тяжелые элементы? Могли ли образоваться сверхтяжелые элементы в Солнечной системе, когда шло формирование всех элементов вплоть до урана? Как будут вписываться элементы-тяжеловесы в периодическую систему Д.И. Менделеева? И это далеко не все вопросы.

Проблема в этих исследованиях, как и во многих других, — низкий выход сверхтяжелых атомов. Производительность от одного атома в месяц до одного атома в день сильно ограничивает фронт работ. Поэтому уже третий год в ОИЯИ идет создание нового комплекса — «Фабрики сверхтяжелых элементов», на которой производительность будет повышена до 100 раз. Новый комплекс — это новый, более мощный ускоритель, новые экспериментальные залы, новые физические и химические установки, возможность длительной, круглосуточной работы в течение многих месяцев и т.д.

С вводом нового комплекса будет реализована новая программа исследований. В основных очертаниях она была разработана нами в прошлом году. Эксперименты, которые ведутся сегодня на пучке ионов кальция-48, нацелены сейчас и в ближайшем будущем на проверку ряда подходов, которые будут реализованы на новом комплексе.

Штурм острова стабильности продолжается. ■

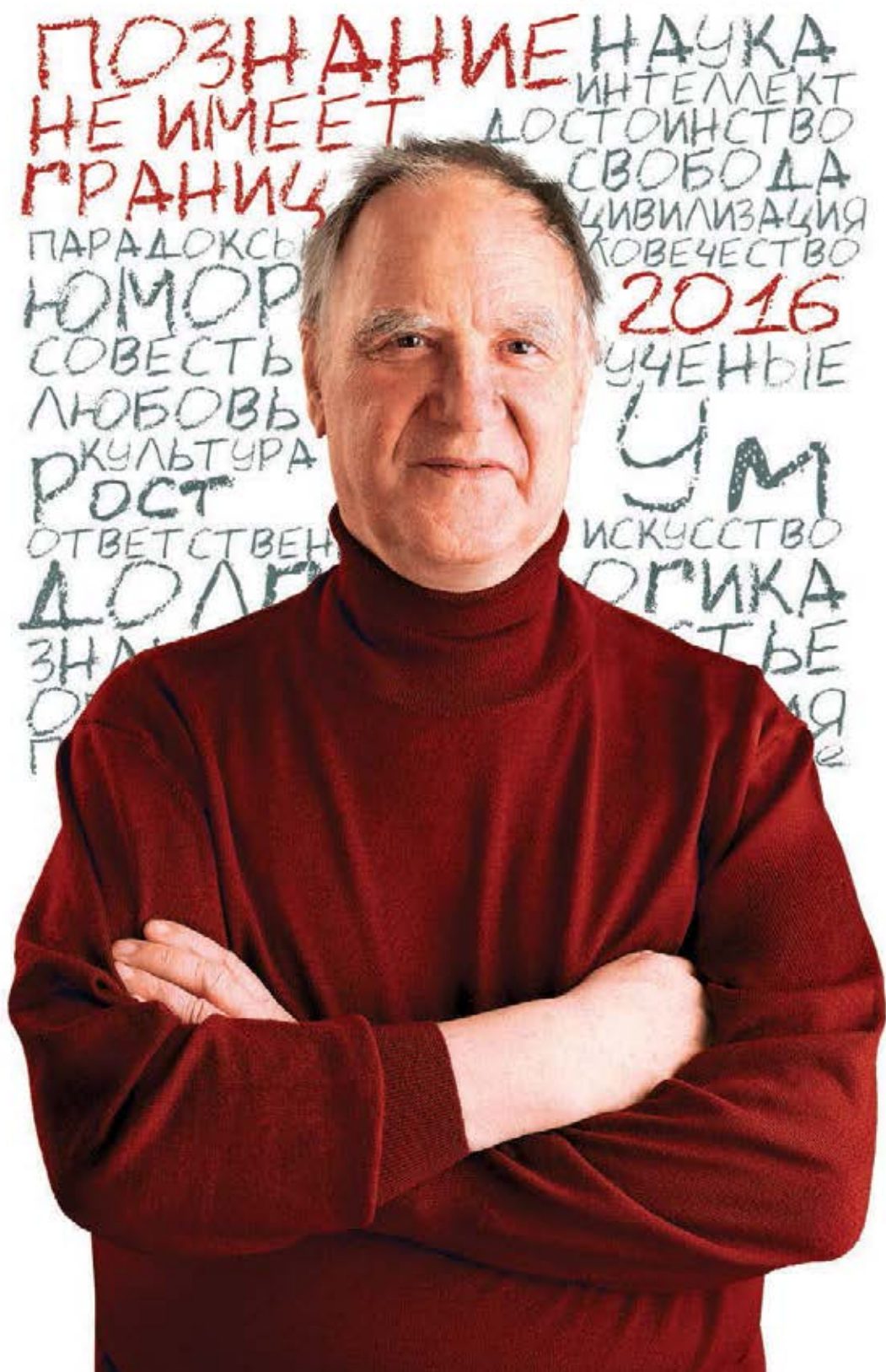
Подготовил Валерий Чумаков



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>



120 ЛЕТ
ИСТОРИИ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Президиум Российской академии наук поздравляет преподавателей, студентов, аспирантов и сотрудников Томского политехнического университета со знаменательным юбилеем!

Старейший в зауральской части страны технический вуз за 120 лет своего существования подготовил блестящую плеяду ученых, конструкторов, инженеров, других специалистов, известных всему миру. Среди них один из создателей МАИ и организаторов становления авиационной и ракетной техники в СССР А.В. Квасников, конструктор вертолетов Н.И. Камов, первый президент Академии наук Казахской ССР К.И. Сатпаев, главный конструктор и строитель Останкинской телебашни Н.В. Никитин, академик Г.А. Месяц, глава Республики Бурятия В.В. Наговицын и др. Невозможно найти в нашей стране крупное предприятие или отрасль, в руководстве которых не было бы выпускников ТПУ. Сегодня ТПУ — один из самых динамично развивающихся вузов России. Присвоение ему статуса научно-исследовательского университета придало мощный импульс и фундаментальным исследованиям, и прикладным разработкам. Мегапроекты, которыми занимаются специалисты ТПУ, имеют огромное значение не только для нашей страны, но и для всего мира, а международное признание Томского политехнического университета подтверждается полноправным членством в самых авторитетных научных организациях.

**Желаю вашему коллективу
удачи в научных поисках,
крепкого здоровья и новых
свершений!**

Президент Российской
академии наук
академик

Владимир Фортов



Путешествие к центру Земли, а потом и Луны

**Фантастика постепенно
становится реальностью**

150

лет назад Жюль Верн написал один из знаменитых романов «Путешествие к центру Земли». Его с увлечением читали как современники, так и потомки писателя, убежденные в том, что предсказания великого фантаста никогда не станут реальностью.





И вот уже в наши дни приходит сообщение, которое заставляет меня бросить все дела и отправиться в Томский политехнический университет: кемеровскими учеными создан аппарат, способный уже в ближайшее время отправиться на Луну и пробурить ее насквозь.

Геоход на стапеле

Он скромно стоит в углу цеха и кажется совсем небольшим. Но чем дальше всматриваешься в очертания геохода, тем сильнее он приковывает к себе внимание.

«Напоминает сказочное чудовище», — скажет школьник. «Большая мясорубка», — возразит домохозяйка. «Железный дракон», — заметит китаец. «Главный герой фильма ужасов», — не согласится американец. «Машина моей мечты!» — поставит заключительную точку заведующий лабораторией подземной робототехники Института угля СО РАН профессор **Владимир Валерьевич Аксенов**.

Все новое в технике начинается с науки. Так произошло и на этот раз.

— Вы академик горных наук, главный специалист по подземной робототехнике. Честно признайтесь: вы единственный?

— Если честно, то в целом нас немного, можно пересчитать по пальцам, а в Сибирском отделении РАН я единственный. Почему я выбрал эту профессию? Отец — шахтер, сибиряк, а мама из Белоруссии. Эвакуировали последним поездом из-под Витебска. В Кемерове окончил школу и поступил в Кузбасский политехнический институт. С тех пор я здесь.

— А как вы пришли к тому, что горную технику нужно менять коренным образом?

— Уточняя: проходческую технику. В 1977 г. в Кемерове открыли первое академическое отделение по комплексной горной технике, и уже

лет спустя академик Дмитрий Иванович Щербаков написал: «Создание аппарата для путешествия к центру Земли на сегодня — идея фантастическая, однако возможности развития науки и техники безграничны и, возможно, настанет время, когда на повестке дня так же реально будет стоять вопрос о путешествии к центру Земли, как сейчас стоит вопрос о путешествии на другие планеты».

на третьем курсе я начал там работать. По прямой специальности я шахтостроитель-технолог, а судьба забросила в горные машины. Коллектив был молодой, жаждущий сделать что-то новое. Обсуждали разные идеи, спорили, придумывали. Появлялись первые экспериментальные образцы — сами проектировали, изготавливали, проводили испытания. Научился работать на станках, варить, собирать разные конструкции. Нам выделили группу грамотных шахтеров, которые умели изобретать, и мы сделали первый экспериментальный образец новой машины.

— И это все в академическом институте?

— Мы не разделяли науку на прикладную и фундаментальную. Для нас она была едина, да и хотелось видеть воплощение своих идей в реальные конструкции. В общем, сделали опытный образец. На испытаниях мы доказали всем, что можем ввинчиваться в массив, т.е. использовать внешний движитель. Однако были крупные погрешности, а потому было решено создать другой экспериментальный образец. Кстати, при первом опыте прошли 10 м. Это была реальная выработка. Второй образец мы уже делали не сами, а разместили заказ на очень хорошем заводе в Новосибирске, аналоге ленинградской «Электросилы». На заводе сделали нашу машину для проходки штолен диаметром 4,2 м. В это время на нас вышли военные, те, кто занимается саперной техникой, а затем и метростроевцы. Мы начали работать вместе. Однако пришли 1990-е гг., финансирование прекратилось. Надо было кормить семью. Я пошел в бригаду, которая укладывала асфальт. Потом закладывал новую шахту. В общем, ушел из науки. Чуть позже понял, что не могу без нее, — в 2004 г. вернулся, защитил докторскую...

— Странное дело: горные работы существуют веками, казалось бы, все известно... Почему так долго не придумывали новое? Ждали вас?

— Преподаватели в институте рассказывали, что горные инженеры были элитой — они ходили в белых перчатках, знали все на свете, на них смотрели с восхищением. Теперь-то я понимаю, что эта «элитарность» и это «всезнание» и завели горные науки в тупик. Некие чудачки 100 лет назад делали из бумаги и реек аэропланы, горные инженеры над ними посмеивались — мол, ничего не получится, а те чудачки как раз и придумали движители, без которых не было бы ни авиации, ни ракетной техники, ни подводного флота.

— Везде прогресс, а в горном деле нет?

— Гусеничный ход хорош на поверхности, но не в земле. Там нужно двигаться иначе.

— То, что вы сделали, можно назвать революцией в науке и технике?

— Наверное. Как только мы вышли за флажки, сразу же открылся такой Клондайк идей и проек-

— Пофантазируйте, что можно сделать, когда таких машин будет в достатке?

— Можно построить подземные города. Но это в будущем. А сейчас такие машины можно применять, например, для прокладки подземных коммуникаций, транспортных систем. Мы по всей стране тянем пылящие и дымящие трассы, а ведь можно уйти под землю и летать там по проложенным тоннелям на машинах, использующих магнитные поля. Фантастика? Пока да, но в принципе создание аналогичного транспорта — всего лишь техническая проблема, вполне разрешимая уже сегодня. Сегодня нужны коллекторы в крупных городах, это уже жизненно важная проблема. Необходимо метро в тех городах, население которых превышает 1 млн жителей. Можно насчитать около сотни проектов на Земле. А если уходить за ее пределы — ведь проекты колонизации Луны и Марса уже рассматриваются всерьез, — то без наших машин обойтись просто невозможно. Я упомянул Луну не случайно: уже ведутся разговоры о том, чтобы возить оттуда полезные ископаемые. Мы создали движитель, который, взаимодействуя с самой средой, создает силу тяги. Машины мы назвали геоходами. Это, по сути, проходческие агрегаты, которые движутся в твердой среде, используя ее саму.

— Подземные самолеты?

— Образ имеет право на существование. Перед вами яркий представитель семейства геоходов. На его внешнем контуре есть специальные фрезы, а на хвостовой секции крылья как элемент противовращения. То есть всю силовую раскладку мы передаем на породу, и это позволяет резко снизить массу машины. Полная противоположность классическому горному машиностроению, утверждающему, что для эффективной

проходки надо увеличивать вес. А мы утверждаем противоположное! И теперь уже можно использовать самые современные материалы, в частности композитные. Это наукоемкие машины, которые можно постоянно совершенствовать, если появятся новые материалы. Итак, мы имеем дело с новыми технологиями, новыми машинами и новыми областями их применения. Ничего подобного нет не только в России, но и в мире. Машины можно использовать везде — при прокладке коллекторов в городах, в шахтах, при строительстве метро, для спасательных работ и, конечно же, в военных делах. Мы лидеры в этой области, и это признают и за рубежом. Наша команда включает в себя как опытных ученых, лучших конструкторов горных



Геоход на стапелях

тов, что это даже трудно было представить раньше. Геодинамика подземных аппаратов — мощная наука, и ее надо создавать. Необходимо исследовать, как элементы будут взаимодействовать со средой. Это и движитель, и корпус, и крылья, и все механизмы.

— Можно ли говорить о рождении принципиально нового направления в горном деле и о том, что оно требует к себе внимания представителей практически всех отраслей науки?

— Да, это так. Опять-таки хочу уточнить: горное дело — это добыча полезных ископаемых, использование в нем наших машин, конечно же, полезно. Но речь идет о создании разнообразных подземных сооружений с помощью новых технологий.



Работа по сборке геохода кипит, мечта становится реальностью



машин, так и молодых исследователей и специалистов. Есть и студенты Томского политехнического университета. У них глаза горят, когда они видят геоход. Создается новая программа по созданию комплекса машин для горного дела, и в ней найдется место каждому талантливому молодому выпускнику Политеха. Наука в моем понимании — это разведка. Она должна добывать новую информацию, приносить людям, которые способны ее реализовывать.

Можно понять увлеченность создателя геохода — его мечта буквально на глазах становится реальностью. Но разве только он так увлечен новой машиной? Отнюдь — следом за наукой идет производство и образование. Именно на этих трех китах все держится в современном мире.

Машина нашей мечты

«Машина нашей мечты». Именно так о геоходе отозвались два очень непохожих друг на друга человека, один чистый производственник, второй — директор института.

Общая стоимость проекта составляет 200 млн рублей, из них 90 млн выделило Министерство образования и науки непосредственно Кемеровскому опытному-механическому заводу, который сам потратил 20 млн рублей, чтобы довести изделие до опытного образца. Я поинтересовался у заместителя директора по развитию **Сергея Григорьевича Масалитина**, чем интересен этот проект для предприятия. Он ответил кратко и емко:

— Мы смотрим в будущее, размышляем о том, как предприятию надо развиваться. Наш завод выпускает продукцию для городов — технику для летних и зимних работ. Предложение ТПУ нас заинтересовало потому, что геоход можно использовать в городском хозяйстве. Что скрывать, мы

ищем новые рынки сбыта. Геоход — это та машина, которой в мире еще нет. Следовательно, благодаря ему мы сможем развиваться, получать прибыль. Кроме того, геоход — это современные технологии, новая техника, мы можем повышать квалификацию наших рабочих. Создавать технику завтрашнего дня — это не только выгодно, престижно, но и необходимо, чтобы достойно чувствовать себя в нынешней действительности.

С директором Юргинского технологического института ТПУ **Андреем Борисовичем Ефременковым** разговор получился обстоятельным. Он начался с истории о том, как судьба свела его с геоходом.

— Что вам нравится в этом проекте?

— Профессор Аксенов способен увлечь своими идеями любого. Однажды мы с ним встретились, поговорили, и этого оказалось достаточно, чтобы я загорелся идеей геохода. Я сразу же понял, насколько перспективны подобные машины. Как раз в это время Юргинский завод начал выпускать технику для горных работ и мы в институте открыли специальную образовательную программу. Таким образом, мои научные интересы переплелись с задачей подготовки специалистов. Нам поддержали на федеральном уровне. Были выделены средства, появилась реальная возможность не только помечтать о такой машине, но и сконструировать ее, изготовить, испытать и в конечном итоге запустить в серию. Федеральная программа, которая предусматривает единение академической науки, вуза и производства, реализуется в данном проекте. У нас образовалась хорошая команда, и мы поймали этакий профессиональный кураж. Три года работаем над проектом, увлечены все — от профессора до студента.

У нас в Юрге есть специальная площадка, на которой собираются специалисты института

и Юргинского машзавода, а также студенты. Работа идет совместная. Если посмотреть на документацию, что была создана по проекту, то масштабы, конечно же, впечатляют. Это несколько коробов, заполненных чертежами, расчетами, документами. Для студентов это — «осязаемая» учеба.

— **Увлекла фантастичность проекта?**

— Когда впервые о нем слышишь, в его осуществление не верится. В этом не раз убеждались. Особенно когда с проектом знакомилась шахтеры. Наверное, хорошо, что я не шахтер, а машинистроитель, иначе стереотипное мышление не позволило бы принять проект. Я увидел оригинальную машину, которая вполне воплотима. Шахтеры не любят рисковать, слишком опасная у них профессия, а потому ко всему новому они относятся с недоверием. Да и хозяева шахт не позволяют им это делать, а договориться с ними не всегда возможно, поскольку находятся они подчас далеко отсюда, совсем в других странах...

— **С чем можно сравнить геход? С атомным реактором или ракетой?**

— Ближе ракета. Принцип работы гехода сам по себе очень красив. Мы используем твердую среду для того, чтобы машина двигалась вперед. Это достигается с помощью винтовых и продольных каналов. Двигаться в тверди очень сложно, и до конца мы все проблемы еще не только не изучили, но и не обозначили. Однако начало положено, и это главное. Теперь же к программе геходов надо подключаться ученым разных специальностей.

— **Машина красивая?**

— Шикарная! Когда все механизмы начинают вращаться, взаимодействовать, возникает ощущение необычности происходящего. Если же представить, как геход работает под землей, — а сделать это несложно, глядя на машину, — то действительно как будто попадаешь в фантастический фильм. А ведь это реальность!

— **Где же вначале будут использоваться геходы?**

— Для создания проходов под автомобильными и железнодорожными трассами. Диаметр первенца — 3,2 м. Если же геход с диаметром 6 м, то это уже годится для метро. В Кемерове предполагается делать каналы для коллекторов глубокого залегания. Коммунальные службы многих городов нуждаются в геходах. И, конечно же, их можно использовать для спасения людей в чрезвычайных ситуациях. Там требуется геход диаметром 1,5 м, причем небольшого веса, чтобы можно было транспортировать его

на автомобильной платформе и в самолете. Можно использовать геходы и для захоронения отходов атомной промышленности — там необходимо проделывать разные тоннели, и наши машины это могут делать весьма эффективно. Вот вполне реальные проекты применения геходов.

— **На каком этапе вы сегодня находитесь?**

— Готов промышленный образец, который полноценно работает. Он делался таким образом, чтобы сразу начинать серийное производство. Есть конструкторская документация, есть все необходимое, чтобы тиражировать геходы этого типа.

— **Вы читали «Путешествие к центру Земли» Жюль Верна?**

— Конечно.

— **И в какой степени вам удалось реализовать его идеи?**

— Мне кажется, абсолютно. Я имею в виду техническую грань романа: как, на чем и каким образом следует путешествовать вглубь Земли. Наш геход способен на это, по крайней мере до границ раскаленной магмы.

Четвертый кит успеха

В наши дни на трех китах уже не устоишь, нужен четвертый. Понятно, что я имею в виду бизнес. Настоящий, не спекулятивный, а созидающий. И яркий представитель его в команде гехода — генеральный директор Сибирского научно-производственного объединения **Сергей Вильевич Магазов**. О геходе он высказался вполне определенно:

— Для меня геход — это прежде всего спасательные операции. Землетрясения уничтожают целые города, взрывы газа приводят к разрушению домов — такое случается почти каждый день. Очень много людей гибнет под завалами. К пострадавшим можно добраться только сверху, разбирая завалы. А снизу нельзя, т.к. те же проходческие



Держись, порода!

Слева направо: С.Г. Масалитин, В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков



С.В. Магазов

щиты весят много тонн. Одно из требований к геходу — малый вес, чтобы его можно доставить на самолете в любую точку земного шара. Думаю, он спасет немало человеческих жизней.

— А смог бы он работать в условиях мощных радиационных полей?

— Безусловно. Дело в том, что в нем использованы те принципы и детали, на которых должно держаться современное машиностроение. Это второе его предназначение — задавать непростые задачи разработчикам и производителям узлов и агрегатов, решая которые, мы можем получить не имеющие аналогов компоненты для всей промышленности.

Чтобы развиваться и создавать новое, нужны четыре базовых компонента: специальные металлы и сплавы, подшипники, редукторы и двигательные установки. В любой машине, будь то автомобиль или ракета, присутствует именно эта четверка. От качества агрегатов зависит создание новой техники, к которой и принадлежит геход. В свое время появление самолетов и ракет вызвало создание новых отраслей промышленности. Геход — это подземная ракета, следовательно, для него нужны надежные высокотехнологические узлы, что, в свою очередь, поднимает на более высокий уровень технику, промышленность, экономику.

— Ваше объединение выпускает редукторы, равных которым нет в мире. Но разве существует дефицит подшипников? Их ведь можно дешево купить за границей...

— Да, подшипники можно купить в Китае, там их производится на \$4 млрд, и распродают они по всему миру, но сами китайцы на немногим меньшую сумму закупают подшипники в западных странах и Америке, потому что их качество несравненно выше. Поэтому я категорически против термина «импортозамещение», который подразумевает, что мы будем делать такую же продукцию, как за рубежом. У России есть сейчас уникальная

возможность — перезапуская многое в промышленности заново, сделать это на качественно новой, недостижимой пока для других основе. Геход наглядно демонстрирует такую возможность.

— Откуда у вас такие глубокие знания не только техники, но и экономики?

— Я окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана. Ракетчик. Практику проходил в Тушине, там стояли три «Бурана» разной степени готовности. Шел 1993 г., и никому они уже не были нужны. Высококласные специалисты обжимали палочки для туристических палаток — выживали. Наверное, именно там я понял, насколько важно заглядывать в будущее, чтобы уникальные машины не постигла судьба «Буранов». Я занялся экономикой, получил второе образование. И теперь уже появилась мечта о создании новой экономики, в которой «кладбищу "Буранов"» попросту не было бы места. А это зависит от того, вытеснили ли деньги творчество. Я не против того, что бывают времена, когда приходится выживать, но заканчиваются они только тогда, когда мы снова пытаемся заглянуть за горизонт.

...И бетонный куб надежды

В заключение — о символике. На испытательной площадке вырос бетонный гигант: шесть на шесть и десять метров в длину. Куб (так называют бетонное сооружение создатели гехода) необходим, чтобы испытать мощь машины. Она врежется в бетон, пройдет насквозь, и аккуратная дыра продемонстрирует возможности гехода, а также позволит создателям детально определить все его параметры. Это нужно для специалистов, которым предстоит работать с новыми аппаратами.

Для меня же куб — это граница между прошлым и будущим, в которое и пробивает новое окно уже ставший легендарным геход. ■

**Беседовал Владимир Губарев
Томск — Юрга — Кемерово**

Всё, всем, всегда

ДОСТУПНО



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

ПОДПИСКА

12 или 6 номеров журнала
в год, рассказывающих
о последних открытиях в мире
науки, медицины и технологий

АРХИВЫ НА DVD

Более 360 номеров журнала
и более 5000 статей для
поиска нужной информации.
1983–2014

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

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

www.sciam.ru/projects/dvd-electronic-catalogue

**В мире
науки** SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

Мы продолжаем начавшееся еще осенью путешествие по многочисленным институтам Томского политехнического университета. На этот раз наше внимание привлёк Институт природных ресурсов (ИПР ТПУ).



Что
Наша
Жизнь?

Вода!



В структуре Томского политеха ИПР занимает почетное и законное первое место. Совсем скоро ему исполнится шесть лет, а если взглянуть глубже — 115. Он был создан 1 июня 2010 г. в соответствии с программой развития ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на 2009–2018 гг. Институт был образован на базе старейших горных отделений университета, открытых в составе Томского технологического института императора Николая II (как назывался ТПУ до революции) еще в 1901 г.

В организации горного отделения принимал участие один из самых известных и авторитетных российских и советских геологов — академик В.А. Обручев. На кафедрах института обучались первый в Сибири академик АН СССР М.А. Усов, первый президент Академии наук Казахской ССР академик К.И. Сатпаев, первооткрыватель норильского рудного богатства профессор Н.Н. Урванцев, профессор М.К. Коровин, одним из первых указавший на перспективы нефтегазоносности Западной Сибири, и многие другие знаменитые ученые. Всего из стен предтечи ИПР — Института геологии и нефтегазового дела — вышли 15 академиков и членов-корреспондентов Академии наук СССР, а позже РАН.

Цифры

346 научно-педагогических сотрудников формируют сегодня кадровый состав Института природных ресурсов Томского политехнического университета. Из них 188 имеют кандидатскую степень, 56 — докторскую, пять — действительные члены РАН. Бакалавриат насчитывает шесть, а магистратура — восемь направлений, подготовка дипломированных специалистов ведется по двум специальностям.

Коротко

Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и гидроэкологии (ГИГЭ) была основана в Томском политехническом институте в 1930 г. На сегодня это одна из лучших школ гидрогеологии в стране. На базе кафедры открыт научно-образовательный центр «Вода», располагающий мощной лабораторной базой. В последние годы на кафедре постоянно растет количество патентов и научных публикаций, в том числе в зарубежных изданиях: только за этот год опубликовано 176 работ. У кафедры есть множество зарубежных партнеров, например Китайский геологический университет и Восточно-китайский политехнический университет, которые обеспечивают студентам и преподавателям стажировки, совместные гранты и участие в симпозиумах. Выпускники кафедры считаются одними из лучших в своей области и ценятся во всем мире.

Если вы считаете, что основной геологический природный ресурс для нас — это нефть, вы не правы. Важный — да, стратегический — да, бюджетообразующий — да. Но не основной, потому что основное — это то, что находится в основе всего. Конечно, углеводороды лежат в основе нашей цивилизации, но только на данном этапе ее развития.

Еще какие-то столетие-другое назад ни нефть, ни газ особенно никого не интересовали. Вполне возможно, что в ближайшие столетия интерес к ним весьма существенно упадет. Для этого человечеству надо всего лишь сменить основной энергоноситель. Но есть природный геологический ресурс, который лежит в основе не только всей нашей цивилизации, но и всей жизни. Это довольно простое, а в действительности очень сложное соединение из водорода и кислорода под названием «вода». Поэтому мы и отправились на кафедру гидрогеологии, инженерной геологии и гидроэкологии.

«Все живое состоит как минимум на 60% из воды, — рассказывает профессор кафедры **Степан Львович Шварцев**. — Мы с вами — на 70%: мозг на 90%, кровь на 95%, кости на 30–40%, мышечные ткани — на 50–60%, а в среднем — 70%. Интересно, что и на Земле вода тоже занимает 70% поверхности. Случайность это или нет — другой разговор».

Выпускник Томского политеха по специальности «гидрогеология и инженерная геология», С.Л. Шварцев занимается водой уже более

полувека. Трудно найти человека, который знал бы об этой важной для нас субстанции больше, чем он.

«Казалось бы, вода — очень простое соединение, но она играет колоссальную роль в формировании окружающего мира. Почти все на поверхности нашей планеты сформировано водой. Даже минералы и большая часть горных пород. При этом роль воды в происхождении мира до сих пор глубоко не осмыслена. Это вредит науке, потому что без этого мы не можем понять суть многих явлений — от формирования земной коры до происхождения жизни. Сейчас, когда мы пытаемся выяснить, есть ли или была ли когда-нибудь жизнь, скажем, на Марсе, первым делом мы спрашиваем, а есть ли там вода.

На рубеже XVIII–XIX вв. ученые в отношении геологии делились на плутонистов и непутистов. Плутонисты объясняли все явления действием огненных вулканов, выносящих на поверхность из глубин планеты расплавы минералов, а непутисты первую роль отдавали воде. К сожалению, победили плутонисты, причем так, что воду вообще потеряли из виду.

Конечно, вулканические силы, идущие из глубин и изменяющие планету, есть, но самое главное создает вода. Причем начиная со структуры, взаимодействия, поведения, аккумуляирования энергии, перестройки самих молекул воды. Это удивительная субстанция, обладающая необыкновенными свойствами. Мы знаем, что при охлаждении все вещества сжимаются, а это значит, что плотность их растет. Практически все материи в твердом состоянии плотнее, чем в расплавленном, жидком, — все, кроме воды. Если бы она вела себя так же, как другие материалы, лед в морях, реках и озерах опускался бы на дно и водоемы при отрицательных температурах промерзали бы полностью. Но лед парадоксально легче, чем жидкая вода. Поэтому он покрывает водоемы сверху и защищает их. На Севере под озерами и реками даже нет вечной мерзлоты.

Вода обладает дуализмом: выделяет и волны, и кванты света. Она непостижимым способом преобразует и накапливает энергию, в ней идут разные реакции, меняется структура, возникают точки равновесия системы — аттракторы. Если мы узнаем, как вода передает энергию, то поймем, что такое электрический ток. Физикам сейчас известно минимум семь агрегатных состояний воды. И это далеко не все. Казалось бы, простейшая химическая формула, а там столько тайн и перспектив, что просто голова кругом идет. По некоторым смелым прогнозам, из воды скоро можно будет строить дома и шить одежду.

Великий ученый В.И. Вернадский писал, что в каждой капле воды отражается обций состав космоса. Впрочем, как и в каждой пылинке. Есть такой устоявшийся журналистский штамп: "в этом продукте можно найти всю таблицу Менделеева".

Но ученые знают, что элементы в природе рассеяны столь широко, что всю таблицу Менделеева — в различных, конечно, подчас микроскопических концентрациях — можно найти везде. Но именно вода сыграла в формировании нашего мира решающую роль».

Вода камень точит. Именно этот процесс «каменоточения» сотрудники кафедры считают одним из главных и, безусловно, основополагающим на нашей планете. По их словам, вода никогда не может прийти в равновесное состояние с некоторыми минералами, в которых она находится. Она их непрерывно растворяет, но сама при этом ими не насыщается. Одни элементы в ней концентрируются, другие, достигая определенной степени насыщения, напротив, выпадают в осадок. И так на протяжении многих миллионов лет. При этом происходит глубокая дифференциация элементов. Вещества на поверхности земной коры и в ее глубинах перераспределяются полностью. Так вода создает вторичные материалы и меняет саму геохимическую среду. Следующая порция H_2O взаимодействует уже с полученным вторичным продуктом. Проходя слой вторичного образования, она насыщается его химическим составом и, достигая первичной горной породы, может идти только дальше, по пути усложнения структуры. То есть изменение химического состава воды представляет собой постоянное и неуклонное движение вперед, по пути не столько разрушения, сколько созидания.

«Уже в неживой, косной материи, — продолжает свой рассказ С.Л. Шварцев, — заложен механизм усложнения, однонаправленного движения, развития. А это именно те механизмы, существование которых прежде относили только к живой природе. Именно здесь, в самоорганизации неживой, косной материи, в системе "вода — порода" начиналась эволюция, принципы которой, усложнившись, перешли в живое вещество».

Именно так: ученый уверен, что вода выступает на нашей планете главным двигателем не только геологической, но и биологической эволюции. Сегодня мы не можем похвастаться фундаментальными знаниями механизмов глобальной эволюции. Гносеологически нам до сих пор неведомы многие законы природы. Так, мы по-прежнему не можем не только ответить на вопрос, откуда произошла жизнь, но и вообще определить, что это такое.

«Многие ученые — Ламарк, Вернадский, Бернал — искали различия живого и неживого. Кто-то находил 15 главных отличий, кто-то 20. Но в последнее время тенденция меняется, и ученые, наоборот, находят все больше сходства. Главное, что все живые организмы и неживые тела содержат воду: нет ни живых, ни косных, ни биокосных систем без воды. Далее: хотя основная доля органических веществ

образуется в процессе фотосинтеза из углекислого газа и воды, источниками всех других элементов, без которых жизнь просто невозможна: натрия, калия, магния, кремния, железа, цинка, фосфора и т.д., — служат базальтовые породы. Водой они вымываются и водой же доставляются в организмы и животных, и бактерий, и растений. Но вода — не только транспортное средство, она определяет состав и место образования любого синтезируемого в живом и неживом теле соединения, пронизывает все живые, косные и биокосные образования, создавая внутренние противоречивые равновесно-неравновесные системы, прообразом которых служит именно система "вода — порода".

Гносеологически нам до сих пор неведомы многие законы природы. Мы по-прежнему не можем не только ответить на вопрос, откуда произошла жизнь, но и вообще определить, что это такое

В системе взаимодействия воды с твердыми породами есть внутренние эволюционные процессы, которые абсолютно не зависят от внешних факторов. И эти процессы приводят к появлению минералов и химических соединений, в том числе органических, которых на Земле до этого никогда не существовало».

Этот процесс С.Л. Шварцев сравнивает с тем, как функционирует наш организм: «Мы едим и получаем одни вещества, но потом организм их перерабатывает, происходит синтез совершенно новых соединений. Энгельс говорил, что жизнь — это форма существования белковых тел. Я же прихожу к выводу, что жизнь — это форма существования сложных водных систем. В геохимических процессах, происходящих при взаимодействии воды и породы, заложен механизм однонаправленного движения, эволюции, появления более сложных соединений».

Сейчас мы все чаще слышим, что жизнь была занесена на Землю из космоса. Хорошо, допустим, прилетели оттуда какие-то бактерии — но кто им тут создал благоприятные условия? Им же надо иметь среду для питания и размножения. В непригодной среде они просто погибнут. Так что вся эта теория панспермии — просто байки. Жизнь возникла здесь, на Земле, и мы как раз занимаемся расшифровкой этой сложнейшей цепочки».

В своих выводах томский ученый готов спорить с самим Чарлзом Дарвином. И не просто спорить, а выдвигать достаточно существенные аргументы:

«Я не сторонник бытующих популярных гипотез о возникновении биологических объектов, начиная с библейской версии или импорта голограмм из глубин Вселенной с записями генетического кода. Роль божественного промысла понятна, но она лишь предмет веры. Человек эволюционировал явно не из сгустка слизи, как медуза, и, конечно, не от дарвиновской обезьяны.

Дарвин, отец эволюционной теории естественно-го отбора, частью ученых признается великим человеком, но предложенный им механизм имеет случайный характер. А жизнь не может возникнуть случайно. Хороший пример в свое время привел американский астрофизик Фред Хойл, сравнивший возникновение человека с самолетом, полностью собранным дуновением ветра, залетевшего в ангар, в котором лежали разложенные по стеллажам авиационные запчасти.

Эволюцию обусловили не отбор и борьба видов, а изменение состава воды. Живые существа в своем развитии пили разную воду и приобретали новые свойства и соединения. Люди как биологические объекты состоят из воды, она у нас в связанном состоянии, большая ее часть находится в тончайших кровеносных сосудах.

По убеждению профессора Шварцева, жизнь возникла в тонких порах Земли, где вода сильно отличается от той, которую мы привыкли наливать в чайник.

«Сегодня ученые уверены, что без воды нет белковой формы жизни, но никто не может ответить на вопрос, откуда взялись сами белки. Я уверен и могу свою уверенность объяснить: они созданы водой в процессе ее взаимодействия с органическим веществом — продуктом фотосинтеза, но по тем же базовым законам, по которым эволюционирует система "вода — порода". Первые белковые молекулы и стали предтечей того, что мы сейчас называем жизнью.

Фотосинтез запустил новый гигантский процесс формирования второй по времени после "вода — порода" системы: "вода — растительная органика". В результате в водной среде, в которой уже шло образование новых соединений, появились и вещества растительного происхождения. Предположительно, первая растительность состояла в основном из целлюлозы, синтез которой, вероятно, был одним из самых ранних.

На завершающем этапе возникла третья и наиболее для нас значимая система "вода — животная

органика". Животные кроме водных растворов потребляют еще и твердую органическую пищу. Причем их желудочно-кишечный тракт как раз и создан таким образом, чтобы переводить эту твердую пищу в растворенное состояние. То есть организм в процессе питания получает вещества в неравновесном состоянии с биохимической средой организма, но он их перерабатывает в растворы. Только в таком состоянии питательные вещества поступают в кровь и разносятся по всему организму.

Мы непрерывно получаем в растворенном виде различные химические элементы, органические соединения, сложные и простые молекулы — вплоть до поступающего вместе с воздухом кислорода. Уве-



Анализ проб воды

личение в водной среде организма, основную часть которой представляет собой кровь, концентрации различных соединений обеспечивает образование многочисленных сложнейших органических и органо-минеральных веществ, необходимых для нашей жизнедеятельности. Причем процесс образования происходит в строгом соответствии с законами термодинамики и по тем же принципам, которые регулируют образование вторичных минералов в неживой геологии.

Вот и скажите, как после этого согласиться с теорией Дарвина, не бравшего в расчет воду, но считавшего, что эволюцией движут случайности? Я не верю, что столь фундаментальный процесс может быть случайным, и знаю: ключ ко многим еще не познанным нами тайнам жизни лежит в воде».

Профессор уверен: вопрос изучения истинных причин и механизмов эволюции имеет не только фундаментальное, но и огромное практическое значение. Поэтому он собирается делегировать

на рассмотрение Совета при Президенте РФ по науке и образованию проблему «Механизм глобальной эволюции окружающего мира» как приоритетное направление российской науки: «Ученые спорят о происхождении нефти, органическое оно или неорганическое. Если мы узнаем, как образуется нефть, то будем правильно, без потерь заниматься и ее поиском, и ее переработкой. Таким образом, познавая фундаментальные процессы эволюции, можно делать практические выводы.

Если программа будет принята, у Томска появится реальный шанс стать мировым лидером в решении этой сверхсложной задачи. Под проблему нужно создать оргструктуру нового типа — советы,

качественно и рационально. Пришло время собрать представителей разных институтов, структур, поставить перед ними общую задачу и наконец-то реально объединить интересы науки для решения главной проблемы.

Задел новой оргструктуры — томские университеты, в которых изменится концептуальная основа подготовки кадров, академические НИИ, кроме того, есть готовая внедренческая форма — Особая экономическая зона. В проекте будет место всем. И Томск может решить эту амбициозную задачу».

Подготовил Валерий Чумаков



С.Л. Шварцев. «В муках творчества»

кластеры ученых разных специальностей, консорциумы научных учреждений. Ведь у российских ученых есть богатейший опыт по интеграции разных отраслей науки и производства для решения серьезных задач. Вспомните хотя бы космическую или ядерную программу. Не обязательно при этом создавать новые институты, это может быть сетевая структура. У нас есть прекрасные физики, математики, геологи, нефтяники, химики, биологи.

В Институте оптики атмосферы Томского научно-го центра физики довольно глубоко изучают воду. Биологи Томского государственного университета тоже серьезно этим озабочены. Конечно, эту самую известную жидкость в природе давно изучают и физики, и химики, и океанологи, и гляциологи... Но все они занимаются своей частной проблематикой, никто не поднимается до уровня обобщения тематических интересов. Природные процессы изучались тысячи лет, но сейчас мы достигли такого уровня кооперации, что можем делать это быстро,

Справка

Степан Львович Шварцев

- Доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, заслуженный геолог РФ, заслуженный деятель науки РФ.
- Родился в деревне Виги Каунасского района Литвы. Окончил Томский политехнический институт.
- 1960–1964 гг. — инженер Обь-Иртышской экспедиции.
- 1964–1990 гг. — доцент, заведующий кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии, декан геологоразведочного факультета ТПУ.
- С 1981 г. — научный руководитель проблемной гидрогеохимической лаборатории.
- В 1994 г. возглавил Томское отделение Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН, в котором работает с 1991 г.
- Начиная с 1997 г. — директор Томского филиала Института геологии нефти и газа СО РАН.
- В 2001 г. стал инициатором открытия в ТПУ новой кафедры водных ресурсов и гидрогеоэкологии, которой по 2013 г. успешно руководил.
- Руководитель Сибирской гидрогеохимической школы.
- Основные направления научных исследований: геохимия пресных и соленых вод и рассолов, геологическая роль воды, геохимия криогенных процессов, нефтегазовая гидрогеология, экологическая геохимия, геологическая эволюция и самоорганизация системы «вода — порода» (новое научное направление, созданное и развитое автором).
- Автор и соавтор 566 работ, в том числе 20 монографий и двух учебников.
- Член Международной ассоциации гидрогеологов и рабочей группы «Вода — порода» Международной ассоциации геохимии и космохимии, Международной академии экологической гидрологии, Международного географического союза.
- Награжден орденами «Знак Почета» и Дружбы РФ и медалями, лауреат Государственной премии СССР.
- Подготовил 50 кандидатов и 9 докторов наук.



Новый вид человека: открытие *H. naledi* подняло массу вопросов по поводу происхождения и эволюции человеческого рода. Белые участки этой копии черепа соответствуют недостающим костям.

ЭВОЛЮЦИЯ

ЧЕЛОВЕК- ЗАГАДКА

Удивительная находка древних костей привела в смятение и ученых, и средства массовой информации

Кейт Вонг



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В одной из глубоких камер подземной пещерной системы под названием Восходящая звезда в 2013 г. спелеологи обнаружили загадочное скопление костей.
- Две экспедиции ученых извлекли из этой камеры более 1,55 тыс. окаменелостей, принадлежавших по меньшей мере 15 различным особям.
- В сентябре 2015 г. ученые с большой помпой обнародовали свое открытие, заявив, что кости принадлежали неизвестному виду древнего человека, названному *Homo naledi*, «человек-звезда», и вызывающему множество вопросов о происхождении рода *Homo*. Критики выказали озабоченность по поводу методов раскопок и анализа окаменелостей.

ОБ АВТОРЕ

Кейт Вонг (Kate Wong) — старший редактор журнала *Scientific American*.



Свободного места на полках

в только что отстроенном хранилище окаменелостей Витватерсрандского университета близ Йоханнесбурга, ЮАР, почти не осталось. Шкафы со стеклянными дверцами до краев заполнены костями древних родственников человека, найденных за последние 92 года в пещерах знаменитой области Колыбель человечества всего в 40 км к северо-западу от столицы. Хранящиеся в ЮАР останки вымерших видов людей давно считаются одной из богатейших в мире коллекций окаменелостей наших далеких предков. Но недавно благодаря находке сотен новых окаменелостей в пещерной системе под названием Восходящая звезда ее фонды удвоились. По словам палеоантрополога Ли Бергера (Lee Berger) и его сотрудников, раскопавших и изучивших эти окаменелости, они принадлежат новому виду человека и могут перевернуть все устоявшиеся представления о происхождении и эволюции нашего рода *Homo*. Ученые назвали этого человека *Homo naledi*, заимствовав слово *naledi* из южноафриканского языка сото. Это слово означает «звезда».

Облаченный в кожаный пиджак, Ли Бергер готов предстать перед камерами и поведать о своих приключениях обступившим его журналистам (включая и вашу покорную слугу), которые в конце 2015 г. собрались в хранилище ископаемых останков древних людей. Он обращает внимание своих гостей на шесть черных саквояжей, лежащих на расставленных в помещении столах. В каждом из саквояжей, выложенных внутри пенопластом, покоится умопомрачительный набор окаменелостей. Шкафы у задней стены помещения уставлены еще десятками прозрачных пластиковых контейнеров с костями *H. naledi*, снабженных надписями («фрагменты черепа», «кости таза», «лучевая кость» и т.д.). Бергер подходит к саквояжу № 2,



Вход в подземный мир: ископаемые останки *H. naledi* были найдены в одной из пещер южноафриканской области Колыбель человечества

содержащему главные сокровища из пещеры Восходящая звезда — несколько костей, определяющих видовую специфичность их обладателя, — и извлекает из него верхнюю и нижнюю челюсти. Осторожно удерживая кости одну над другой, он отработанными движениями демонстрирует нам их полное соответствие. В толпе гостей раздаётся оценивающее перешептывание, ручки строчат по бумаге, щелкают затворы фотокамер, сверкают вспышки. А Бергер тем временем уже устремляется к следующему образцу, отвечая на ходу на вопросы, позируя перед фотокамерами и поощряя гостей делать селфи со знаменитыми ископаемыми трофеями.

А каких-нибудь несколько десятилетий назад все ископаемые останки наших вымерших родственников, относящихся, как и современные люди, к подсемейству гомининов, могли поместиться в одном-единственном ящике стола. К счастью, «годы лишений» давно миновали. С тех пор свидетелем эволюционной истории человеческого рода ученые собрали больше, чем других групп животных, включая и наших ближайших из ныне живущих сородичей, человекообразных приматов. В результате теперь мы знаем, например, что история человечества простирается по меньшей мере на 7 млн лет назад и что на протяжении

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ

Камера костей



Неподалеку от Йоханнесбурга, ЮАР (справа), в подземной пещере Восходящая звезда спелеологи обнаружили ископаемые останки нового вида человека — *H. naledi*. Они находились в одной из камер пещеры под названием Диналеди, находящейся под землей на глубине 30 м. Чтобы добраться до «камеры костей», копателям приходилось взбираться на крутые склоны и протискиваться сквозь узкие проходы (внизу). Возможно, такие же трудности приходилось преодолевать и *H. naledi*: по мнению исследователей, труднодоступная камера служила им для захоронения останков умерших соплеменников. Геологи пытаются выяснить, как пещера эволюционировала с течением времени и нельзя ли пробраться в камеру иными путями.



Камера Диналеди (показана в ином ракурсе, чем на рисунке сверху)

Место раскопок

Останки гомининов и мелких животных (рассеяны по всей площади камеры)

Странные обстоятельства

Отсутствие в камере окаменелостей крупных животных — одна из причин, побудивших исследователей предположить, что скопление костей *H. naledi* образовалось здесь в результате намеренного захоронения умерших людей их сородичами, а не то, что кости были смыты в пещеру наводнениями или затащены в нее крупными хищниками. Неизвестно, однако, когда именно эти останки оказались в пещере. Нередко ученые оценивают возраст останков гомининов по сопутствующим останкам других животных, обитавших на Земле в определенные отрезки времени, или же определяют его с помощью датировки окружающей горной породы. Окаменелостей крупных животных в Восходящей звезде нет, а ее натечные агрегаты содержат много глины, что сильно затрудняет их датировку.

значительной части этого времени наши предки обитали на планете одновременно с другими представителями гомининов.

Но многое нам еще не известно. Ископаемые останки, отражающие некоторые главы человеческой истории, до сих пор не найдены, а окаменелости, связанные с другими этапами развития человечества, настолько скудны, что сделанные на их основании выводы мало чем отличаются от спекуляций. И хотя сегодня ископаемых останков древних людей известно неизмеримо больше, чем прежде, эта коллекция настолько несовершенна, что порой новые открытия в корне меняют представления ученых о прошлом человечества.

Последними ископаемыми находками, потрясшими палеоантропологический истеблишмент, были окаменелости, найденные в пещере

Восходящая звезда. По мнению Бергера и его коллег, останки *H. naledi* вполне могут пролить свет на происхождение рода *Homo* и «подправить» крону фамильного древа людей. Более того, ученые считают, что это существо, чей головной мозг был размером с орангутаний, обнаруживало такие ритуальные формы поведения, которые прежде приписывались лишь гораздо более «мозговитым» представителям гомининов. Данный факт вполне может опровергнуть расхожее представление о неразрывной связи между когнитивными способностями и размерами головного мозга.

Некоторые критики сразу же отмахнулись от подобных заявлений. Другие ученые встретили их с несвойственным им лаконизмом. Для многих палеоантропологов камнем преткновения стал неопределенный возраст костей: с равной

SOURCE: "GEOLOGICAL AND TAPHONOMIC CONTEXT FOR THE NEW HUMAN SPECIES *HOMO NALEDI* FROM THE DINALEDI CHAMBER, SOUTH AFRICA," BY PAUL H. GUNN, DIRKSKET AL., IN *PLATEAU*, ARTICLE NO. 09596, PUBLISHED ONLINE SEPTEMBER 16, 2015. Illustration by Jose Miguel Mayo



вероятностью им может быть и более 4 млн лет, и менее 100 тыс. лет. Но критиков одолевают сомнения не только из-за отсутствия точной датировки ископаемого материала. Некоторые видные палеоантропологи выражают беспокойство по поводу способов извлечения окаменелостей из земли, их анализа и презентации научному миру и обвиняют Бергера и его коллег в том, что они действовали слишком поспешно, поставив «паблисити» впереди науки. В области знаний, славящейся жесткой научной конкуренцией, бурные споры по поводу новых находок — скорее норма, чем исключение. Но дебаты, развернувшиеся вокруг костей из Восходящей звезды, затрагивают не просто личности и стиль работы нескольких ученых. От того, как на это открытие отреагирует научное сообщество, зависит дальнейшее направление поисков прародителей человека, а возможно, и характер вопросов, которыми при этом задаются ученые.

Комната тайн

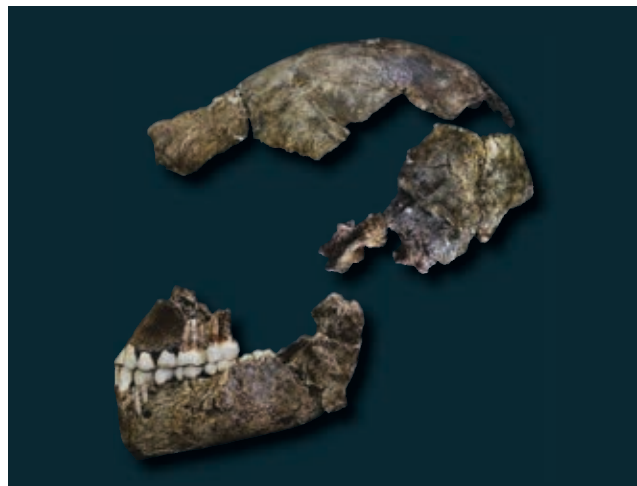
В известном смысле спектакль, разыгравшийся в хранилище перед моими глазами, был инициирован несколькими зернистыми фотографиями, увиденными Бергером 1 октября 2013 г. Их показал ученому геолог Педро Босхофф (Pedro Boshoff), которого Бергер подрядил еще раз поискать в Колыбели человечества останки гомининов. За долгие годы шахтеры и охотники за ископаемыми костями прочесывали этот регион множество раз. Но у Бергера была веская причина полагать, что здесь можно найти и еще кое-что: пятью годами ранее девятилетний сын ученого прямо посередине Колыбели наткнулся на кости прежде неизвестного представителя человеческого семейства — австралопитека седиба (*Australopithecus sediba*).

И вот теперь Босхофф и местные спелеологи Рик Хантер (Rick Hunter) и Стивен Такер (Steven Tucker) вновь обнаружили нечто, напоминавшее человеческие кости. Они лежали на дне крайне труднодоступной камеры на глубине 30 м от поверхности

земли в пещерной системе Восходящая звезда всего в нескольких километрах от того места, где Бергер с сыном нашли останки *A. sediba*. Исследователи не взяли с собой ни одной кости, но они тщательно сфотографировали их. Едва увидев останки, Бергер понял их огромную значимость. По всем анатомическим признакам они сильно отличались от костей современных людей — *Homo sapiens*. И костей было много, вполне достаточно, чтобы составить скелет.

Бергер тут же начал строить планы об извлечении останков из пещеры. Но возникла одна проблема. Достать их сам Бергер не собирался: путь от входа в пещеру до камеры с костями избивался лазами, слишком узкими для широкого костяка самого Бергера и большинства его ученых коллег. Расширение проходов могло бы нарушить целостность пещеры, а возможно, привело бы и к повреждению костей. Поэтому он бросил клич в *Facebook* и призвал на помощь ученых с навыками спелеологов и опытом раскопок древностей, которые могли бы в кратчайшие сроки прибыть в Йоханнесбург. Взамен Бергер пообещал кандидатам билет на самолет, небольшое денежное вознаграждение и массу приключений.

Через пять недель после того, как Бергер увидел роковые фотографии, была сформирована команда копателей (по случайности состоявшая из одних женщин), которые должны были выполнять тяжелую и опасную работу по извлечению костей из камеры. Кроме того, Бергер разработал подробный протокол сбора ископаемого материала и тщательного документирования места находки каждого фрагмента костей, а также создал группу маститых ученых для наблюдения за раскопками с помощью системы видеослежения, идентификации собранных образцов, их регистрации и хранения. Ко всему прочему Бергер продумал и обстоятельный план рекламирования своей «кампании» с участием представителей журнала *National Geographic* и создателей научно-популярного телесериала *NOVA*, предполагавший широкое использование твитов в режиме реального времени, ежедневных



блог-отчетов, радиоинтервью, видеоклипов с места событий, а после завершения работ — и создание документального телефильма. Наконец 10 ноября, корчась и извиваясь под зорким оком видеокамер, копатели начали ползком пробираться в беспросветный мрак таинственной камеры. Работы начались.

Первым ученым, ступившим в каменные покои, стала Марина Эллиот (Marina Elliott). «Я сама не знала, чего ждать, но сильно волновалась», — вспоминает она, когда мы вместе направляемся к пещере Восходящая звезда. В самом разгаре жаркий день южноафриканского лета, у входа в пещеру ветер доносит до нас шум проносающихся где-то неподалеку машин. А внутри пещеры царят сумрак, прохлада и многовековая тишина.

Эллиот зажигает фонарик и освещает им один из убегающих вдаль коридоров, чьи стены напоминают кружевные занавеси из известняка. Дальше находится первый из тесных лазов на пути к «камере костей», поясняет она, который окрестили Лазом супермена: чтобы преодолеть этот туннель, женщинам пришлось ползти на животе, вытянув одну руку вперед. Но после этого путь к заветной цели не стал легче. Впереди маячит Спина дракона, а за ней находится 12-метровый вертикальный лаз шириной менее 20 см, который и открывается в камеру с ископаемыми костями.

Усилия бесстрашных женщин, однако, были вознаграждены сторицей. Кости в камере валялись повсюду, и их хватило бы далеко не на один скелет, о чем мечтал Бергер. За 21 день работы Эллиот и ее коллеги собрали около 1,2 тыс. образцов костей. Во время второй, более короткой экспедиции в марте 2014 г. было добыто еще несколько сотен образцов. В общей сложности ученые собрали более 1,55 тыс. костей и костных фрагментов,

С головы до пят: огромное скопление ископаемых останков в Восходящей звезде включает редко встречающиеся кости стопы и многочисленные кости верхней части ноги (слева). Отличная сохранность костей иногда позволяет определить их принадлежность определенной особи (как, например, в случае показанных вверху нижней челюсти и фрагментов черепа).

принадлежавших по меньшей мере 15 особям, включая маленьких детей, подростков, молодых взрослых людей и стариков, — и все это с площади размером с карточный стол. Таким образом, было обнаружено одно из самых крупных скоплений костей гомининов за всю историю палеоантропологии. А ведь копатели только поскребли самую поверхность дна камеры. Не исключено, что здесь покоятся еще тысячи костей.

Рождение звезды

Забив окаменелостями древних гомининов несколько несгораемых шкафов, Бергер и его сотрудники оказались перед лицом пугающей перспективы их изучения и оценки. Еще до того как исследователи формально приступили к работе и занимались извлечением останков древних людей из-под земли, они ощутили, что их окружает какая-то тайна. Во-первых, найденные кости, казалось, причудливым образом сочетают в себе примитивные и современные черты строения. Во-вторых, кроме костей гомининов и останков нескольких маленьких птиц и грызунов в пещере не было найдено окаменелостей никаких других существ. Но скоплениям ископаемых останков гомининов — особенно в тех случаях, когда их обнаруживают в подземных пещерах, — почти всегда сопутствуют кости обезьян, антилоп, гиен и прочих крупных животных. Отсутствие таких окаменелостей в пещере Восходящая звезда требовало объяснений.

Для описания собранного материала Бергер собрал группу из 35 молодых ученых, работавших в мае 2014 г. в Йоханнесбурге. Большинство из них получили редкую возможность соприкоснуться с новым ископаемым материалом, а не изучать окаменелости, уже описанные другими, более маститыми учеными. Они работали группами,

Ископаемое ассорти

В результате раскопок в Восходящей звезде было добыто более 1,55 тыс. окаменелостей *H. naledi*, принадлежавших по меньшей мере 15 различным особям разного возраста (от младенцев до стариков). В полученном ископаемом материале представлены почти все кости человеческого скелета, многие из них — в нескольких экземплярах. По этим останкам ученым удалось реконструировать существо с поразительным сочетанием признаков, встречающихся у примитивных австралопитеков и различных видов рода *Homo*, а также некоторых характеристик, не известных у каких-либо представителей группы гомининов. Примеры таких характеристик представлены на диаграмме внизу.

Суставная впадина, в которую входит головка плечевой кости, обращена не в сторону, как у человека, а вверх, как у человекообразных приматов и австралопитеков, — приспособление для лазанья по деревьям.

Бедренная кость имеет маленькую головку и длинную шейку (у *Homo* для этой кости характерны крупная головка и короткая шейка). По-видимому, у *H. naledi* тазобедренный сустав работал, как у австралопитека.

H. naledi Австралопитек *Homo sapiens*



Стопа очень похожа на стопу современного человека (за исключением слегка искривленного большого пальца и более низкого свода) и хорошо приспособлена к прямохождению. Но сочетание «современной» стопы с примитивным тазобедренным суставом означает, что *H. naledi* ходил все-таки иначе, чем *Homo sapiens*.



Homo sapiens

H. naledi



H. naledi

Homo sapiens

Австралопитек

Череп *H. naledi* вмещал головной мозг объемом не более 450 см³. Такие размеры мозга типичны для австралопитеков, но они значительно меньше, чем у *Homo sapiens* и большинства других видов *Homo*.

Зубы в передней части рта мельче, чем в задней, — признак примитивности зубного аппарата. Но в целом зубы мелкие, а моляры имеют немногочисленные бугорки — оба эти признака характерны для поздних видов *Homo*.

Первая пястная кость



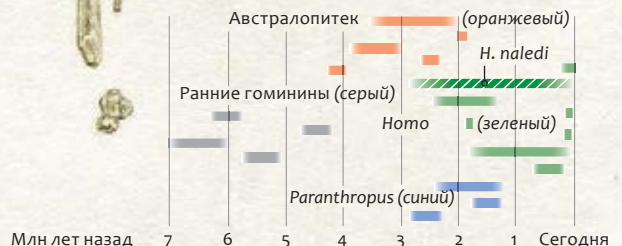
H. naledi

Homo sapiens

Кисть с сильно изогнутыми пальцами свидетельствует о том, что *H. naledi* лазал по деревьям. Но по общему строению кисть выглядит вполне современно и, похоже, была хорошо приспособлена к манипулированию предметами. Первая пястная кость *H. naledi*, расположенная под самой нижней фалангой большого пальца, совершенно уникальна — она не похожа на соответствующую кость ни других видов *Homo*, ни австралопитека.

Новая ветвь нашего дерева

По мнению первооткрывателей *H. naledi*, уникальное сочетание признаков этого существа свидетельствует о том, что оно возникло на самых ранних этапах человеческой эволюции. Но некоторые анатомические характеристики *H. naledi* не встречаются у ранних видов *Homo*, что затрудняет понимание родственных связей между этими вымершими гомининами и современными людьми.



каждая из которых исследовала определенные части тела — череп, кисти, зубы, позвоночник, таз, верхнюю часть ноги, стопу и т. д.

Когда ученые обобщили полученные данные, их взорам предстало удивительное существо — высокий, стройный человек с крошечным головным мозгом, чьи верхние конечности были явно предназначены как для лазанья по деревьям, так и для манипулирования инструментами, а нижние — для вертикальной ходьбы. «Поистине необычное создание», — говорит о нем Бергер.

В одну из декабрьских пятниц ведущий научный сотрудник команды, Джон Хокс (John Hawks) из Висконсинского университета в Мадисоне, вновь отводит меня в хранилище, где разъясняет основные особенности найденных древних людей. В это время коллеги ученого отмечают великое открытие пивом и барбекю на свежем воздухе, но Хоксу гораздо привычнее быть среди костей. Он суетливо бегаёт по комнате, вытаскивает из шкафов коробки с окаменелостями и извлекает из них для сравнения кости других гомининов.

Чего стоит один только череп вновь открытого человека — невероятная мешанина признаков, свойственных различным видам гомининов! Он вмещал головной мозг объемом всего 450–550 см³ — не больше чем крошечный мозг примитивного австралопитека афарского (*Australopithecus afarensis*), известного по знаменитому скелету Люси возрастом 3,2 млн лет, найденному в 1974 г. в Эфиопии. Но по форме он сильнее напоминает череп эректуса, или человека прямоходящего (*Homo erectus*). А зубы нового древнего человека походят на зубы человека умелого (*Homo habilis*) — одного из самых примитивных представителей нашего рода: в задней части зубного ряда они заметно крупнее, чем в передней. Но в целом зубы мелкие, а коронки моляров (коренных зубов) несут небольшое число невысоких бугорков — признак, характерный для более поздних представителей рода *Homo*.

Смешение признаков отличает и кости конечностей и туловища. Плечевые кости и пальцы приспособлены для лазанья по деревьям, а запястья и кисти — для манипулирования каменными орудиями, т. е. деятельности, которая, как считалось прежде, стала играть важную роль в жизни гомининов только после того, как они спустились с деревьев на землю и приобрели крупный, «изобретательный» головной мозг. Строением тазобедренного сустава *H. naledi* очень похож на Люси, зато его стопа практически не отличается от нашей. До сих пор ученые допускали, что характерные для *Homo* признаки — кисть, способная изготавливать инструменты, крупный головной мозг и мелкие зубы — эволюционировали взаимосвязанно. «Седиба и наледи начисто опровергают расхожее представление, что эти человеческие признаки изменялись параллельно», — констатирует Хокс.

Небывалое сочетание примитивных и современных черт — не единственная особенность *H. naledi*. У него имеются признаки, вовсе не отмечавшиеся прежде у каких-либо представителей группы гомининов. Хокс вынимает из пенопластовой ячейки одну из костей кисти — первую пястную кость, находящуюся в ладони прямо под большим пальцем. Когда он кладет ее рядом с аналогичной костью *H. sapiens*, в глаза сразу бросается огромная разница. Тело (трубчатая часть) нашей пястной кости по всей длине широкое и толстое, а его поверхность гладкая. Напротив, пястная кость *H. naledi* в основании узкая, а у вершины широкая; вдоль ее тела тянется острый гребень, а по бокам выступают тонкие «крылья». Уникальные признаки обнаруживает также бедренная кость и некоторые другие элементы скелета.

Благодаря необычному сочетанию признаков австралопитека и человека, а также наличию уникальных черт Бергер и его сотрудники с легкой совестью приписали ископаемые останки из пещеры Восходящая звезда новому виду гомининов. Хотя точный возраст этих окаменелостей ученым еще предстоит определить, в статье, посвященной находке и опубликованной в последнем сентябрьском номере сетевого журнала *eLife*, они предположили, что, учитывая примитивные признаки его строения по сравнению с такими ранними видами *Homo*, как *H. habilis* и *H. erectus*, возраст *H. naledi* превышает 2 млн лет и что его ветвь «проросла» у самого основания рода *Homo*. А если так, то открытие *H. naledi* можно рассматривать как выдающееся научное событие: ведь происхождение *Homo* и по сей день считается одной из величайших нераскрытых тайн всей человеческой эволюции, поскольку окаменелости переходных форм между обезьяноподобными австралопитеками и представителями *Homo* с их современным планом строения чрезвычайно редки и фрагментарны. Ученые с незапамятных времен стремятся выяснить, какой из видов гомининов дал начало ветви *Homo* и каким образом эволюционировали признаки современного строения человеческого тела.

Между тем команда Бергера без усталости твердит, что их находка имеет непосредственное отношение к истокам рода *Homo*. Они утверждают, что неожиданная смесь признаков у *H. naledi* означает, что отдельные фрагменты скелетов нельзя использовать для понимания эволюционных взаимоотношений ископаемых людей, потому что части не способны предсказывать целое, — прямой упрек в адрес исследователей, пытавшихся проследить раннюю родословную *Homo* по разрозненным костям.

Пожалуй, еще более провокационный характер имеют измышления команды Бергера о поведении «звездного человека». Пытаясь объяснить, каким образом эти гоминины очутились в пещере, ученые рассмотрели ряд причин, которые приводили

к скоплению останков древних людей в других местах, например возможность того, что кости были смыты в пещеру во время наводнения или что древних людей затаскивали сюда для кормежки крупные кровоядные хищники. Но имеющиеся данные не соответствуют ни одному из этих объяснений. Так, например, потоки воды наверняка смыли бы в пещеру и останки других животных. А хищники наверняка оставили бы на костях отметины своих зубов. Взвесив все обстоятельства, команда Бергера заключила, что *H. naledi* скорее всего хоронила в пещере тела своих умерших соплеменников.

Но для этого древним гоминоинам приходилось бы преодолевать невероятные трудности. Хотя геологи команды еще не выяснили, как образовалась пещера Восходящая звезда и как она изменялась со временем, в «камеру костей» пока обнаружен только один вход — тот самый, через который должны были протискиваться «копатели» для сбора костей. Если камера действительно имеет только один вход, то древним людям, чтобы добраться до него, приходилось сначала затаскивать тела умерших на 20-метровую Спину дракона, а затем либо ползком спускаться с тяжелыми ношами по узкому лазу, либо попросту сбрасывать их с высоты и наблюдать, как они сами собой скользят в камеру. А если путь в камеру всегда оставался в крошечной тьме — как, по мнению самих исследователей, и обстояло дело в действительности, — то для такого путешествия гоминоинам обязательно нужен был искусственный источник света. В этой связи ученые предположили, что первобытные существа с крошечным мозгом даже умели пользоваться огнем.

Сидя в своем кабинете в глубоком кожаном кресле с чашкой кофе в руке, Бергер пускается в рассуждения по поводу места *H. naledi* в человеческой эволюции. Хотя уже 7:30 утра, шторы в помещении задернуты и горит электрический свет. Кабинет, где из антикварного проигрывателя доносится тихое джазовое щебетание, а пол застлан звериными шкурами, больше похож на охотничий домик, чем на рабочее место ученого. «Каким бы ни был возраст найденных останков, они рушат все наши представления», — ликует Бергер. Если они древние, значит ключевые физические и поведенческие характеристики возникли в самом начале родословной человека или даже еще раньше, а не у более поздних представителей *Ното*. А если эти окаменелости молодые, ученым придется пересмотреть все свои представления о том, какие виды стоят за культурными артефактами главных археологических памятников Африки.

Не исключено, что *H. naledi* возник миллионы лет назад и, подобно знаменитой рыбе латимерии, почти не изменяясь с течением времени, какое-то время существовал на планете одновременно с другими видами *Ното*, включая и *H. sapiens*. Возможно, именно он создал некоторые культурные



Хваткие руки: скелет кисти *H. naledi* — самый полный из всех известных вымерших видов человека

традиции, возникновение которых археологи традиционно связывают с человеком разумным, говорит Бергер. А может быть, *H. naledi* даже скрещивался с нашими предками и привнес свою ДНК в генетический пул современных людей, так же как неандерталец и денисовский человек.

Острые стрелы критики

Когда в сентябре 2015 г. команда Бергера оповестила Интернет о своем открытии «человека-звезды», мир словно сошел с ума. О находке, казалось, сочли своим долгом сообщить человечеству все СМИ. Но под приливной волной этого публичного энтузиазма тихим течением бурлит недовольство некоторых представителей мировой палеоантропологической элиты. Никто не отрицает важность открытия, но подход команды Бергера к извлечению, описанию и интерпретации найденных костей порой вызывает недоумение.

В академических кругах Бергер — отнюдь не чужак. Телегеничный и красноречивый, он в самом начале своей карьеры стал тесно сотрудничать с журналом *National Geographic*. Партнерство обернулось щедрым финансированием его научных исследований, многочисленными статьями его авторства и частыми выступлениями на телевидении. Но ископаемых находок он сделал мало, а его научные труды и научно-популярные сочинения подвергались критике за небрежность и откровенное позерство со стороны некоторых самых уважаемых палеоантропологов, в том числе Тима Уайта (Tim White) из Калифорнийского университета в Беркли и Бернарда Вуда (Bernard Wood) из Университета Джорджа Вашингтона.

Открытие Бергером в 2008 г. *A. sediba* повысило его научный престиж. Даже самые строгие

критики были вынуждены признать, что находка, включавшая два полных скелета возрастом 1,98 млн лет, представляла собой выдающееся научное открытие. Но многие ученые не согласились с интерпретацией найденного материала. Бергер уже давно утверждал, что в поисках корней *Homo* палеоантропологи незаслуженно отдают предпочтение Восточной Африке перед южной частью континента. Казалось, что открытие *A. sediba*, сочетающего в себе признаки австралопитека и человека, прямо указывает на Южную Африку как на место вероятного происхождения *Homo*. Проблема, однако, заключалась в том, что самые древние окаменелости, приписываемые *Homo*, представляли собой восточноафриканские образцы, более древние, чем *A. sediba*. Бергер возражал, что ископаемые фрагменты, подобные найденным в Восточной Африке и считающиеся древнейшими останками *Homo*, больше не могут приписываться тому или иному таксону, потому что найденные им скелеты с фантастическим сочетанием признаков однозначно показывают, что нельзя судить о целом по отдельным частям. Большинство коллег Бергера с таким заявлением, однако, не согласились.

Теперь, имея в распоряжении *H. naledi*, Бергер удвоил усилия по популяризации и своего открытия, и противоречивых идей о происхождении *Homo* и значении фрагментарных окаменелостей для науки. Палеоантропологи тут же обрушили на Бергера лавину критики. В статье, опубликованной в калифорнийском университетском журнале, Уайт заявил, что ископаемые останки из Восходящей звезды сильно напоминают примитивного человека прямоходящего, а не новый вид *Homo*. Кроме того, он обвинил команду Бергера в повреждении окаменелостей во время раскопок и слишком поспешной публикации своих выводов. Позднее, в разгромном посте в блоге для газеты *Guardian*, Уайт выразил озабоченность по поводу превращения науки в публичное зрелище. «Мы становимся свидетелями того, как осколки науки складываются в индустрию развлечений», — писал он в своем сообщении.

Озабоченность высказали и другие ученые. Кэрол Уорд (Carol Ward) из Миссурийского университета отмечает, что, несмотря на потрясающее количество найденных костей, непонятной остается их значимость для науки. Особо она подчеркивает необходимость датировки костей: «Только зная, сколько им лет, мы можем делать заключения о месте их обладателя в человеческой эволюции».

Многие ученые, основываясь на существующих свидетельствах, по-прежнему считают, что род *Homo* дебютировал в Восточной Африке. В марте 2015 г., за несколько месяцев до опубликования подробностей о находке *H. naledi*, Брайан Вилмор (Brian Villmoare) из Невадского университета в Лас-Вегасе, Кэй Рид (Kate Reed) из Аризонского

государственного университета и их сотрудники объявили о находке в местечке Леди-Герару на северо-востоке Эфиопии фрагмента нижней челюсти возрастом 2,8 млн лет, которая, по мнению ученых, представляет собой древнейшую из всех известных окаменелостей человека. Этой челюсти присущи как явные признаки *Homo*, так и переходные признаки между австралопитеком и *Homo*. По словам Рид, без точной датировки ископаемые кости *H. naledi* не могут лишиться челюсть из Леди-Герару титула старейшей окаменелости человеческой родословной. Кроме того, эта исследовательница не согласна с точкой зрения Бергера, Хокса и ряда других их коллег, что отдельные анатомические фрагменты не позволяют относить их обладателей к той или иной таксономической группе. «Ничего не знаю: у меня есть кость с надежной датировкой в 2,8 млн лет и признаками *Homo*», — настаивает Рид.

Причина разногласий палеоантропологов по поводу того, какие окаменелости следует приписывать родоначальникам рода *Homo*, отчасти связана с отсутствием единого мнения о том, что вообще представляет собой *Homo*. Дискуссии вокруг *H. naledi* «отражают суть непрекращающихся дебатов о том, как нужно определять *Homo* — в отношении как имеющихся у нас фрагментов его костей, так и более полных частей скелета», — комментирует ситуацию эксперт по ранним предшественникам человеческого рода Сюзан Энтон (Susan Antón) из Нью-Йоркского университета. Разграничение австралопитека и *Homo* — «дело благодарное, ведь у разных ученых свои соображения, как нужно проводить подобное разграничение». Сама Энтон и ее сотрудники делают это на основании строения черепа, нижней челюсти и зубов. По мнению других исследователей, главное, что нужно учитывать при этом, — скелет туловища, ибо именно он отражает основные адаптивные изменения, которые претерпели гоминины, перебравшись жить из леса на открытую местность. Но кости туловища ранних видов *Homo* почти неизвестны. Окаменелости из Восходящей звезды — «настоящее сокровище, от которого захватывает дух», — замечает Энтон. Но мозаика признаков сбивает с толку, а команда Бергера так внятно и не объясняет, как она определяет *Homo* и почему. «По этому поводу нам предстоит долгие разговоры», — добавляет исследовательница.

Но даже в том случае, если останки из Восходящей звезды принадлежат новому виду *Homo* и если окажется, что им действительно более 2 млн лет, сами по себе эти факты еще недостаточны, чтобы подтолкнуть скептиков к признанию *H. naledi* родоначальником или одним из родоначальников человеческого рода. Например, Бернард Вуд из Университета Джорджа Вашингтона подозревает, что данные кости представляют собой останки реликтовой популяции, которая обрела свои причудли-

вые признаки, эволюционируя в относительной изоляции. «Южная Африка — своего рода тупик на дне африканского континента, — говорит ученый. — Я предполагаю, что обмен генами в этом тупике был не столь интенсивным, как в Восточной Африке, располагающей гораздо большими возможностями для гомогенизации благодаря притоку генов из Южной и Центральной Африки». В качестве другого примера такой реликтовой популяции Вуд вспоминает еще одного причудливого представителя рода *Homo* — маленького, обладавшего крошечным мозгом человека флоресского, продолжавшего жить на индонезийском острове Флорес долгое время после того, как в Африке появился *H. sapiens*.

В штывки было встречено и предположение, что обладавшие крошечным мозгом наледи хоронили своих умерших соплеменников. «Довольно смелое утверждение», — говорит археолог Элисон Брукс (Alison Brooks) из Университета Джорджа Вашингтона. Принято считать, что погребальная практика присуща исключительно гомининам с гораздо более крупным мозгом, т.е. современным людям и, возможно, неандертальцам, и стала обычным явлением не ранее 100 тыс. лет назад. «Быть может, исследователи Восходящей звезды и правы, — добавляет Брукс, — но мне их заявление кажется настолько экстравагантным, что, по-моему, действительно нуждается в более серьезных доказательствах».

Если *H. naledi* действительно перенесли своих умерших соплеменников в камеру, такое поведение совсем не обязательно должно отражать выдающиеся когнитивные способности. Трэвис Пикеринг (Travis Pickering) из Висконсинского университета в Мадисоне, последние 20 лет работающий в Колыбели человечества, вполне согласен с тем, что захоронение гомининами останков умерших сородичей — самое разумное объяснение того, каким образом кости попали в труднодоступную камеру пещеры. «Но означает ли это, что *H. naledi* был довольно продвинутым в культурном отношении видом с хорошо развитой погребальной практикой или же просто представлял собой атавистический вид, у которого хватало ума не жить бок о бок с разлагающимися трупами? На этот вопрос ответа пока нет», — заключает ученый.

Кто есть кто?

Бергер дает отпор своим недоброжелателям, отмечая, что все они комментируют его открытие исключительно в популярной прессе или социальных сетях, а не в научных журналах. «Все их доводы и выеденного яйца не стоят», — говорит ученый. Мужественно отстаивая тщательность, с которой его команда проводила раскопки и извлекала окаменелости из пещеры, в одном из постов на Facebook он поясняет, что, когда члены его команды впервые появились в пещере, кости уже имели следы

повреждений. Бергер предполагает, что в этом повинны какие-то неизвестные любители-спелеологи, побывавшие в камере до его команды и наступавшие на кости. «Наши копатели работали очень быстро, — добавляет он, — потому что у нас не было массы проблем, с которыми сталкиваются во время раскопок другие исследователи». В других местах ископаемые останки обычно заключены в горную породу. Извлечение и очистка таких окаменелостей — чрезвычайно трудоемкий и длительный процесс. Но в Восходящей звезде кости просто лежали в сырой земле, так что их очистка не составляла никакого труда. И в отличие от других команд, обычно небольших и проводящих раскопки в отдаленных местах от шести до восьми недель в году, команда Бергера была многочисленной и базировалась в Йоханнесбурге, так что могла работать в пещере или хранилище постоянно. «Если работу команды в Восходящей звезде от момента открытия костей до первой публикации выразить в человеко-часах, — настаивает Бергер, — то по объему она окажется ничуть не меньше, чем работа любой другой группы палеоантропологов».

Что же касается предположения Уайта, что найденные окаменелости принадлежат не *H. naledi*, а примитивному *H. erectus*, то он «не согласен здесь ни с чем, кроме самих названий этих людей», отшучивается Бергер. Приписывание останков наледи эректусу означало бы, что последний вид обладал большей анатомической изменчивостью, чем современный человек, а такое, по мнению исследователя, попросту невозможно. Более того, «звездный человек» обладает уникальными признаками, не встречающимися ни одного другого представителя гомининов. «Если мы хотим оставаться биологами-эволюционистами, споры на этом должны закончиться, — заявляет Бергер. — Честно говоря, мне странно слышать, как люди спорят о том, представляет собой наледи всего-навсего новый вид или целый род гомининов».

Когда Бергера спрашивают о датировке костей из Восходящей звезды, он отвечает, что геологи работают над этим вопросом и в конце концов придут к какому-нибудь выводу. Ученый, однако, вновь и вновь повторяет, что датировка не изменит его представлений о родственных связях *H. naledi* с другими представителями человеческого рода. Хотя *H. naledi* обладает некоторыми ключевыми признаками *Homo*, в общем он более примитивен, чем *H. habilis* и, если уж на то пошло, чем даже знаменитая челюсть из Леди-Герару, считающаяся сегодня самой древней окаменелостью *Homo*. Каким бы ни оказался возраст ископаемых останков из Восходящей звезды, родословное древо гомининов пустило ветвь *H. naledi* прежде, чем другие ветви. Если же возраст останков окажется небольшим, значит они принадлежали какой-то поздней популяции этого вида.

Почему же тогда в статье, анонсирующей находку окаменелостей нового вида человека, члены команды Бергера не упоминают филогению? Для описания родственных связей между организмами эволюционные биологи используют метод, называемый кладистикой, который сортирует таксоны по группам на основании новых характеристик, разделяемых ими со своими последними, но не более ранними общими предками. Загвоздка в том, что данный метод лучше всего работает в том случае, когда эти характеристики можно наблюдать у всех рассматриваемых организмов.

Когда речь идет об ископаемых останках, удовлетворить это требование проще на словах, чем на деле, поскольку окаменелости сильно различаются сохранившимися у них признаками. Палеоантропологи обычно проводят кладистический анализ на основании характеристик черепов и зубов; черепов — потому что у гомининов они сильно варьируют по форме, благодаря чему традиционно считаются особенно полезными для видовой идентификации, а зубов — потому что из всех окаменелостей гомининов ученым чаще всего попадают именно они. Остальные кости скелета встречаются вместе с черепами и зубами далеко не всегда, а потому приписать их виду, идентифицированному по останкам черепа или зубов, довольно затруднительно. Кроме того, элемент скелета, известный для одного вида, среди останков другого вида нередко отсутствует.

Действительно, некоторые из ключевых скелетных элементов *H. naledi* — в том числе почти полные наборы костей кисти и стопы — среди окаменелостей других видов *Homo* (таких как *H. erectus* и *H. habilis*) представлены лишь частично, а то и вовсе отсутствуют. Не имея соответствующих частей скелета для сравнения, ученые не могли провести кладистический анализ *H. naledi*, который учитывал бы многочисленные интересные особенности строения его туловища, а потому были вынуждены ограничиться анализом, основанным на характеристиках черепа и зубов. Некоторые из результатов тестов казались бессмысленными: они свидетельствовали о том, что, несмотря на множество примитивных черт, *H. naledi* находится в более близком родстве с *H. sapiens*, чем с гораздо более древним *H. erectus*. По мнению Бергера, такой факт подтверждает его мысль, что семейные древа, основанные на характеристиках только одной анатомической области (например, головы или зубов), не заслуживают доверия.

Бергер по-прежнему уверен, что *H. naledi* так или иначе изменит современные представления об эволюции человека. Но он не просит своих коллег верить ему на слово. Отказавшись от традиционной практики палеоантропологов окутывать вновь найденные окаменелости туманом таинственности, в отношении ископаемых останков

из Восходящей звезды он сразу же стал проводить политику полной открытости, предоставляя к ним доступ всем желающим ознакомиться с ними исследователям. В тот же день, когда сотрудники Бергера опубликовали сообщение о своем открытии, на сайте *MorphoSource*, цифровом репозитории анатомических данных, они бесплатно выложили трехмерные сканы самых интересных из найденных костей, тем самым предоставляя посетителям сайта возможность распечатывать 3D-копии образцов. «Как замечательно, что ознакомиться с этими останками теперь может любой человек, — отмечает Дэвид Стрейт (David Strait) из Вашингтонского университета в Сент-Луисе. — А все жалобы и сетования — просто вонь!». Он вспоминает, как в 2000 г. Уайт в пространной редакционной статье заверял, что с учетом огромного интереса широкой публики к вопросам происхождения человека палеоантропологи просто обязаны делать все правильно и как следует. «Но ведь это неверно! — сокрушается Стрейт. — Конечно, мы должны стараться все делать как следует, но наука вынуждена оперировать фальсифицированными возможностями. Мы сужаем вероятные истины, чтобы получить более точное представление о том, что происходило в прошлом, и всегда существует вариант, что появятся какие-то новые данные, которые изменят образ наших мыслей. Сделав окаменелости доступными для других исследователей, Бергер предоставил всем не согласным с ним ученым отличную возможность проверить и оценить свои идеи, сравнив их со взглядами ученого, придерживающегося иных убеждений».

А тем временем, не особо считаясь с мнением оппозиции, сотрудники Бергера продолжают активно изучать кости из Восходящей звезды. Геологи реконструируют историю пещеры, копатели продолжают извлекать из камеры все новые окаменелости, молекулярные биологи пытаются выделить из костей ДНК. А охотники за ископаемыми ведут поиск новых скоплений окаменелостей. «Благодаря находке *H. naledi* в этом регионе начнутся самые грандиозные палеоантропологические изыскания из всех, которые когда-либо здесь проводились», — заявляет Бергер с присущим ему энтузиазмом. Если это произойдет и не сейчас, то после того, как команда обнаружит новое скопление костей. Ученый явно намекает на то, что его исследователи уже добились кое-каких результатов в этом направлении. Когда я попросила поделиться подробностями, Бергер с застенчивым видом, но с хитрой улыбкой пробормотал, что уже найдено несколько новых мест, вызывающих у него такое же бешеное сердцебиение, как и те первые зернистые фотографии Восходящей звезды. Судя по всему, шоу будет продолжаться. ■

Перевод: В.В. Свечников



КОСМОЛОГИЯ

Ребус ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ

Почему расширение нашей Вселенной происходит ускоренно? После двух десятилетий исследований ответ на этот вопрос все еще не получен

Марио Ливио и Адам Рисс

В

селенная каждую секунду становится больше и больше. Галактики разлетаются друг от друга, одни скопления удаляются от других скоплений галактик, и повсюду ширится пустое пространство. Это было

известно еще с 20-х гг. прошлого века, когда наблюдения Эдвина Хаббла и других астрономов показали, что наша Вселенная расширяется. Недавно выяснилось, что этот процесс происходит с ускорением: галактики разлетаются друг от друга все быстрее и быстрее.



Подобно тому как
нелегко в первый
раз собрать кубик
Рубика, столь же
сложно отыскать
единое описание
темной энергии —
тайны ускоренного
расширения нашей
Вселенной

ОБ АВТОРАХ

Марио Ливио (Mario Livio) — астрофизик, в течение 24 лет работает с данными космического телескопа «Хаббл». Автор научно-популярных книг, в том числе «Блестящие промахи от Дарвина до Эйнштейна: колоссальные ошибки, допущенные великими учеными, которые изменили наше понимание жизни и Вселенной» (*Brilliant Blunders: From Darwin to Einstein: Colossal Mistakes by Great Scientists That Changed Our Understanding of Life and the Universe*, 2013).



Адам Рисс (Adam G. Riess) — астрофизик Университета Джонса Хопкинса и Научного института космического телескопа. Область его исследований — далекие сверхновые, с помощью которых удалось установить, что наша Вселенная расширяется ускоренно (открытие, удостоенное Нобелевской премии по физике за 2011 г.).



Осознание поразительного факта ускоренного расширения нашей Вселенной возникло в 1998 г., в результате обработки наблюдений далеких сверхновых сотрудниками Австралийского национального университета во главе с Брайаном Шмидтом (Brian Schmidt), в число которых входил и автор настоящей статьи Адам Рисс. Это открытие было независимо осуществлено другой научной группой, возглавляемой Солом Перлмуттером (Saul Perlmutter) из Калифорнийского университета в Беркли. Ученые группы Перлмуттера использовали аналогичный метод и опубликовали результаты исследований в том же году. Вывод обеих научных групп был неизбежен: что-то вызывает расширение Вселенной с нарастающей скоростью. Но что именно? Термином «темная энергия» называют то, что порождает силы отталкивания, которые «расталкивают» Вселенную, заставляют ее расширяться.

После почти двадцатилетнего периода изучения темной энергии ее физическая природа осталась почти столь же неуловимой, как и в начале исследовательского пути. Более того, недавние наблюдения еще сильнее усложнили картину, обозначив несоответствия с общепринятыми научными гипотезами.

Над учеными довлеют несколько неразгаданных тайн. Что такое темная энергия? Почему уровень этой энергии оказывается гораздо ниже, чем это предсказывается большинством теорий, но в то же время он настолько сильный, что может быть

наблюдаем? Как отразится на будущем нашей Вселенной природа темной энергии? И, наконец, означают ли странные свойства темной энергии то, что наша Вселенная приобрела свои особенности случайным образом, что на самом деле она — всего лишь одна представительница многочисленного населения мультивмира (мультивселенной), который содержит бесконечный набор вариантов характеристик, каждый со своими параметрами и со своей темной энергией?

Попытки идентифицировать темную энергию ведутся широким фронтом. Для нескольких новых проектов обсерваторий поставлены четкие цели, и в ближайшее время ожидается существенный прогресс в понимании загадки темной энергии. Есть надежда уже в течение следующего десятилетия или понять природу космологического ускорения, или оставить на неопределенный срок некоторые загадки так и не разгаданными.

Что такое темная энергия?

Существует много научных гипотез о том, чем может быть вызвано космологическое ускорение. Лидирующие теории основываются на свойствах пустого пространства-времени. В квантовой физике вакуум — это не «ничто», а совокупность виртуальных частиц и античастиц, которые спонтанно появляются и аннигилируют друг с другом в течение ничтожных долей секунды. Как бы странно это ни звучало, море эфемерных частиц обладает энергией, а энергия, так же как и масса, порождает

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Почти 20 лет назад ученые обнаружили, что расширение нашей Вселенной ускоренное, и назвали источником этого ускорения темную энергию.
- Интенсивные исследования не прояснили природу темной энергии, но помогли сформулировать ряд дополнительных вопросов. Почему темная энергия настолько слабее, чем предсказания теорий? Что это означает для будущего развития нашей Вселенной? Может ли парадигма темной энергии привести к заключению, что мы живем в мультивмире?
- С появлением новых экспериментов ученые надеются, что в ближайшие годы можно будет получить ответы на некоторые вопросы.

ГИПОТЕЗЫ

Возможности объяснения темной энергии и варианты будущего

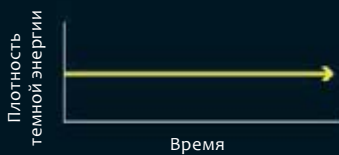
Ученые называют темной энергией то, что вызывает ускоренное расширение нашей Вселенной. Объяснения феномена темной энергии можно условно разделить на три категории. Во-первых, это может быть неизменяемая энергия пустого пространства (гипотеза космологической постоянной). Во-вторых, переменная энергия, ассоциированная с каким-то неизвестным полем, пронизывающим Вселенную (квинтэссенция). Или, наконец, темной энергии может и не быть вовсе — в этом случае гравитация на сверхбольших космологических расстояниях должна подчиняться другим законам.

Модель

Будущее

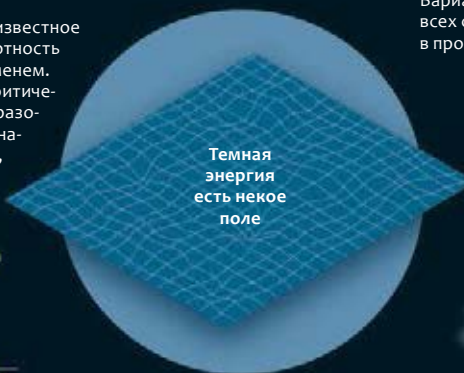
Космологическая постоянная

Если вакуум пустого пространства обладает некоей характеристической энергией, то эта энергия может заставить Вселенную расширяться. Плотность такой энергии будет постоянной во времени и будет действовать как добавленный (а потом убранный) Эйнштейном в уравнения гравитационного поля лямбда-член.



Квинтэссенция

Если темная энергия есть какое-то неизвестное поле, заполняющее Вселенную, то плотность этого поля могла бы меняться со временем. Поле может либо увеличиваться до критических значений, становясь способным разорвать все структуры в космосе, либо, наоборот, уменьшаться, приводя к тому, что Вселенная начнет сжиматься и закончит свое существование в фазе, аналогичной Большому взрыву.

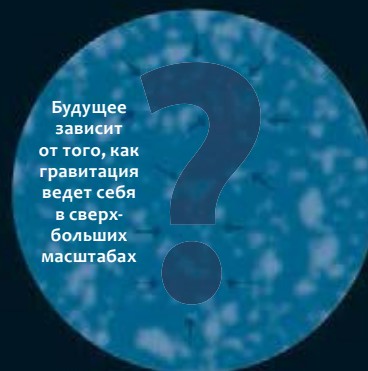
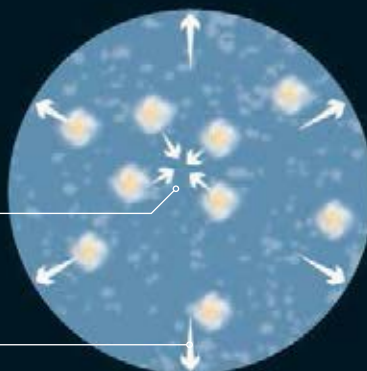


Темной энергии нет

Темной энергии может не быть вовсе. Ускоренное расширение Вселенной может служить указанием на то, что на сверхбольших космологических расстояниях законы гравитации изменяются.

В масштабах галактик и скоплений галактик гравитация ведет себя согласно общей теории относительности

В масштабах порядка размера видимой Вселенной гравитация может сильно отличаться от теории Эйнштейна, и Вселенная начинает укоряться



гравитационное поле. Однако в противоположность свойствам массы энергия может быть как отталкивающей, так и притягивающей — в зависимости от того, положительно или отрицательно ее давление. Согласно теории, энергия вакуума в пустом пространстве должна обладать отрицательным давлением, становясь таким образом источником сил отталкивания и управляя ускоренным расширением нашей Вселенной.

Эта идея во многом схожа с концепцией космологической постоянной — члена, добавленного Альбертом Эйнштейном в его уравнения общей теории относительности. Физическая характеристика космологической постоянной — постоянство по всему пространству плотности энергии. Как следует из названия этого члена, гипотеза утверждает, что плотность темной энергии постоянна и в пространстве, и во времени. До сих пор все астрофизические наблюдения наилучшим образом согласуются именно с гипотезой космологической постоянной, но с некоторыми расхождениями.

В качестве альтернативы в роли темной энергии может выступать энергетическое поле, получившее название «квинтэссенция», которое заполняет всю Вселенную и придает каждой точке пространства свойство противодействия силам тяжести. Понятие «поле» общепринято в физике. Посредством полей осуществляются электромагнитные и гравитационные взаимодействия (хотя они, как правило, обладают локальными источниками и не пронизывают все пространство).

Если темная энергия — поле, то оно может и не быть постоянным и может изменяться в зависимости от времени. В этом случае темная энергия однажды могла бы быть сильнее или слабее, чем в современной Вселенной, и поэтому в разное время могла по-разному влиять на Вселенную. Кроме того, влияние темной энергии на эволюцию Вселенной может измениться и в будущем. Например, в так называемой модели замороженного поля темная энергия меняется все медленнее и медленнее. В другой модели — оттаивания замороженного поля — поле вначале меняется медленно, а потом быстрее.

Может существовать и третья причина космологического ускорения: темной энергии нет вообще, а ускоренное расширение Вселенной объясняется физикой, лежащей вне рамок теории гравитации Эйнштейна (общей теории относительности). В таком подходе считается, что теория Эйнштейна неполна. Возможно, что для очень больших масштабов, например порядка размера скопления галактик или даже всей наблюдаемой Вселенной, законы гравитации работают иначе, чем предсказывает теория относительности, и гравитационные силы ведут себя как-то иначе. Было выдвинуто несколько интересных теоретических

предположений, обосновывающих такую гипотезу. Однако альтернативной единой самосогласованной теории, способной объяснить все наблюдения, не существует. Таким образом, темная энергия на сегодняшний момент представляется наилучшим объяснением ускоренного расширения Вселенной. Модели, объясняющие ускорение неравномерным распределением вещества во Вселенной или сетью топологических дефектов пространства-времени, в значительной степени несовместимы с наблюдательными данными.

Почему темная энергия так слаба?

Ни одно из предлагаемых объяснений феномена темной энергии до конца не удовлетворительно. Так, в модели с космологической постоянной предсказывается, что темная энергия должна обладать значительно большей энергией, чем это соответствовало бы наблюдениям. Когда делается попытка простого суммирования по всем энергиям всех возможных квантовых состояний, ассоциированных с описанным выше морем виртуальных частиц и античастиц в вакууме, то получается величина на 120 порядков больше, чем то, что наблюдается. Использование идей теории суперсимметрии, когда к каждой известной частице прилагается более тяжелый партнер (еще не обнаруженный), уменьшает несоответствие, но все равно различие между теоретически предсказываемой и наблюдаемой энергиями остается очень большим. Таким образом, если все-таки темная энергия объясняется энергией вакуума, возникает вопрос: почему же энергия вакуума настолько мала?

Объяснение темной энергии с помощью нового поля едва ли окажется лучше. Теоретики для простоты предполагают (без удовлетворительного обоснования, почему это должно быть именно так), что минимум потенциальной энергии, ассоциированной с темной энергией, очень низкий, а это должно гарантировать, что только небольшое количество темной энергии распространится по пространству. Такие модели требуют, чтобы поле обладало минимальным взаимодействием со всем остальным во Вселенной (кроме своего действия как расталкивающей силы), что объяснить довольно сложно. Данное обстоятельство создает трудности для естественного объяснения темной энергии в рамках общих моделей физики частиц.

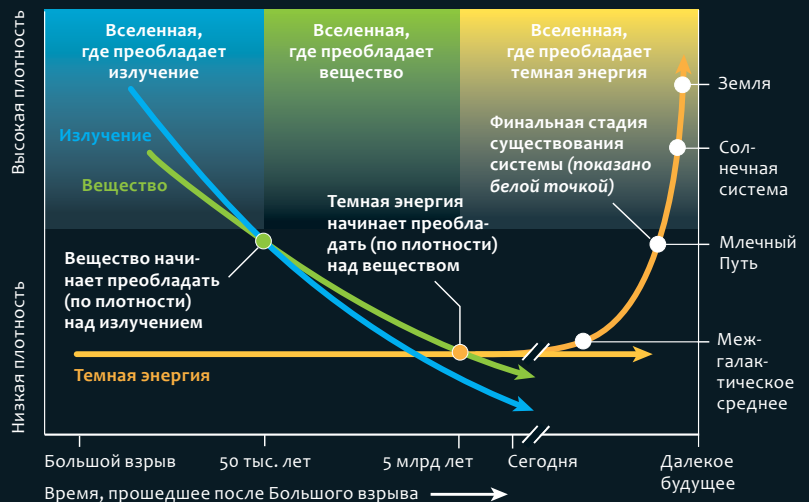
Что это все означает для будущего Вселенной?

Свойства темной энергии определяют окончательный размер Вселенной. Так, если темная энергия — это действительно энергия пустого пространства (т.е. космологическая постоянная), то ускоренное расширение будет продолжаться

ВОПРОСЫ К ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ

Космологический контроль

Поскольку темная энергия обладает плотностью, превышающей плотности всех остальных составляющих Вселенной, то она оказывает основное влияние на эволюцию Вселенной и, таким образом, контролирует ее размер. Темная энергия не всегда обладала подобной властью над пространством: наполняющие его другие ингредиенты — излучение (свет) и вещество (включая атомы и обычное вещество, а также невидимую темную материю) — доминировали, когда Вселенная была молодой и маленькой. Вещество и излучение были плотно упакованы в пространстве. С течением времени Вселенная расширяется, вещество и излучение рассредоточиваются, и темная энергия их одолевает. А однажды она может стать настолько сильно, что разорвет все структуры в пространстве.



вечно. Спустя примерно тысячу миллиардов лет от настоящего момента все окружающие нас галактики (за исключением, конечно, тех, которые входят в локальную группу, т.е. ближайших к Млечному пути и гравитационно связанных) начнут разлетаться со скоростью света. Это обстоятельство сделает все такие галактики принципиально недоступными для наблюдений. Галактики — спутники Млечного пути сольются в единую гигантскую эллиптическую галактику. Даже самое древнее излучение (послесвечение Большого взрыва, называемое микроволновым фоновым реликтовым излучением), которое заполняет почти равномерно все пространство, станет ненаблюдаемым, потому что его длины волн растянутся настолько, что станут больше размера видимой к тому моменту Вселенной. Вся бесценная информация, которую дает нам реликтовое излучение, для ученых далекого будущего окажется утерянной безвозвратно — в этом смысле мы живем в счастливые для науки времена.

Если же, с другой стороны, темная энергия — не энергия вакуума, а представляет собой энергию какого-то неизвестного поля, то будущее нашей Вселенной оказывается очень неопределенным. В зависимости от того, как эволюционирует это неизвестное поле, Вселенная может однажды прекратить расширяться и начать сжиматься, стремясь к состоянию «Большого сжатия», которое аналогично началу Большого взрыва. Еще один вариант эволюции Вселенной характеризуется термином «Большой разрыв», что означает разрушение всех сложных структур: все от скопления галактик до атомов и атомных ядер будет разрушено темной энергией. С темной энергией, которая есть неизвестное поле, также возможен сценарий непрерывного ускорения вплоть до тепловой смерти Вселенной.

В альтернативной теории гравитации — если в ней возникнет необходимость — аналогичным образом будут воссоздаваться различные сценарии при различных модификациях классической теории гравитации.

Быть может, мы живем в мультивмире?

В модели с космологической постоянной, держащей первенство достоверности среди ведущих теорий, проблема слабости темной энергии выходит на первый план. Осознавая эту проблему даже до открытия ускоренного расширения Вселенной, физик Стивен Вайнберг (Steven Weinberg) из Техасского университета в Остине предложил новую парадигму. Космологическая постоянная не должна определяться из основных законов физики единственным образом. Это случайная величина, которая принимает различные значения в разных вселенных — гигантском наборе никак не взаимодействующих между собой миров в едином мультивмире. Некоторые такие вселенные могут обладать гораздо большими космологическими постоянными, но тогда силы отталкивания в них настолько велики, что вещество не успевает связываться в галактики, планеты и, соответственно, формировать живые организмы. Поскольку мы существуем, полагал Вайнберг, то мы с необходимостью должны находиться в одной из таких вселенных, где допустимо наше существование. Именно поэтому космологическая постоянная в нашей Вселенной мала — в противном случае некому было бы вообще задаваться подобными вопросами. Эта идея, в дальнейшем развиваемая Александром Виленкиным из Университета Тафтса, Мартином Рисом (Martin Rees) из Кембриджского университета, одним из авторов этой статьи (Марио Ливио), а также многими другими учеными, получила название «антропный принцип».

Есть веские причины, помимо объяснения феномена темной энергии, почему мультимир действительно может возникнуть. Согласно общепринятой теории космологической инфляции, Вселенная очень сильно выросла в объеме в первые доли секунды после своего рождения. Александр Виленкин и Андрей Линде из Стэнфордского университета разработали модель, согласно которой космологическая инфляция, раз начавшись, не останавливается: практически невозможно остановить все новые и новые случаи инфляции, каждая из которых порождает один из раздувающихся пузырьков-вселенных. Таких «карманных вселенных» может быть бесконечно много. В отрыве друг от друга они могут обладать очень разными свойствами.

Существование мультимира может быть следствием теории струн, кандидата на место единой теории всех физических взаимодействий в природе. Вычисления, основанные на версии струнной теории, называемой *M*-теорией, авторы которой — Рафаэль Буссо (Raphael Bousso) и Джозеф

Согласно общепринятой теории космологической инфляции, Вселенная очень сильно выросла в объеме в первые доли секунды после своего рождения

Полчински (Joseph Polchinski), приводят к более чем 10^{500} различных вариантов пространства-времени. Каждый такой мир характеризуется разными фундаментальными константами и даже разными размерностями. Однако для многих ученых одно только упоминание концепции мультимира просто невыносимо. Подобная идея, трудная для восприятия, означает конец классического научного мира, по крайней мере в том виде, как мы его знаем. Дело в том, что исторически научный метод познания требует непосредственной наблюдательной или экспериментальной проверки новых выдвигаемых научных гипотез. Тем не менее концепция мультимира может дать несколько наблюдаемых предсказаний, пригодных для тестирования. Например, некоторые модели мультимира предсказывают, что геометрия пространства-времени слегка искривлена, что можно обнаружить наблюдательными методами. Другая возможность, хотя и маловероятная, заключается в том, что космический микроволновый фон может содержать следы столкновения с другой вселенной.

Находя ответы

Лучший способ раскрыть тайну темной энергии — измерить отношение ее давления (т.е. того, как много темной энергии в долях энергии всей Вселенной) к ее плотности (т.е. того, как много темной энергии в заданном объеме пространства). Это отношение называется параметром или уравнением состояния, w . Если темная энергия есть энергия вакуума (т.е. космологическая постоянная), то параметр состояния — постоянная величина, равная -1 . Если темная энергия ассоциирована с каким-нибудь полем, которое меняется со временем, то есть надежда обнаружить параметр w отличным от -1 и меняющимся в ходе космологической истории. С другой стороны, если обоснование наблюдаемого ускоренного расширения требует изменения теории гравитации Эйнштейна на сверхбольших масштабах, то можно было бы выявить несоответствие между величинами параметра w на разных пространственных масштабах.

Астрономы разработали хитроумные методы косвенных измерений плотности и давления темной энергии. Будучи силой отталкивания, темная энергия или модифицированная гравитация будут противодействовать силам гравитационного притяжения (которые действуют на все тела во Вселенной, обладающие массой, стремясь сблизить их). Противодействие заключается в препятствии формированию крупномасштабной структуры, в том числе скоплений галактик. Таким образом, изучая рост скоплений галактик с течением времени, можно выяснить, насколько сильно было влияние темной энергии в разные эпохи эволюции Вселенной. Рост скоплений можно изучать, наблюдая, как крупные сосредоточения масс отклоняют световые лучи, идущие от далеких фоновых объектов, расположенных за ними, — такой эффект называется гравитационным линзированием. Степень искривленности траекторий лучей позволяет оценивать массы скоплений галактик. Проводя наблюдения на разных расстояниях, можно измерить, насколько часто встречаются массивные скопления в различные эпохи (напомним, что в космологии взгляд вдаль означает взгляд назад во времени; чем дальше наблюдаемый объект, тем в более далеком прошлом он находится, поскольку свет от этого объекта движется с конечной скоростью).

Темную энергию можно измерять, изучая, как скорость расширения Вселенной меняется со временем. Наблюдая объекты на разных расстояниях и измеряя их красные смещения (т.е., как сильно длины волн их излучения были растянуты в результате расширения пространства), можно узнать, как долго Вселенная уже расширяется с момента излучения этих волн. Этот метод, по сути, и был тем самым, посредством которого

две научные группы независимо друг от друга обнаружили космологическое ускорение. Были измерены красные смещения нескольких сверхновых типа Ia (расстояния до этих звезд надежно определяются по их яркости). Другой вариант использования этого метода — наблюдение видимого размера флуктуаций плотности распределения галактик по пространству (так называемые барионные акустические колебания). Этот метод также служит очень надежным определением космологических расстояний. Индикаторы расстояний помогают проследить историю расширения Вселенной.

На сегодня измерения w , как правило, хорошо согласуются (конечно, в пределах ошибок наблюдений) со значением -1 в пределах 10% и, таким образом, поддерживают гипотезу объяснения космологического ускорения с помощью космологической постоянной. Недавно научная группа во главе с Риссом использовала космический телескоп «Хаббл» для исследования темной энергии на расстоянии около 10 млрд лет в прошлом, используя технику работы со сверхновыми. В результате никаких изменений во времени параметра w обнаружено не было.

Однако стоит отметить, что в последние несколько лет некоторые намеки на отклонения от предсказаний модели с космологической постоянной все еще присутствуют. Например, сопоставление измерений космического микроволнового реликтового фона (который позволяет получить характеристики полной массы и энергии Вселенной), осуществленных миссией «Планк», с измерениями гравитационно-линзовых эффектов дает значение параметра w , меньшее -1 . Наблюдения Системы телескопов панорамного обзора и быстрого реагирования (*Pan-STARRS*), использующей более 300 сверхновых для отслеживания космологического расширения, также указывают на то, что значения w уходят в отрицательную область дальше -1 . Недавние наблюдения барионных акустических осцилляций в данных по удаленным ярким галактикам, называемых квазарами, указывают на то, что плотность темной энергии возрастает со временем. Наконец, небольшие расхождения между локальными измерениями скорости расширения современного пространства, сравнимые с измерениями первичного темпа расширения по данным анизотропии реликтового излучения, также могут указывать на расхождения с моделью космологической постоянной. Эти результаты очень интригующие, но недостаточно убедительные. Больше данных в ближайшем будущем смогут либо усилить намечающиеся расхождения, либо отнести их в категорию систематических ошибок.

Начата работа по улучшению в 100 раз точности измерения свойств темной энергии. Таких

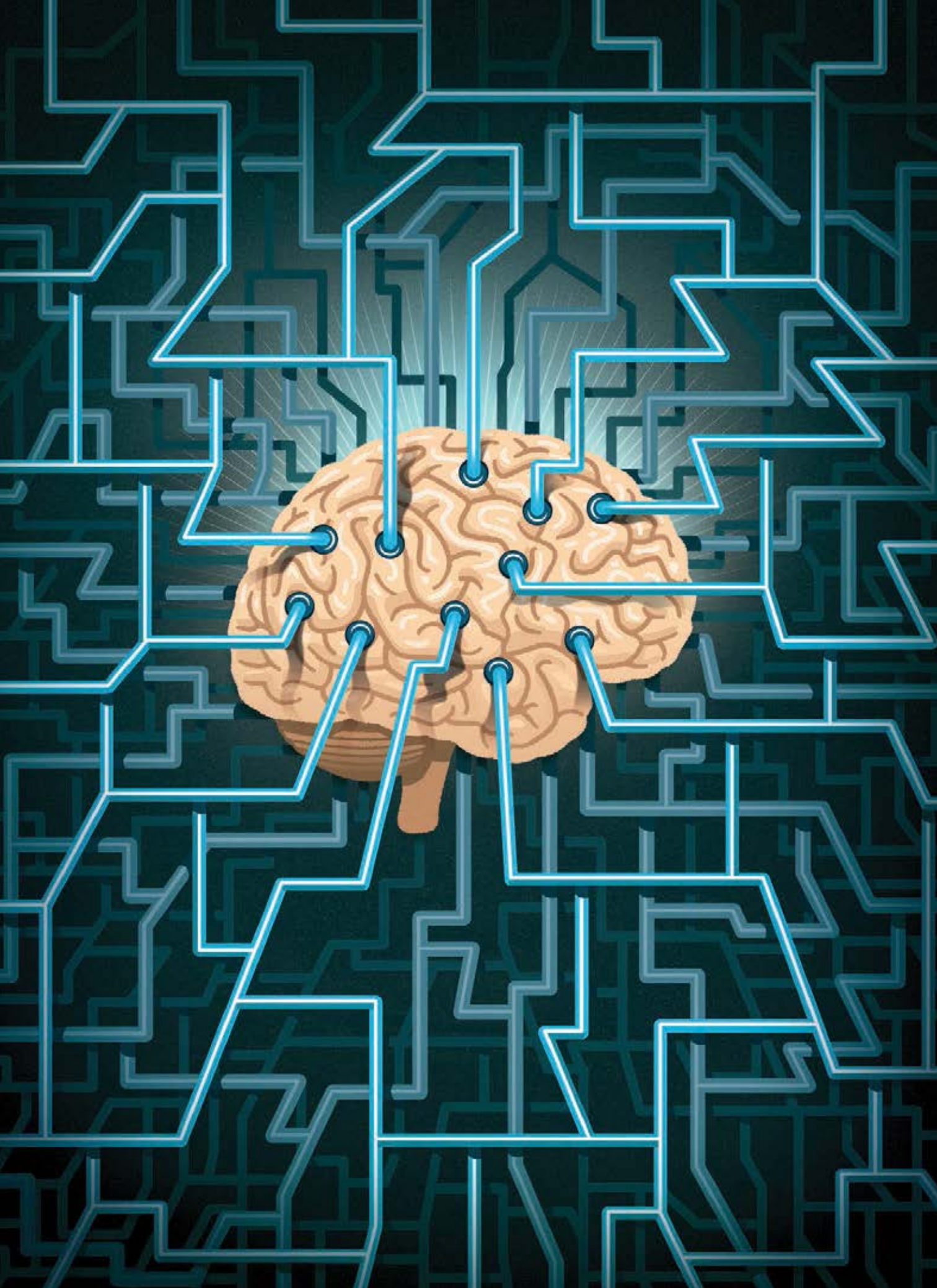
результатов планируется достичь в ближайшее десятилетие. Новый проект по наблюдению над темной энергией *Dark Energy Survey* начал работу в 2013 г. Большой обзорный телескоп (*LSST*) вступит в строй предположительно в 2021 г. Оба проекта предназначены для сбора более полной информации о крупномасштабной структуре Вселенной и для изучения истории ее расширения. Проект *NASA* Инфракрасный телескоп глубокого обзора (*WFIRST-AFTA*) представляет собой 2,4-метровый телескоп, планируемый к запуску в середине 2020-х гг. В результате его работы ожидаются наблюдения далеких сверхновых и барионных акустических осцилляций, а также событий гравитационного линзирования. Запуск аппарата «Евклид» Европейского космического агентства в настоящее время планируется в 2020 г. и также будет использоваться для исследования эффектов гравитационного линзирования, барионных акустических осцилляций и измерения расстояний до галактик по красному смещению для определения трехмерного распределения скоплений галактик.

И, наконец, можно будет протестировать теории модифицированной гравитации на основе измерений в пределах Солнечной системы. Один из методов — измерение расстояния до Луны с такой поразительно высокой точностью (путем использования отражения лазерного света зеркалами, установленными на поверхности Луны), что это позволит обнаружить малейшие отклонения от теории относительности. Кроме того, открываются возможности проводить уникальные лабораторные эксперименты, позволяющие обнаруживать мельчайшие отклонения от известных законов гравитации. Ближайшие годы — поворотный момент для исследований в области темной энергии, когда мы сможем получить ответы на ключевые вопросы об ускоренном расширении Вселенной. Тогда и определится будущее нашего мира. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Рисс А., Тернер М. От замедления к ускорению // ВМН, № 5, 2004.
- Краусс Л., Тернер М. Космическая загадка // ВМН, № 12, 2004.
- Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. Adam G. Riess et al. in *Astronomical Journal*, Vol. 116, No. 3, pages 1009–1038; September 1998.
- The Accelerating Universe. Mario Livio. Wiley, 2000.



ПРОМЫВКА МОЗГОВ

**Специальная
система выводит
из мозга ядовитые
продукты
жизнедеятельности.
Этот процесс
происходит
преимущественно
во сне**

Стивен Голдман и Майкен Недергард

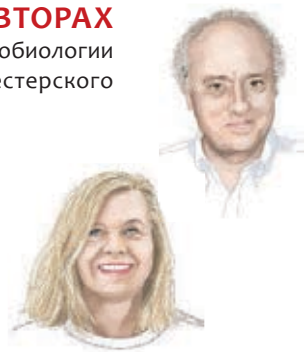
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Ежедневно некоторые белки в мозге заменяются на новые. За месяц в мозге образуется более 100 г отработанных веществ, а количество выводимых в течение года веществ сопоставимо с собственным весом мозга.
- Куда исчезают эти вещества, если в мозге нет разветвленной сети лимфатических сосудов, по которым отходы могли бы выводиться за пределы нервной системы? Недавно в мозге была обнаружена система, через которую выделяются отработанные вещества. Ее активность выше во время сна.
- Глимфатическая система получила свое название в результате скрещения слов «глия» и «лимфатическая». Предполагается, что она может играть важную роль при лечении таких неврологических заболеваний, как болезни Альцгеймера или Паркинсона, которые могут возникать, когда токсичные белки накапливаются в мозге.

ОБ АВТОРАХ

Стивен Голдман (Steven A. Goldman) — профессор нейробиологии и неврологии в Школе медицины и стоматологии Рочестерского университета и в Копенгагенском университете.

Майкен Недергард (Maiken Nedergaard) работает в Медицинском центре Рочестерского университета и в Копенгагенском университете. Она изучает астроциты — одну из разновидностей глиальных клеток мозга. Астроциты играют роль в развитии различных неврологических заболеваний.



Человеческий мозг весит около полутора килограммов, это примерно 2% от веса всего тела. Однако клетки мозга потребляют 20–25% всей получаемой организмом энергии. При этом образуется большое количество потенциально опасных вредных веществ. Ежедневно из мозга взрослого человека должны выводиться поврежденные белки, которые заменяются на новые. За месяц в мозге образуется более 100 г отработанных веществ, а в течение года их выводится около 1,5 кг, что сопоставимо с собственным весом мозга.

Для выживания мозг должен иметь возможность каким-то образом избавляться от этих отходов. Невозможно представить, чтобы в органе, выполняющем столь тонкую работу, порождающем наши мысли и действия, не было бы эффективной системы удаления отработанных веществ. Однако до недавнего времени принципы работы этой системы были неизвестны. Могут ли клетки мозга сами перерабатывать образующиеся отходы или вредные вещества должны выводиться за пределы нервной системы? И почему в процессе эволюции в мозге не сформировалось приспособления для выведения отходов в те части организма, которые лучше предназначены для переработки вредных веществ? Не стоит забывать, что у нас есть мощная система обезвреживания и переработки продуктов жизнедеятельности организма — печень.

Примерно пять лет назад мы начали исследовать, как мозг избавляется от белков и других отходов. Кроме того, нас заинтересовало, как нарушение этого процесса может вызывать когнитивные проблемы, характерные для нейродегенеративных процессов. Мы предположили, что проблемы с выведением ненужных веществ могут играть роль в развитии таких заболеваний, поскольку поврежденные белки будут накапливаться в клетках и между ними.

Известно, что белковые скопления (бляшки) действительно появляются в клетках мозга при нейродегенеративных заболеваниях, а также то, что они могут мешать передаче электрических и химических сигналов в мозге, нанося таким образом непоправимый ущерб. И действительно, патологии, наблюдаемые при болезнях Альцгеймера, Паркинсона и других возрастных нейродегенеративных заболеваниях, можно воспроизвести у животных, увеличив интенсивность появления таких белковых скоплений.

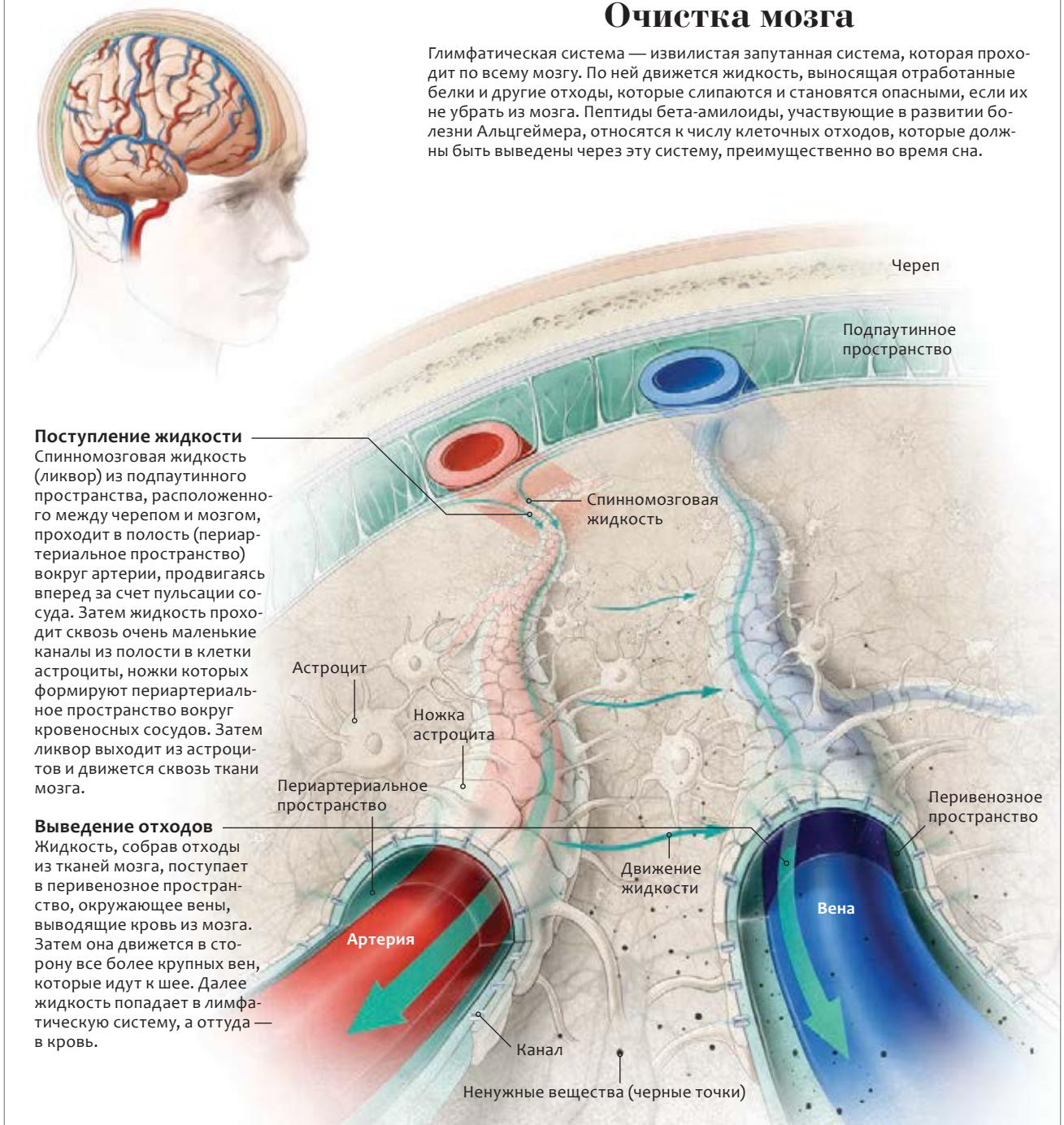
В ходе наших исследований мы обнаружили не описанную ранее систему выведения белковых и других отходов из мозга и выяснили, что наиболее активно это происходит во время сна. Необходимостью удаления из мозга потенциально опасных веществ можно объяснить, почему человек проводит во сне треть жизни. Если мы поймем, что происходит при сбое этой системы, то получим новые методы диагностики и лечения множества неврологических заболеваний.

Глимфатическая система

Обычно отработанные белки выводятся из тканей тела с помощью сложной системы лимфатических сосудов. Жидкость, выносящая ненужные вещества, проходит между клеток и собирается в небольшие каналы, которые, объединяясь, образуют

Очистка мозга

Лимфатическая система — извилистая запутанная система, которая проходит по всему мозгу. По ней движется жидкость, выносящая отработанные белки и другие отходы, которые слипаются и становятся опасными, если их не убрать из мозга. Пептиды бета-амилоиды, участвующие в развитии болезни Альцгеймера, относятся к числу клеточных отходов, которые должны быть выведены через эту систему, преимущественно во время сна.



Поступление жидкости

Спинномозговая жидкость (ликвор) из подпаутинного пространства, расположенного между черепом и мозгом, проходит в полость (периартериальное пространство) вокруг артерии, продвигаясь вперед за счет пульсации сосуда. Затем жидкость проходит сквозь очень маленькие каналы из полости в клетки астроцитов, ножки которых формируют периартериальное пространство вокруг кровеносных сосудов. Затем ликвор выходит из астроцитов и движется сквозь ткани мозга.

Выведение отходов

Жидкость, собрав отходы из тканей мозга, поступает в перивенное пространство, окружающее вены, выводящие кровь из мозга. Затем она движется в сторону все более крупных вен, которые идут к шее. Далее жидкость попадает в лимфатическую систему, а оттуда — в кровь.

более крупные и в итоге впадают в кровеносную систему. Помимо сбора отходов эта система каналов участвует в иммунной защите, поскольку в ней в ключевых местах расположены лимфатические узлы, наполненные белыми кровяными клетками, которые борются с инфекцией. На протяжении 100 лет ученые думали, что в головном и спинном мозге нет лимфатической системы. Считалось, что мозг сам перерабатывает свои отходы. Мы выяснили, что это не совсем так.

В мозге кровеносные сосуды окружены так называемыми периваскулярными пространствами. Это туннели, окружающие каждый кровеносный сосуд. Их внутренняя стенка образована клетками поверхности сосудов, в основном это эндотелиальные и гладкомышечные клетки. А внешняя стенка периваскулярных пространств состоит из структур, встречающихся только в головном и спинном мозге, она образована расширяющимися отростками клеток особого типа — астроцитов.

Астроциты — это вспомогательные клетки, которые выполняют множество функций, обслуживая сети нейронов, передающих сигналы в мозге. Их отростки — «ножки» — полностью окружают артерии, капилляры и вены в головном и спинном мозге. Пустое пространство между ножками астроцитов и стенкой сосудов почти не содержит препятствий для движения жидкости, и через него можно быстро выводить опасные вещества из мозга.

Ученые знали о существовании периваскулярных пространств, но до недавнего времени не догадывались о том, какие функции они выполняют. Тридцать лет назад Патриция Грэди (Patricia Grady), работавшая в Мэрилендском университете, описала движение жидкости в периваскулярных пространствах. Она сообщила, что крупные белки, введенные в спинномозговую жидкость собак или кошек, впоследствии могут быть обнаружены в периваскулярных пространствах. В то время другие ученые не смогли воспроизвести ее наблюдения и не понимали их значения, поэтому дальнейших исследований не было.

Глимфатическая система удаляет белки, связанные с развитием болезни Альцгеймера, Паркинсона и другими неврологическими заболеваниями, поддерживая здоровье мозга

Когда несколько лет назад мы начали изучать систему удаления вредных веществ из мозга, то сосредоточились на описанных ранее водопроводящих каналах, образованных белком, который называется аквапорин 4. Плотность каналов в мембранах ножек астроцитов была сопоставима с таковой в почках, органах, основная задача которых — перекачивать воду.

Нас сразу заинтересовала многочисленность водопроводящих каналов в астроцитах и то, как они расположены относительно стенок кровеносных сосудов. Интерес возрос, когда при более внимательном изучении было обнаружено, что в клетках эндотелия, отделяющих кровеносные сосуды от периваскулярных пространств, такие каналы отсутствовали. Это означало, что жидкость не могла напрямую проникать из кровяного русла в ткани мозга. Она должна была течь по периваскулярным пространствам и попадать в ткани мозга, проходя через астроциты.

Мы предположили, что периваскулярные пространства могут быть аналогом лимфатической системы для мозга. Проходит ли сюда спинномозговая жидкость (ликвор)? Пульсация артерий может

обеспечить движение ликвора через периваскулярные пространства. Некоторое количество жидкости попадет оттуда в астроциты. Затем она может поступать в межклеточное пространство и в итоге выходить в периваскулярное пространство вблизи вен, вынося из мозга ненужные вещества.

Вместе с сотрудниками нашей лаборатории Джеффом Айлиффом (Jeff Iliff) и Рашидом Дином (Rashid Deane) мы занялись поиском подтверждений этой гипотезы. Окрашивая жидкость с помощью химических красителей и используя методы микроскопии, позволяющие увидеть, что происходит глубоко внутри живой ткани мозга, мы могли наблюдать, как пульсация кровеносного сосуда перемещает большой объем ликвора по периваскулярному пространству вокруг артерий. С помощью каналов, расположенных в астроцитах, ликвор проникает в ткани мозга и забирает оттуда отработанные белки.

Из мозга жидкость поступает в периваскулярные пространства вокруг мелких вен, проходящих в мозге. Затем эти кровеносные сосуды объединяются в более крупные и уходят в шею. Выводимая жидкость поступает в лимфатическую систему, а оттуда в кровеносное русло. Туда же попадают продукты разрушения белков из других органов, и это все в итоге фильтруется через почки или перерабатывается в печени.

Начиная исследование, мы не предполагали, что астроциты играют такую важную роль, формируя в мозге фактически аналог лимфатической системы. Дополнительные подтверждения были получены, когда мы использовали генетически модифицированных мышей, у которых был нарушен синтез аквапорина 4 — белка, образующего водопроводящие каналы в астроцитах. Прохождение жидкости через мозг значительно замедлилось, поскольку интенсивность движения ликвора сквозь астроциты упала на 60%.

Итак, нам удалось выяснить, по какому пути движется жидкость в мозге, чтобы эффективно удалять отходы его жизнедеятельности. Мы назвали это глимфатической системой. В новом термине объединены слова «глия» (так называют вспомогательные клетки нервной ткани, к числу которых относятся астроциты) и «лимфатический» (это отсылка к новой функции, найденной у глиальных клеток).

Выяснив, какую важную роль играет глимфатическая система, мы сразу предположили, что, может быть, белки, участвующие в развитии нейродегенеративных заболеваний, в здоровом мозге просто вымываются вместе с другим клеточным мусором. В частности, ранее считалось, что связанный с появлением болезни Альцгеймера пептид

бета-амилоид в нормальных условиях разрушается или перерабатывается в собственных клетках мозга. При болезни Альцгеймера скопления бета-амилоида образуют амилоидные бляшки между клетками, что может способствовать развитию патологического процесса. Мы обнаружили, что из здорового мозга бета-амилоид выводится с помощью лимфатической системы. Другие белки, задействованные в нейродегенеративных заболеваниях, например синуклеин, связанный с болезнью Паркинсона, деменцией с тельцами Леви и мультисистемной атрофией, также могут выводиться из мозга и, соответственно, при нарушении работы лимфатической системы, накапливаться и вызывать патологии.

Симптом, встречающийся при болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных заболеваниях, подсказал направление дальнейших исследований. У многих пациентов с болезнью Альцгеймера нарушение сна наблюдалось задолго до того, как появились явные признаки деменции. У пожилых людей сон становится более прерывистым, поверхностным и длится меньше. В одном длительном исследовании среди людей среднего возраста выявляли тех, кто жаловался на плохой сон. Потом их протестировали снова, спустя 25 лет, и среди них оказалось больше людей с когнитивными нарушениями, чем в контрольной группе.

Даже у здоровых людей, вынужденных бодрствовать слишком долго, появляются симптомы, характерные для неврологических и психических заболеваний: сниженная концентрация внимания, провалы в памяти, апатия, раздражительность, эмоциональные всплески и падения. Полное лишение возможности спать может привести к спутанности сознания, галлюцинациям, эпилептическим припадкам и даже смерти. Лабораторные животные погибают, если их лишать сна в течение нескольких дней, и люди не намного устойчивее животных. Человек, страдающий фатальной семейной бессонницей, наследственным заболеванием, спит все меньше, а затем умирает; как правило, это происходит в течение полутора лет с момента постановки диагноза.

На основе всей этой информации мы предположили, что нарушения сна при нейродегенеративных заболеваниях могут быть не побочным эффектом, а причиной болезни. Более того, если лимфатическая система выводит бета-амилоид более интенсивно во время сна, его недостаток у пациентов с нейродегенеративными заболеваниями может ухудшать состояние. Поскольку первоначально эксперименты проводились на мышах, погружаемых в сон с помощью наркоза, мы предположили, что в бодрствующем активном мозге, которому для нормальной работы могут быть нужны другие условия, интенсивного движения жидкости наблюдаться не будет.

Чтобы проверить эту идею, Лулу Се (Lulu Xie) и Хуни Кан (Hongyi Kang), работая в лаборатории у Недергард, приучили мышей неподвижно сидеть под микроскопом, так что можно было с помощью метода двухфотонной микроскопии увидеть распределение меченого вещества в ликворе. Мы сравнили движение индикатора по лимфатической системе в бодрствующем и спящем мозге. Поскольку этот метод визуализации неинвазивный и безболезненный, мыши сидели спокойно и даже засыпали во время процедуры. Таким образом, мы получили возможность увидеть движение ликвора в одном и том же участке мозга грызунов при бодрствовании и во время сна.

Оказалось, что во время бодрствования животных движение ликвора значительно снижалось. А через несколько минут после засыпания или под действием наркоза интенсивность движения резко усиливалась. Работая вместе с Чарлзом Николсоном (Charles Nicholson) из Нью-Йоркского университета, мы обнаружили, что когда мыши спят, у них более чем на 60% увеличивается межклеточное пространство, по которому лимфатическая жидкость течет в сторону периваскулярных пространств, окружающих вены. Сейчас мы считаем, что движение лимфатической жидкости усиливается во время сна потому, что расширяется пространство между клетками и таким образом облегчается прохождение жидкости через ткани мозга.

В нашем исследовании было показано и то, как контролируется скорость движения жидкости. Оказалось, что нейромедиатор норадреналин регулирует объем межклеточного пространства и, соответственно, скорость движения лимфатической жидкости. Содержание норадреналина повышается, когда мыши бодрствуют, и снижается во время сна, и связанное со сном понижение содержания адреналина приводит к усилению движения жидкости.

Влияние сна

Показав, что увеличение и уменьшение межклеточного пространства во время сна важно и для работы мозга, и для выведения белковых отходов, мы захотели проверить идею, логично следующую из этих наблюдений: может ли недостаток сна ускорять развитие нейродегенеративного заболевания? В экспериментах на мышах мы показали, что во время сна лимфатическая система действительно удаляет бета-амилоид из мозга с высокой эффективностью: интенсивность выведения увеличилась более чем вдвое. С другой стороны, у генетически модифицированных мышей с нарушением синтеза аквапорины 4 — белка, образующего водопроводящие каналы в астроцитах, — были значительные нарушения в работе лимфатической системы. У них

из мозга выводилось на 40% меньше бета-амилоида, чем у животных из контрольной группы.

Удивительно высокая интенсивность выведения бета-амилоида опровергает широко распространенные представления о том, что клетки мозга сами перерабатывают все свои отходы (при помощи процессов, которые называются «убиквитинирование» и «аутофагия»). Сегодня мы знаем, что значительную часть ненужных белков мозг удаляет целиком и разрушаются они уже в другом месте. Судя по всему, эти новые открытия подтверждают, что спящий мозг выводит белковые отходы, в том числе бета-амилоид, с помощью лимфатической системы. Дополнительное подтверждение этой идеи было получено от исследовательской группы Дэвида Хольцмана (David M. Holtzman) из Университета Вашингтона в Сент-Луисе. Они показали, что содержание бета-амилоида в межклеточном пространстве во время бодрствования выше, чем во время сна, а недостаток сна усиливает образование амилоидных бляшек у мышей, которых генетически модифицировали так, чтобы увеличить накопление бета-амилоида.

Сейчас это только фундаментальные исследования в лабораториях. Фармацевтические компании пока не рассматривают возможность лечения деменции путем физического удаления амилоида и других опасных белков, вымывая их из мозга с помощью лимфатической системы. Может быть, они еще придут к этой идее. Сегодня такое заболевание обходится системе здравоохранения США в \$226 млрд ежегодно, и нам необходимы новые способы его лечения. Пока ни одно из проводящихся клинических испытаний лекарств от болезни Альцгеймера не показало высокой эффективности. Усиление работы лимфатической системы — это новая идея, достойная изучения.

Лекарственные средства, влияющие на работу лимфатической системы и повышающие интенсивность движения жидкости во время сна, могли бы буквально вынести амилоид из мозга. На то, что этот метод мог бы сработать, указывает один из способов лечения известного неврологического синдрома. Нормотензивная гидроцефалия — это разновидность деменции, чаще появляющаяся у пожилых людей, при которой в желудочках мозга скапливается чрезмерное количество ликвора. Когда таким пациентам с помощью люмбальной пункции удаляют часть жидкости, у них наблюдается значительное улучшение когнитивных способностей. Долгое время механизм этого явления оставался неясен. Результаты наших исследований позволяют предположить, что восстановление тока жидкости в лимфатической системе может способствовать восстановлению когнитивных способностей у больных.

Возможно, нового лекарства создано не будет, но благодаря знаниям о лимфатической системе появляются свежие идеи о методах диагностики болезни Альцгеймера и других заболеваний. В исследовании, которое недавно провела Хелен Бенвенисте (Helene Benveniste) из Медицинской школы Университета штата Нью-Йорк в Стони-Брук, выяснилось, что обычная магнитно-резонансная томография позволяет увидеть и измерить работу лимфатической системы. Таким образом, можно использовать оценку интенсивности движения жидкости для прогнозирования развития заболевания у пациентов с болезнью Альцгеймера, другими деменциями или нормотензивной гидроцефалией. Можно предсказывать и перспективы восстановления при травмах мозга. До сих пор большинство проведенных нами исследований лимфатической системы были сосредоточены вокруг выведения белковых отходов. Изучение этой системы может быть полезно и для получения фундаментальных представлений о работе мозга.

Жидкость, проходящая по лимфатической системе, может не только выводить отходы, она может доставлять питательные вещества и другие молекулы в мозг. В недавних исследованиях было показано, что по лимфатическим каналам в нейроне поступает глюкоза, необходимая для получения энергии. Сейчас выясняется, может ли белое вещество, образованное отростками нейрона — аксонами, получать из лимфатической системы питательные вещества и молекулы, нужные для поддержания структуры клетки. В таких исследованиях может открыться много неожиданных функций лимфатической системы в ежедневной и еженощной работе мозга. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Филдз Д. Другая часть мозга // ВМН, № 7, 2004.
- Distinct Functional States of Astrocytes during Sleep and Wakefulness: Is Nor epinephrine the Master Regulator? John O'Donnell et al. in Current Sleep Medicine Reports, Vol. 1, No. 1, pages 1–8; March 2015.
- Regulation of Cerebrospinal Fluid (CSF) Flow in Neurodegenerative, Neurovascular and Neuroinflammatory Disease. Matthew J. Simon and Jeffrey J. Iliff in Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular Basis of Disease. Опубликовано онлайн 22.10.2015.
- The Glymphatic System: A Beginner's Guide. Nadia Aalling Jessen et al. in Neurochemical Research, Vol. 40, No. 12, pages 2583–2599; December 2015.
- Рассказ Недергард про лимфатическую систему см. по адресу: ScientificAmerican.com/mar2016/nedergaard

УЖЕ 5 ЛЕТ
ДЕЛАЕМ НАУКУ
ДОСТУПНОЙ



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ



vk.com/tvnauka20



facebook.com/nauka20



youtube.com/c/naukatv



naukatv.ru

СПРАШИВАЙТЕ У ОПЕРАТОРОВ ПЛАТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

ЦТ ПОЗНАНИЕ

реклама

16+



Сириец успокаивает свою жену после плавания на перегруженном плоту через 16-километровый пролив из Турции на греческий остров Лесбос на маршруте бегства множества людей из охваченной войной Сирии

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Сирия: беженцы от засухи

Крестьяне, бежавшие из охваченной гражданской войной страны, рассказывают, как засуха и злоупотребления правительства вызвали насилие в обществе

Джон Уэндл



ОБ АВТОРЕ

Джон Уэнделл (John Wendle) — независимый автор, фото- и видеокорреспондент. С 2005 г. он описывал волнения в бывшем СССР и в Афганистане, а сейчас исследует конфликт между людьми и средой обитания. Подробнее ознакомиться с его работами можно на сайтах <http://johnwendle.com> и <https://instagram.com/johnwendle>.



Кемаль Али 30 лет успешно руководил бизнесом по бурению водяных скважин в Сирии. У него было все необходимое для этого: мощный копер с тяжелой бабой для забивки труб в грунт, потрепанный, но надежный грузовик для перевозки оборудования и бригада трудолюбивых молодых людей, готовых выполнить земляные работы. Более того, у него были острое чутье, позволявшее ему находить подходящие места для бурения, и доверительные связи с местными властями, на которые он мог полагаться в случае нарушения правил. Однако все изменилось зимой 2006–2007 гг., когда водоносные пласты стали истощаться, как никогда ранее.

У Али начались проблемы. «До засухи мне достаточно было пробурить на глубину 60 или 70 м, чтобы добраться до воды, — вспоминает он. — Потом пришлось бурить на 100, а то и на 200 м. А позднее, когда засуха усилилась, бурить пришлось на 500 м и больше. Мой рекорд — 700 м. Уровень воды падал все ниже». С той зимы вплоть до 2010 г. Сирия испытывала самую жестокую засуху за все время наблюдений. Бизнес Али рухнул. Найти другую работу ему не удавалось. В стране стали нарастать общественные беспорядки. Однажды Али чуть не погиб в автобусе. Сегодня он сидит в кресле-каталке в лагере для раненых и больных беженцев на греческом острове Лесбос.

Климатологи говорят, что засухи в Сирии — лишь предвестие того, что может охватить весь Средний Восток, Средиземноморье и другие части света. Они утверждают, что усиление засух вызвано изменением климата. Плодородный полумесяц — местность, где зародилось земледелие около 12 тыс. лет назад, —



сохнет. Засуха в Сирии привела к падению урожая и гибели скота и вынудила покинуть родные места до 1,5 млн сирийских крестьян. Согласно данным, опубликованным в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, это

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Засуха, усиливаемая изменениями климата, и неразумная политика правительства вынудили миллион с лишним сирийских семей бежать из перенаселенных городов. Они говорят, что нехватка воды и коррупция вызвали революцию.
- Нехватка воды в сочетании с вызванным ею ростом насилия побудили многих сирийцев бежать в Турцию и далее за море в Грецию.
- Климатологи говорят, что засухи в Сирии будут становиться все более частыми и сильными и что эта тенденция может распространиться на весь Средний Восток и Средиземноморье.



Беженцы, благополучно преодолевшие пролив, часто испытывают бурные эмоции по прибытии на греческий остров Лесбос (вверху и на противоположной странице). 54-летний Кемаль Али отдыхает в лагере беженцев Пикпа на Лесбосе (слева). Он бурил скважины для крестьян, пока вода не ушла слишком глубоко. Потом у него парализовало ноги после того, как ракета попала в автобус, на котором он ехал в Сирии.

40 лет сдерживаемого недовольства

вызвало массовые волнения, вылившиеся в гражданскую войну. Десятки бывших крестьян и владельцев мелкого бизнеса вроде Али, с которыми я беседовал, говорят, что именно так все и было.

Лагерь Пикпа, где я в ноябре встретил Али, — это ворота в Европу для искателей приюта, переживших рискованное плавание из Турции. Семья Али и тысячи других беженцев с опустошенных полей Сирии представляют то, что грозит стать всемирной волной беженцев из стран, где неустойчивые и репрессивные власти рушатся под напором горячей смеси изменений климата, нежизнеспособной сельскохозяйственной практики и неумелого управления водными ресурсами.

Водный кризис в Сирии в большой степени рукотворен. В 1970-х гг. милитаристский режим Хафеза Асада принял недостаточно продуманный курс на самообеспечение страны продукцией сельского хозяйства. Похоже, что никто тогда не задумался о том, хватит ли у Сирии грунтовых и дождевых вод для обеспечения требуемого уровня производства сельхозпродукции. Из-за нехватки воды крестьяне стали бурить скважины для отбора ее из водоносных пластов. Когда уровень грунтовых вод понизился, крестьяне стали бурить глубже. В 2005 г. сын и преемник Хафеза Асада президент Башар Асад запретил бурение скважин без получения (за плату) официальной лицензии, но в большинстве случаев этот запрет по необходимости игнорировался. «Уровень грунтовых вод с пугающей скоростью падает во всем мире, а на Среднем Востоке особенно, — говорит Колин Келли (Colin Kelley) из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, ведущий автор работы,

опубликованной в *PNAS*. — Это выглядит так, словно мы во весь опор мчимся к обрыву».

Сирия действительно мчится прямо туда. «Война ли, засуха — все едино» — говорил мне 30-летний крестьянин Мустафа Абдул Хамид из Азаза вблизи Алеппо, с которым я беседовал в Кара-Тепе, главном лагере сирийских беженцев на Лесбосе. На растущей близости оливе была развешана для сушки детская одежда. Среди рядов палаток и временных строений бегали, играя в войну, два мальчика с палками, изображающими автоматы. «Революция началась из-за воды и земли», — сказал Хамид.

Он вспоминает, что до засухи все было хорошо. В Сирии у него и его семьи были три гектара плодороднейшей пахотной земли. Они выращивали пшеницу, бобы, помидоры и картофель. Хамид говорит, что до засухи они собирали по 7,5 центнеров пшеницы с гектара. Но потом дожди прекратились и урожаи упали вдвое. «Все, что мне требовалось, это была вода, а ее не было. Дела пошли совсем плохо. Бурить скважину правительством нам запретило, угрожая тюрьмой», — рассказывает он.

У Али какое-то время дела шли лучше, чем у Хамида: у него были связи. Поскольку у него были и деньги, он мог бурить без помех. «Если вы принесите деньги, нужно разрешение вы получаете быстро, — объясняет Али. — А если их нет, вы можете ждать три, а то и пять месяцев. Нужно иметь друзей». Он умудряется даже улыбаться, насколько ему позволяет здоровье. Его история высвечивает еще одну причину недовольства, внесшую вклад в катастрофическое ухудшение положения в Сирии: всепроникающую коррупцию властей.

В воровстве среди слуг народа сирийцы обычно видели неизбежную составляющую жизни. После 40 с лишним лет тоталитарного правления двух Асадов народ примирился со всеми видами трудностей, но недовольство нарастало, приближаясь к критическому уровню. В последние годы беженцы от войны в Ираке и покинувшие свои земли крестьяне переполнили сирийские города, население которых выросло с 8,9 млн человек перед началом вторжения США в Ирак до 13,8 млн в 2010 г., к концу засухи. Что это значило для страны в целом, показано в исследовании *PNAS*: «Правительство Асада не уделяло внимания быстро растущим перенаселенным



Многие беженцы из Сирии пробираются через всю Турцию до ее западного побережья, где толпами грузятся на плавсредства, отправляющиеся на Лесбос (карта). В транзитном лагере Кара-Тепе они молятся, ожидая своей очереди, стараясь не замерзнуть, пока не настанет их очередь отправиться в Митилини, столицу и главный порт Лесбоса (снимки). Там они могут купить билеты на паром в Афины и продолжить путь на материковую Европу.

окраинам сирийских городов, где множились нелегальные поселения, не было достаточной инфраструктуры, усиливались безработица и преступность. И эти окраины стали эпицентром нарастающих волнений».

К 2012 г. водный кризис довел все эти недовольства до предела. «Крестьяне могли выжить год, может быть два, но через три года все их запасы

По данным Международной организации по миграции, в одном только ноябре 2015 г. Грецию пересекли 100 тыс. иностранных мигрантов

кончились. У них оставалась лишь одна возможность — покинуть свои земли», — говорит один из соавторов отчета *PNAS*, профессор Геофизической обсерватории Ламонта — Дорти Колумбийского университета Ричард Сигер (Richard Seager).

Хамид с ним согласен: «Засуха длилась не один год, и никто ничего не говорил против правительства. Но в 2011 г. терпение лопнуло. Это была революция». В том феврале Средний Восток охватили волнения «арабской весны». В Сирии росли протесты, репрессии ужесточались, и сдерживавшийся 40 лет гнев прорвался.



Нет сельского хозяйства — нет будущего

В этом году Хамиду пришлось оставить свое семейное хозяйство. «Я покинул Сирию из-за войны и отсутствия работы», — рассказывает он.

Али тоже пытался выстоять, но лишь у очень немногих его заказчиков были средства для бурения на такую глубину, на какую ушла вода. А война сделала обычную деятельность практически невозможной. Его родная деревня находилась совсем недалеко от города Кобани возле границы с Турцией. К тому времени, когда курды отбили его у «Исламского государства», город лежал в развалинах. В июле 2015 г. Али отправился в столицу Сирии Дамаск, надеясь найти там работу и безопасное прибежище для своей семьи. Он ехал на автобусе, в который ударила ракета. Очнулся в больнице Дамаска парализованным ниже пояса: при взрыве осколок повредил ему позвоночник. Семье как-то удалось найти его и доставить

на север страны, откуда все они отправились через Турцию на берег Эгейского моря.

Здесь, на турецком берегу, ежедневно собираются отчаявшиеся чужеземцы всех возрастов не только из Сирии, но и со всего Среднего Востока. Они толпами набиваются на большие плоты и пытаются переправиться через 16-километровый пролив на Лесбос. Плоты обычно оказываются перегруженными и в неспокойном море переворачиваются. Большинство их пассажиров не умеют плавать, а около 20% из них составляют дети. Тонут люди постоянно.

Многие все же добираются до Лесбоса живыми и уходят от берега как можно быстрее. На северных берегах острова первые лучи солнца освещают свалку брошенных спасательных жилетов и сломанных плавсредств, простирающуюся насколько может видеть глаз. По данным Международной организации по миграции, в одном только ноябре 2015 г. Грецию пересекли 100 тыс. иностранных мигрантов (а с января 2015 г. в Грецию прибыло целых 776 376 мигрантов). Качающая оранжевая точка на горизонте предвещает неминуемое прибытие еще одного транспорта из Турции. Вблизи берега один из пассажиров встает и поднимает вверх руки в знак миролюбия прибывающих людей.

25-летний Лоуи аль-Шарани спрыгивает на берег вместе со своим старшим братом. Они скорым шагом устремляются вверх по крутой прибрежной дороге, неся свои сумки. Оба хотят как можно быстрее попасть в Норвегию. Брат спешит найти работу, чтобы получить возможность привезти к себе жену до осени, когда у супругов должен родиться ребенок. Аль-Шарани говорит, что он жаждет начать трудиться над получением второй магистерской степени. «Мое предназначение — работать головой, а не убивать людей из пулемета», — говорит он.

Их мать продала все свои украшения, включая обручальное кольцо, чтобы добыть братьям на поездку \$6 тыс. Из них они уже потратили \$2,4 тыс. Но какой может быть выбор? До начала войны аль-Шарани успел получить степень магистра по экономике сельского хозяйства, но сейчас он не видит будущего в Сирии ни для себя, ни для сирийских крестьян. Мало было жестокой засухи, так ИГ сделало перспективы страны еще более безнадежными. Аль-Шарани утверждает, что воюющие стороны расхищают запасы пшеницы, фактически используя продовольственные запа-

В результате изучения десятков моделей климата ученые пришли к убеждению, что продолжающиеся выбросы парниковых газов будут расширять ячейку Хэдли (Гадлея) — зону атмосферной циркуляции, охватывающую тропический пояс Земли, что может привести к дальнейшему обезвоживанию земель Восточного Средиземноморья

сы в качестве оружия для контроля народонаселения. «Сегодня крестьянин не может найти ни воды для орошения, ни поддержки правительства, и все время подвергается давлению со стороны как мятежников, так и сирийской армии. В Сирии существует миллион возможностей умереть. Последние десять лет, к несчастью, я наблюдаю, как появляется новый Афганистан», — говорит он.

(Не)плодородный полумесяц

Сигер из Колумбийского университета не столь пессимистичен. Он полагает, что кризис, вызванный наплывом беженцев, постепенно спадет, а война в Сирии будет идти своим курсом. Однако засухи в обозримом будущем будут еще более жестокими, говорит он. В результате изучения десятков моделей климата Сигер, Келли и их коллеги пришли к убеждению, что продолжающиеся выбросы парниковых газов будут расширять ячейку Хэдли (Гадлея) — зону атмосферной циркуляции, охватывающую тропический пояс Земли, что может привести к дальнейшему обезвоживанию земель Восточного Средиземноморья.

Сигер говорит, что в результате уменьшения стоков Евфрата и Иордана Плодородный полумесяц

может потерять свою форму, а к концу текущего столетия и вообще полностью исчезнуть. «Осадков здесь и так выпадает недостаточно, и если их количество уменьшается, эффект получается большим, — предупреждает он. — Регион Средиземноморья обладает некоторыми особенностями, которые делают его в гидрологическом отношении очень чувствительным к росту концентрации парниковых газов».

Выбравшись из Сирии, Али и его семья пытаются как-то добраться до Германии, где, как они надеются, хирурги смогут поставить Али на ноги.

Вывезенный ненадолго из помещения на солнце, Али думает о друзьях, оставшихся в Сирии. «Жизнь крестьян никогда не была легкой. Их главная проблема — вода, ибо вода — это жизнь», — говорит он.

Сын Али вкатывает его кресло в дом. Неяркое зимнее солнце частично освещает большое помещение, уставленное двумя десятками кроватей. Повсюду свалены кучами пластиковые пакеты и дешевые спортивные сумки со скудными пожитками их владельцев. Когда дети Али поднимают его и укладывают на кровать, его лицо кривится от боли. Его 19-летняя дочь Фардуз укладывает колостомный мешок ря-

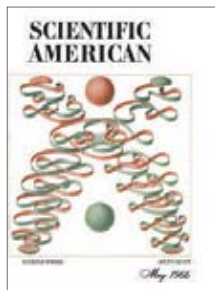
дом с его телом и прикрывает отца одеялами, выданными в качестве гуманитарной помощи.

«Так написано в Коране: вода — это жизнь», — повторяет Али. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Уорнер К., Де Шербинин А., Эрхарт Ч. Жертвы изменения климата // ВМН, № 3, 2011.
- First Super-High-Resolution Model Projection That the Ancient “Fertile Crescent” Will Disappear in This Century. Akio Kitoh et al. in *Hydrological Research Letters*, Vol. 2, pages 1–4; 2008.
- Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the Recent Syrian Drought. Colin P. Kelley et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 112, No. 11, pages 3241–3246; March 17, 2015.



МАЙ 1966

Эффект Джозефсона. Четыре года назад аспирант-физик Кембриджского университета Брайан Джозефсон сделал ошеломительное предсказание. На основе чисто теоретического анализа явления сверхпроводимости он пришел к выводу, что ток сверхпроводимости, пере-

носимый коррелированными парами электронов, можно заставить проходить через изолирующий промежуток между двумя сверхпроводниками, если этот промежуток достаточно мал. Он предположил также, что это «туннелирование» электронных пар через диэлектрик может иметь две формы, получившие название эффектов Джозефсона. Недавно обе они наблюдались экспериментально.

Примечание: в 1973 г. за эту работу Джозефсон был удостоен Нобелевской премии.

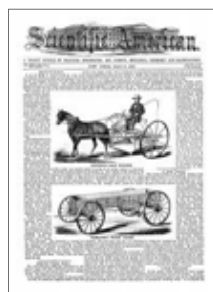
Обвиняется Детройт. «Книжное обозрение: "Опасен на любой скорости: конструктивно обусловленные проблемы с безопасностью американских автомобилей" (*Unsafe at Any Speed: Designed-In Dangers of the American Automotiles*) Ральфа Нейдера (Ralph Nader). Десятки лет считалось, что повышение безопасности на дорогах может быть достигнуто в основном при помощи кампаний в областях правил дорожного движения, усиления правоохранительных органов, технического образования и морального убеждения. Этот взгляд был, а для многих и остается основной идеологической позицией. Книгу Нейдера можно рассматривать как анализ и критику этой позиции. Она прямо указывает на автомобилестроителей, обвиняя их в безразличии, бессердечии и высокомерии перед лицом реальных возможностей создания более безопасных машин. В своих выводах Нейдер призывает к созданию публично сформулированных, утвержденных на федеральном уровне и поддерживаемых постоянными исследованиями стандартов безопасности при конструировании и производстве автомобилей». — Дэвид Хокинс (David Hawkins).



МАЙ 1916

Новости с фронтов. После почти пяти месяцев осады британские войска под командованием генерала Таунсенда в городе Кут-эль-Амара в Месопотамии капитулировали. К моменту капитуляции численность этих войск, первоначально представлявших собой летучий отряд, который пытался овладеть Багдадом, составляла меньше 10 тыс. человек. Основными причинами убыли до такой почти пренебрежимой

величины были потери в ходе наступления на Багдад, отступления после сражения под Ктесифоном и возвращения в Кут. Капитулировать пришлось в основном из-за отсутствия продовольствия и боеприпасов и нехватки санитарного оборудования. **Примечание:** защитники Кут-эль-Амары стали первым в истории войн гарнизоном, получившим снабжение самолетами.



МАЙ 1866

Техника для сельского хозяйства. Хороший сельскохозяйственный инвентарь неизменно пользуется устойчивым спросом. Фермеры всегда ищут долговечный и эффективный инструмент и при этом, похоже, всегда стараются иметь возможность выбрать лучший

из имеющихся на рынке вариантов. Новая корморезка (на илл. внизу) недавно выпущена в Ричмонде, штат Индиана. Она сделана основательно, а отремонтировать ее после случайной поломки способен обычный слесарь или кузнец.

Загрязненный воздух. Среди пассажиров прибывшего недавно в наш порт парохода *Virginia* оказалось много больных. На корабле сразу же был установлен карантин, больных стали лечить и до выздоровления не выпускали в город. Проведенные чиновниками исследования показали, что никто из пассажиров не приехал из портов, где свирепствовала холера, а заболевание началось на борту не раньше, чем через восемь дней после отплытия парохода из Ливерпуля. Вероятно, на корабле была очень плохая вентиляция, а сильно страдавшие от загрязненного воздуха и нехватки пищи пассажиры были ослаблены и особенно уязвимы для инфекции. Очень

странно, что при всех современных возможностях очистки воздуха и обеспечения его циркуляции в помещениях этим факторам было уделено мало внимания. Потери владельцев судна из-за его задержки составили изрядную сумму, и если не из соображений гуманности, то из интересов собственного кармана им следовало бы лучше заботиться об условиях для пассажиров низшего класса. ■



Машины для фермеров: корморезка. Похоже, что для позирования граверу гордый изобретатель надел свой лучший воскресный костюм, 1866 г.

Ремесленник: профессор антропологии Дитрих Стаут изготавливает каменное орудие в Лаборатории палеолитических технологий Университета Эмори





КОГНИТИВНАЯ ПСИХОЛОГИЯ

РАССКАЗЫ НЕЙРОБИОЛОГА КАМЕННОГО ВЕКА

Осваивая мастерство изготовления
каменных орудий, ученые сканируют
собственный мозг, пытаются понять
эволюцию интеллекта

Дитрих Стаут

ОБ АВТОРЕ

Дитрих Стаут (Dietrich Stout) — профессор антропологии в Университете Эмори. Изучает технологии изготовления каменных орудий в эпоху палеолита, сочетая экспериментальные методы различных дисциплин.



У

меня до сих пор где-то хранится первый собственноручно сделанный каменный топор — довольно убогое изделие, грубо высеченное из расколотого морозом валуна, который я подобрал во время прогулки по одному из фермерских полей в Западном Суссексе. Предков современного человека, известных как *Homo heidelbergensis*, моя поделка уж точно не впечатлила бы. Эти кузены *Homo sapiens* жили в Европе примерно полмиллиона лет назад и оставили после себя куда более изысканные экспонаты — например, на месте археологических раскопок у расположенной неподалеку деревни Боксгров.

Я самоотверженно трудился над изготовлением нехитрого рубящего орудия и очень им горжусь. Ведь важно не то, что я преуспел в новой для себя сфере деятельности. Важно то, что моя возня с этим орудием по сути дела была попыткой получить ответы на некоторые ключевые вопросы, связанные с эволюцией человека и возникновением таких уникальных особенностей нашего рода, как язык и культура. Попытка воспроизвести навыки доисторических людей, чтобы понять происхождение и становление современного человека, не нова — археологи занимаются этим уже долгие десятилетия. Но в последние 15 лет мы используем данную практику немного в иных целях.

Работая в тесном сотрудничестве и вооружившись приборами для сканирования мозга, археологи и нейробиологи пытаются проследить процессы, происходящие внутри черепа современного ремесленника, когда он терпеливо обтесывает камень, превращая его в самое примитивное орудие —

рубило. Заглядывая таким образом в мозг, мы надеемся определить, эволюция каких его областей помогла палеолитическим людям превращать бесформенные камни в довольно искусно сделанные топоры и ножи.

Сотрудничество между археологами и нейробиологами позволило воскресить сильно дискредитированную идею о том, что изготовление орудий было важным фактором человеческой эволюции. Как еще 70 лет назад утверждал в своей авторитетной книге «Человек-рукотворец» (*Man the Toolmaker*) британский археолог Кеннет Оукли (Kenneth Oakley), изготовление орудий было «главной биологической характеристикой», способствовавшей эволюции нашей «мощи психической и телесной координации».

Данная идея потеряла популярность, когда зоопсихологи сообщили о том, что пользоваться орудиями и даже мастерить их умеют и некоторые животные — человекоподобные приматы, вороны,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Воспроизведение навыков доисторических людей помогает лучше понять некоторые аспекты эволюции человека — например, развитие языка и культуры.
- Сочетание этого подхода с томографическим сканированием мозга позволяет выявлять структуры, изменяющие свою активность по мере превращения камня в примитивное орудие.
- Сотрудничество археологов с нейробиологами воскресило сильно дискредитированную гипотезу, что изготовление орудий было одним из главных факторов человеческой эволюции.
- Вполне возможно, что освоение сложного мастерства изготовления орудий стало для наших палеолитических предков серьезным интеллектуальным вызовом, подстегнувшим эволюцию человеческого языка.



Класс каменотесов. Нада Крейшех (вверху, вторая справа) посвящает обучению студентов изготовлению рубил 20 часов в неделю. Занятия проводятся под открытым небом в рабочей зоне Лаборатории палеолитических технологий Университета Эмори. Каждый студент проходит 100-часовой курс обучения. Кремневое рубило (справа) — первое каменное орудие, изготовленное автором статьи.

дельфины и осьминоги. Как остроумно заметил в 1960 г. палеоантрополог Луис Лики (Louis Leakey) в своем знаменитом ответе Джейн Гудолл (Jane Goodall), впервые сообщившей об использовании орудий обезьянами шимпанзе, «теперь нам придется либо дать новое определение понятию "орудие" и новое определение понятию "человек", либо признать, что шимпанзе и люди — это одно и то же». Многие ученые стали считать ключевым фактором эволюции головного мозга приматов не изготовление орудий, а сложные социальные отношения. В 1980–1990 гг. широкую популярность получили гипотезы «маккиавелевского интеллекта» и «социального мозга», утверждавшие, что наиболее сложные умственные задачи приматам приходится решать для того, чтобы перехитрить своих сородичей, а не для овладения окружающей средой. Эти гипотезы подкрепил и тот факт, что те виды приматов, которые образуют крупные социальные группы, как правило, обладают и более крупным головным мозгом.



Но более поздние исследования, включая и работы автора этой статьи, показали, что идеи Оукли сбрасывать со счетов нельзя. Изготовление орудий вполне могло играть важную роль в нашей эволюции, не будучи при этом уникальной особенностью человека. Главное — то, какие орудия мы создаем и как мы учимся их изготавливать. Люди выделяются среди всех прочих приматов своей невероятной способностью учиться друг у друга. Умением подражать действиям сородичей с ними не сравнятся ни одни другие приматы. Подражательство — предпосылка для овладения сложными техническими навыками и форма поведения,

лежащая, по мнению многих ученых, в основе потрясающей способности человеческой культуры накапливать знания такими способами, каких не знают другие гоминоиды. А потому отмахиваться от мысли, что древние каменные орудия могут предоставить нам важную информацию о когнитивной эволюции человека, представляется преждевременным. Более того, овладение все более сложными навыками изготовления орудий и передача их сородичам вполне могли оказаться для наших предков достаточно серьезным интеллектуальным вызовом, чтобы подстегнуть эволюцию человеческого языка. Ведь, как сегодня считают многие нейробиологи, лингвистическими и мануальными навыками человека ведают одни и те же мозговые структуры.

Оббивка камня требует огромной аккуратности: малейшая неточность в движении может загубить заготовку

Для проверки этих предположений мы решили тщательно проанализировать процесс изготовления древних орудий и сопоставить полученные данные с имеющимися сведениями об эволюции соответствующих систем мозга. Приступив к изучению данных вопросов, мы тут же столкнулись с большими трудностями — ведь ни головной мозг, ни поведение не подвергаются окаменению. Учитывая скудность ископаемых свидетельств, мы решили прибегнуть к единственному доступному нам средству — воссоздать в лабораторных условиях совокупность навыков, которые передавались людьми из поколения в поколение многие тысячелетия назад. Для этого мои ученики, сотрудники и я сам на протяжении нескольких лет пытались имитировать навыки палеолитических ремесленников.

Экспериментальная археология

Изучение древнейших в истории человечества технологий с помощью современной методики мозгового сканирования может показаться несколько странным. Когда мы начали возить тележки с камнями в лабораторию нейровизуализации с новейшим оборудованием, многие и впрямь бросали на нас косые взгляды. Но эксперименты в археологии уже давно стали рутиной. В конце концов, изучение настоящего — один из наиболее действенных методов понять прошлое. Ученые проводили эксперименты, чтобы воссоздать древние технологии выплавки металлов (археометаллургия) и наблюдать за неумолимым распадом туш животных (тафономия) для лучшего понимания процессов их

окаменения. Первые эпизодические эксперименты по реконструкции древних технологий изготовления орудий были проведены еще в XIX в.; сегодня эксперименты для изучения технологий обработки камня стали обычной практикой.

В последние годы масштабы таких экспериментов значительно выросли. В 1990 г. мои университетские наставники Николас Тот (Nicholas Toth) и Кэти Шик (Kathy Schick), работающие в настоящее время в Индианском университете в Блумингтоне и в Институте каменного века, использовали новые по тем временам технологии нейровизуализации для изучения процессов, происходящих в мозге человека, мастерице палеолитического орудия. Эта идея легла в основу и моего 15-летнего исследования, главной целью которого

стал детальный анализ событий в мозге человека, превращающий камень в орудие труда. Сегодня моя лаборатория скорее напоминает каменотесную мастерскую. Когда я пишу эти строки, до меня доносится ритмичный стук, производимый каменными орудиями труда начинающих ремесленников и сопровождающийся даль-

нейшим ростом кучи кремневых осколков и обломков в рабочей зоне Университета Эмори. В прошлом году эта куча достигла 1 м в поперечнике, 15 см в высоту и веса почти 1,5 тыс. кг. Я смотрю в окно и вижу, как одна из моих научных сотрудниц, постдок Нада Крейшех (Nada Khreisheh), склоняется над расстроенным студентом-«подмастерьем», чтобы дать ему какой-то дельный совет.

Сейчас Крейшех посвящает примерно 20 часов в неделю обучению 20 студентов древнему искусству изготовления рубил. На сегодня это наш самый амбициозный проект. Каждое занятие записывается на видео, что позволяет нам проанализировать, какие методики обучения работают лучше всего. Каждый готовый артефакт мы тщательно обмеряем, чтобы проследить динамику овладения навыком. В процессе обучения каждый «подмастерье» несколько раз проходит МРТ-сканирование мозга, позволяющее оценить изменение мозговых структур и функций, а также психологические тесты для выявления возможной связи между различными когнитивными показателями (например, планированием, кратковременной памятью и т.д.) и способностями к изготовлению орудий. Все это требует огромной работы, но помогает нам понять тонкости доисторических технологий обработки камня.

Например, в ходе исследования мы поняли, что изготовление каменных орудий — очень трудное дело. Но нам хотелось узнать, почему именно эта работа настолько трудна. Оукли и другие сторонники теории «человека-рукотворца» полагали, что

изготовление орудий стало возможным благодаря «уникальной человеческой» способности к абстрактному мышлению, т.е. способности представлять себе различные типы орудий как своего рода мысленную модель, которую нужно воспроизвести в реальности. Позволю себе не согласиться. Любой опытный ремесленник скажет вам, что создание мысленного образа будущего предмета — дело несложное. Главные трудности — в самом изготовлении.

Изготовление рубила требует от ремесленника-неофита овладения техникой отбивки-оббивки, включающей использование удерживаемого в руке «отбойного молотка» в виде камня, кости или рога, с помощью которого от обрабатываемого булыжника отбиваются кусочки, так что заготовка мало-помалу принимает форму полезного орудия. Работа требует умения наносить мощные удары с точностью до нескольких миллиметров. Удары наносятся настолько быстро, что малейшая неточность может испортить заготовку. Как при высекании скульптуры из мраморной глыбы, каждый удар отделяет от заготовки маленький фрагмент, вернуть который на место уже нельзя.

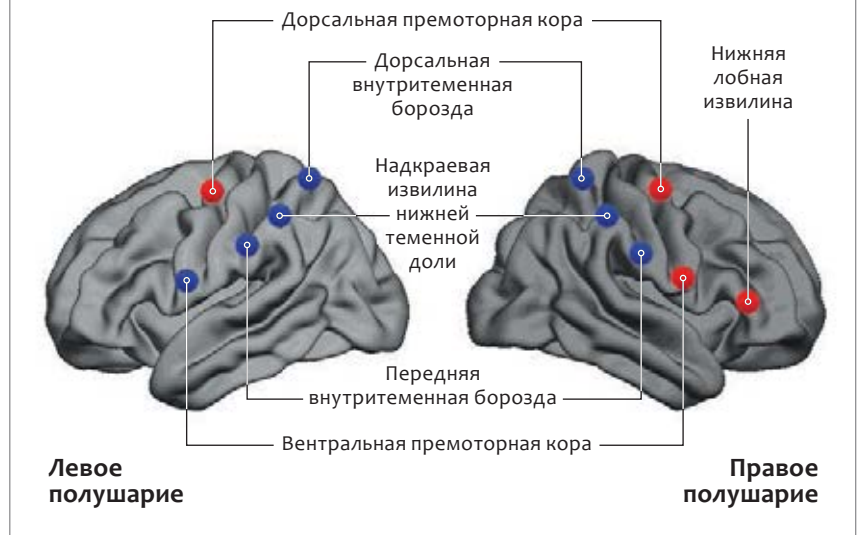
С помощью особой системы отслеживания движений Бландин Брилль (Blandine Brill) и ее сотрудники из Высшей школы социальных наук в Париже показали, что в отличие от новичков опытные резчики тонко регулируют силу своих ударов, что позволяет им отсекалть от заготовки фрагменты определенных размеров. Нанесение серий таких ударов для достижения некоей абстрактной образной цели (например, того же рубила) возможно лишь после приобретения отточенной способности контролировать движения, а этого можно достичь исключительно посредством долгих и кропотливых занятий.

Наши предки, учась делать каменные орудия, наверняка сталкивались с такими же проблемами; от успехов на этом поприще, возможно, зависело их выживание. Требования к их изготовлению — в сочетании со сложными социальными взаимодействиями, необходимыми для приобретения таких навыков, — вполне могли стать движущей силой когнитивной эволюции людей. Современный вариант «человека-рукотворца» Оукли мы назвали *Homo artifex* — человеком-мастером (от лат. *artifex* — «творец, художник, создатель»).

ТОМОГРАФИЯ

Орудия и мозг

Томография позволяет выявить изменения в активности мозга по мере усложнения навыков, требующихся для изготовления орудий. На этих рисунках показаны области мозга, активировавшиеся при изготовлении современными каменотесами копий незамысловатых олдувайских орудий труда (2,6–1,6 млн лет назад) и более сложных ашельских рубил (1,6 млн — 200 тыс. лет назад). Синие точки — участки мозга, активировавшиеся при изготовлении как олдувайских, так и ашельских орудий, а красные точки — только ашельских орудий.



Рубила и томография

Обработка камня была не единственной технической проблемой, с которой столкнулись ученики, приобщавшиеся к доисторическим формам деятельности. Стандартные методы нейровизуализации не приспособлены к исследованию мозга людей, когда те заняты изготовлением каменных орудий. Все, кому доводилось проходить МРТ, наверняка помнят категорическую просьбу врача не шевелиться, потому что движения не позволяют получить четкое изображение органов. К сожалению, неподвижное лежание в узкой трубе томографа не только не располагает к обтесыванию камней, но и навевает неодолимую дрему.

В наших ранних экспериментах мы обошли эту проблему, используя так называемую позитронно-эмиссионную томографию с применением фтордезоксиглюкозы (ФДГ-ПЭТ). Раствор с радиоактивными молекулами, позволяющими получить картину мозговой активности, вводится в вену на ногу каменотеса, чтобы дать ему возможность работать руками (надо сказать, это довольно болезненная процедура). Затем испытуемый может свободно отбивать от заготовки кусочки камня, превращая ее в рубило или нож, а радиоактивные молекулы тем временем проникают в метаболически активные ткани его головного мозга. После завершения работы мы запускаем сканирование и определяем, в каких участках мозга скопилось вещество.



С помощью этой методики я исследовал мозговые корреляты двух технологий каменного века, олдувайской и позднеашельской, охватывавших период с начала до конца раннего палеолита (2,6 млн — 200 тыс. лет назад), т.е. критический в эволюционном плане период, когда головной мозг гомининов (людей и их вымерших предков) увеличился в размерах почти втрое. В ходе наших исследований мы хотели получить ответ на вопрос, могло ли развитие этих технологий предъявить к мозгу новые высокие требования, которые и обусловили его резкое укрупнение в результате многотысячелетнего естественного отбора.

Олдувайская технология изготовления орудий, впервые описанная в середине XX в. группой палеоантропологов и археологов под руководством Луиса и Мэри Лики в танзанийском ущелье Олдувай, представляет собой отбивание острых фрагментов (отщепов) от булыжника, от которого в конце концов остается одно ядро. Такие отщепы по сути дела представляют собой древнейшие человеческие ножи.

В нашем исследовании мы позволили участникам опытов в течение четырех часов обрабатывать камни без каких-либо инструкций. Ознакомившись с задачей, они научились распознавать и обращать внимание на особенности камней — например, на их выступы и выпуклости, которые можно легче всего отбить. Такое обучение четко

Отходы производства. Кремневое рубило, изготовленное начинающим ремесленником, в окружении каменных фрагментов, отбитых им от заготовки. Каждый такой осколок маркируется, взвешивается и измеряется — это нужно для детального анализа процесса освоения рабочих навыков.

отражается в активности мозга: до и после занятия зрительная кора, находящаяся в задней (затылочной) части мозга обнаруживает различные паттерны активности. Но четырехчасовое занятие даже по меркам древнейших технологий наших предков — не слишком долгая практика.

У опытных ремесленников, сравнимых своими навыками с мастерством олдувайских камнерезов, наблюдается иная картина. Как показали Бриль и ее сотрудники, продвинутых изготовителей орудий отличает способность контролировать силу наносимых по камню (ядру) ударов для откалывания отщепов. В мозге таких экспертов этот навык стимулировал активность расположенной в теменной доле надкраевой извилины (*Gyrus supramarginalis*), ответственной за осознание человеком положения собственного тела в пространстве.

Примерно 1,7 млн лет назад олдувайская технология, основанная на изготовлении отщепов, начала вытесняться ашельской технологией (от названия местечка Сент-Ашель во Франции), включавшей изготовление более сложных орудий

(например, обоюдоострых рубил каплевидной формы). Некоторые позднеашельские рубила (например, рубила, найденные в английском местечке Боксгров возрастом около 500 тыс. лет) отличались большим изяществом: они имели красивую форму, тонкие поперечные сечения, трехмерную симметрию и ровные острые края; все признаки указывают на высокий уровень развития камнерезных навыков.

Современные изготовители древних орудий отлично знают, что эта техника требует не только точного контроля движений, но и тщательного мысленного планирования работы. Выполняя продуманные серии ударов, подготавливающие края и поверхность каменного ядра к отсечению желаемого фрагмента, они используют разнообразные твердые (камни) и мягкие (кости или рога животных) орудия. Им приходится быстро переключаться с одной второстепенной задачи на другую, прочно удерживая в памяти образ готового рубила и не поддаваясь искушениям «срезать путь». На собственном горьком опыте я убедился, что физику обработки камня обмануть нельзя. Если вы устали или обескуражены, лучше сделать на день другой перерыв.

Требования к изготовлению позднеашельских орудий тоже оставляют на томограммах характерный след. Некоторые области мозга активны при изготовлении и олдувайских, и ашельских орудий. Но ашельские томограммы выявляют также активацию особой области префронтальной коры, называемой правой нижней лобной извилиной. Нейробиологи связывают эту структуру мозга с когнитивным контролем, необходимым человеку для переключения с одной задачи на другую и подавления неадекватных реакций.

Позднее мы подтвердили результаты наших исследований, полученные с помощью ПЭТ, данными МРТ, которая обеспечивает более точные и четкие изображения мозга. Для этого нам с социальным нейробиологом Тьерри Шаминадом (Thierry Chaminade), ныне работающим в Институте нейробиологии Тимона Университета Экс-Марсель (Франция), пришлось придумать своеобразный способ обездвиживания участников эксперимента: мы просили их неподвижно лежать в сканере и вместо того, чтобы изготавливать орудия руками, просто просматривать видеозаписи этой деятельности. Такой подход вполне оправдан: как показали Шаминад и ряд других ученых, при осознании наблюдаемых действий в нашем мозгу активируются многие из тех же самых его систем, что и при реальном их выполнении. Несмотря на существенные различия методик, мы обнаружили одинаковые реакции в мозговых окулоторных областях при подобном «изготовлении» как олдувайских, так и ашельских орудий —

и повышенную активность в правой нижней лобной извилине при просмотре испытуемыми видеозаписей изготовления ашельских орудий.

Мы заключили, что способность к освоению сложных двигательных навыков, по-видимому, играла важную роль на раннеолдувайских этапах технологической эволюции людей, а ашельские приемы обработки камня требовали еще и более высокого уровня когнитивного контроля, обеспечиваемого предлобной (префронтальной) корой. По сути дела, эти факты хорошо согласуются с ископаемыми свидетельствами, указывающими на то, что наиболее быстрое увеличение размеров мозга за последние 2 млн лет пришлось на позднюю ашельскую эпоху. Данное открытие, однако, не позволяет сказать, какое из событий было причиной, а какое следствием. Действительно ли изготовление орудий стало движущей силой эволюции мозга *H. artifex* или же оно попросту сопутствовало ей? Чтобы ответить на этот вопрос, нам пришлось обстоятельно выяснить, как мозг обучается изготавливать орудия.

Обучение и эволюция

Для того чтобы сравняться мастерством изготовления орудий с позднеашельскими виртуозами, мне потребовалось около 300 часов практики. Обучение шло быстрее, если я работал под руководством наставника или в компании других каменотесов. Хотя экспериментальным изготовлением древних орудий ученые занимаются уже несколько десятилетий, никаких систематических исследований процесса овладения данной практикой еще не проводилось. В 2008 г. Брюс Брэдли (Bruce Bradley), профессор археологии Эксетерского университета в Англии и экспериментальный ремесленник с большим стажем, предложил мне заполнить этот пробел в наших знаниях. Решив подготовить следующее поколение британских академических каменотесов, Брэдли подумал, что я в это время смог бы лучше изучить процесс обучения ремеслу методами нейровизуализации. Он оказался прав.

Мой интерес к исследованию подогрела еще одна вещь: мне хотелось познакомиться с так называемой диффузионной МРТ — сравнительно новой разновидностью МРТ, позволяющей ученым картировать белое вещество мозга, т.е. проследить ход нервных волокон, служащих мозгу своего рода электропроводкой. 2004 г. группа ученых под руководством Богдана Драганского (Bogdan Draganski), работавшего в то время в Регенсбургском университете (Германия), выявила с помощью диффузионной МРТ структурные изменения в головном мозге добровольцев, обучавшихся жонглированию, — факт, бросивший вызов традиционному представлению, что мозг взрослого человека обладает довольно жестко смонтированной структурой.

Мы подозревали, что обучение изготовлению инструментов тоже приведет к некоторой «перемонтировке» мозга. А если так, нам хотелось узнать, какие именно нервные цепи при этом изменятся. Если наша идея была верна, мы надеялись увидеть хотя бы намек на то, что изготовление орудий действительно может вызвать — пусть и в гораздо меньшем масштабе — анатомические изменения человека, аналогичные тем, что происходили в процессе нашей эволюции.

Ожидания оправдались полностью: практика изготовления орудий и в самом деле приводит к укрупнению нервных трактов, соединяющих те же самые участки лобной и теменной коры, которые выявляли наши ПЭТ- и МРТ-исследования, включая и правую нижнюю лобную извилину, ответственную за когнитивный контроль. Степень изменений можно было предсказать по количеству часов, которые испытуемые посвящали этой практике, — чем дольше они занимались обработкой камней, тем сильнее изменялось их белое мозговое вещество.

Вполне возможно, что нервные структуры, связанные с изготовлением орудий, стали принимать участие и в примитивных формах общения

Пластичность мозга, т.е. его способность изменяться, обеспечивает возможность эволюционных изменений — эффекта, называемого фенотипической аккомодацией. Пластичность придает видам гибкость и позволяет им испытывать новые формы поведения. Если вновь изобретенный поведенческий трюк приносит пользу, он включается в поведенческий репертуар вида, и начинается эволюционная гонка: естественный отбор будет благоприятствовать любым изменениям, облегчающим обучение новому трюку и повышающим эффективность и надежность процесса его освоения. Таким образом, наши данные подкрепляют правильность идеи о *H. artifex* и свидетельствуют о том, что изготовление орудий и в самом деле могло привести к изменению мозга благодаря известным механизмам эволюции.

Получив такую информацию, мы должны были выяснить затем, в какой степени наблюдавшиеся нами анатомические изменения соответствовали специфическим изменениям человеческого головного мозга в процессе эволюции. Поскольку ископаемые черепа не дают точной информации об изменениях мозговых структур, мы прибегли

к иному способу решения проблемы — прямому сравнению анатомии человека с анатомией наших ближайших из ныне живущих родственников, шимпанзе.

К счастью, мне удалось договориться с Эрин Хехт (Erin Hecht), работающей в Университете штата Джорджия, о помощи в анализе данных диффузионной МРТ. Диссертация Хехт, посвященная нейроанатомическому сравнению человека и шимпанзе, содержала множество точных фактов, необходимых для нашего исследования. Ее результаты, опубликованные в прошлом году, подтвердили наши подозрения: нервные структуры и пути, связанные с изготовлением орудий и идентифицированные нами с помощью ПЭТ, МРТ и диффузионной МРТ, и в самом деле у людей были гораздо крупнее, чем у шимпанзе; особенно это касалось нервных соединений правой нижней лобной извилины. Данное открытие стало последним звеном в цепи умозаключений о древних артефактах, поведении, умственных способностях и эволюции мозга, которые я собирал в единую схему с тех пор, как в конце 1990-х гг. окончил аспирантуру. Оно однозначно подтверждает старое представление, что палеолитическое изготовление орудий способствовало формированию современного интеллекта. Наша история, однако, на этом не заканчивается.

Эволюционные последствия

Я люблю каменные орудия, но они дают нам лишь узкое представление о сложной жизни наших далеких предков. Фокус в том, чтобы превратить крупицы знаний, полученные в результате нейробиологического изучения их изготовления, в полноценную модель бытия в каменном веке.

Несмотря на то что каменные орудия предоставляют нам в этом отношении довольно ограниченную информацию, ситуация могла бы оказаться намного хуже. Обучение их изготовлению отнимает не меньше времени, чем многие академические дисциплины: чтобы овладеть этим мастерством, студент типичного американского колледжа должен затратить примерно 150 часов (по десять часов в неделю на протяжении 15-недельного семестра). В совместном исследовании с Брэдли мы обнаружили, что к концу 167-часовой практики изготовления ашельского рубила все еще вызывало у «подмастерьев» значительные трудности. Не буду, однако, злорадствовать: ведь у меня самого освоение мастерства каменотеса заняло примерно 300 часов. Изготовление каменных орудий — однообразный, утомительный и трудоемкий процесс, требующий больших мотивации и самоконтроля — качеств, представляющих огромный интерес в плане человеческой эволюции.

Мотивация может исходить извне, например от наставника, или рождаться внутри, от предвкушения будущего вознаграждения. Многие ученые

считают обучение одной из определяющих характеристик человеческой культуры, в то время как предвосхищение будущего явно имеет огромное значение для самых разных аспектов человеческой жизни — от социальных отношений до решения технических проблем.

Но, разумеется, мотивационная «морковка» без подстегивающего «хлыста» самоконтроля далеко вас не заведет. Способность к самоконтролю — подавлению контрпродуктивных побуждений — играет критическую роль в осуществлении многих когнитивных навыков. Как показал в своем недавнем исследовании Эван Маклин (Evan MacLean) из Университета Дьюка, способность к самоконтролю и планированию будущего положительно коррелирует с размерами головного мозга у 36 изученных видов птиц и млекопитающих. Результаты нашего исследования также свидетельствуют о существовании связи между успехами в изготовлении рубил и мозговыми системами, ведающими самоконтролем и планированием будущего.

Наблюдение — один из лучших способов обучения. Хотя слово «подражатель» обычно воспринимается как оскорбление, сравнительные психологи постепенно начинают признавать, что добросовестное копирование является одним из столпов человеческой культуры. Исследования Эндрю Уайтена (Andrew Whiten) из Сент-Андрусского университета в Шотландии и многих других ученых показали, что хотя человекоподобные приматы и обладают выдающимися способностями к имитации, по уровню их развития они и близко не стоят с людьми, даже детьми.

Но достаточно ли для обучения одного только подражательства? В шахматах можно разобраться, посмотрев несколько партий, но куда проще будет сделать это, если кто-нибудь объяснит вам нюансы шахматной стратегии и тактики. И мы хотим знать, так же ли обстоит дело с изготовлением каменных орудий и прочими доисторическими навыками. Недавно группа ученых из Калифорнийского университета в Беркли под руководством Томаса Моргана (Thomas Morgan) провела ряд экспериментов по изготовлению каменных орудий с целью выяснить, как знание передается от одного человека другому. Исследователи обнаружили, что процесс обучения протекает гораздо эффективнее, если при этом используется язык (речь), а не просто демонстрация навыка. Дальнейшие эксперименты в этом направлении могли бы помочь ученым пролить свет на величайшую тайну нашей эволюции — когда и почему возник человеческий язык.

Обучение — не единственная возможная связь между изготовлением орудий и языком. Нейробиологи установили, что большинство структур человеческого мозга перерабатывают информацию, связанную с разнообразными формами поведения. Возьмем, например, классический центр

речи — зону Брока, названную по имени французского хирурга и антрополога XIX в. Поля Брока и расположенную в левой нижней лобной извилине. В 1990-х гг. ученые показали, что зона Брока связана не только с речью, но и с музыкой, математикой и пониманием сложной жестикуляции. Это открытие воскресило старую гипотезу, что изготовление орудий наряду с человеческой склонностью к общению с помощью жестов, возможно, были основными эволюционными предшественниками языка.

Результаты нашего томографического исследования заставили нас недавно предположить, что для адаптации к требованиям палеолитического изготовления орудий нервные сети головного мозга (включая и нижнюю лобную извилину) претерпели определенные изменения и затем включились в примитивные формы общения людей с помощью жестов, а возможно и звуков. Затем такая протолингвистическая коммуникация подверглась естественному отбору, что в итоге привело к возникновению особых адаптаций, поддерживающих современный язык. Эксперименты, проводимые нами сегодня, позволят проверить и эту гипотезу. ■

Перевод: В.В. Свечников



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Прингл Х. Как появилось творческое мышление // ВМН, № 5, 2013.
- The Sapien Mind: Archaeology Meets Neuroscience. Edited by Colin Renfrew, Chris Frith and Lambros Malafouris. Oxford University Press, 2009.
- Experimental Evidence for the Co-evolution of Hominin Tool-Making Teaching and Language. T.J.H. Morgan et al. in Nature Communications, Vol. 6, Article 6029; January 13, 2015.
- Skill Learning and Human Brain Evolution: An Experimental Approach. Dietrich Stout and Nada Khreisheh in Cambridge Archaeological Journal, Vol. 25, No. 4, pages 867–875; November 2015.
- Публикации Дитриха Стаута: <https://scholarblogs.emory.edu/stoutlab/publications>
- Слайды, показывающие экспериментальное изготовление орудий, см. по адресу: ScientificAmerican.com/apr2016/stone-age



Материал предоставлен
нашими коллегами
из журнала

GEHIRN UND GEIST

(Германия)

Тот, кто наблюдает только за индивидом, никогда не сможет понять людей. Кросскультурная психология изучает то, как влияют на нас общественные нормы и традиции

Сила общества

Ульрих Кюннен

«Большое спасибо, что заполнили мою анкету! В качестве небольшого вознаграждения вы можете выбрать один из этих карандашей», — говорит своему собеседнику, ожидающему самолета в аэропорту Сан-Франциско, Хижун Ким (Heejung Kim). Один карандаш — оранжевый, четыре других — зеленые. Какой карандаш выберет собеседник? На самом деле именно этот выбор интересует Ким намного больше, чем ответы на вопросы в анкете.

Среди выбравших оранжевый — 74% американцев и только 24% респондентов азиатского происхождения. Ким и ее наставник Хейзел Маркус (Hazel Markus) из Стэнфордского университета опубликовали исследование в 1999 г., и оно стало вехой в кросскультурной психологии. Сегодня эта дисциплина стала канонической, но еще в 70-х гг. прошлого века дела обстояли иначе. Наука о жизни и поведении человека должна обобщать, делать выводы, не зависящие от культуры. Это утверждение кажется сомнительным, когда обращаешь внимание на то, что более 90% всех психологических исследований проходят с участием респондентов, которых группа под руководством Йозефа Хенриха (Joseph Henrich) в своей работе 2010 г. обозначает аббревиатурой *WEIRD* (от англ. *western* — «западный», *educated* — «образованный», *industrialized* — «индустриализованный», *rich* — «состоятельный», *democratic* — «демократичный»; *weird* в пер. с англ. — «странный»). Однако эта группа представляет лишь 12% населения всего мира.

Еще в начале 1970-х гг. группа молодых психологов пыталась ответить на вопрос, выходят ли определенные психологические особенности за рамки

отдельной культуры. В 1972 г. эти ученые основали Международную ассоциацию кросскультурной психологии (*iACCP*). Сегодня уже известно, что культурно-компаративные работы помогают понять определенные психологические феномены на более глубоком уровне.

Факт, что культура воздействует на наше мышление и поведение, уже давно не новость. «Чужие страны, чужие нравы» — гласит народная мудрость. Но есть ли в «чужих нравах» некий прообраз, харак-

Есть ли в «чужих обычаях» что-то вроде основных закономерностей, которые характеризуют общее поведение? И можно ли на этом основании сравнивать различные культуры?

теризующий общее поведение, ориентиры? И какие основные мерилы, с помощью которых можно сравнивать различные культуры? На эти вопросы отвечают кросскультурные исследования, которые проводились с конца 1970-х до начала 1990-х гг.

Так, работы нидерландского ученого Герта Хофстеде (Geert Hofstede) ставили перед собой цель выявить такие общие ценности. Хофстеде считает

степень внутренней сплоченности культур важным индикатором: именно она помогает отличить индивидуалистические культуры от коллективистских. К первым можно отнести США и Западную Европу, ставящие индивидуальные права и свободы над общественными, ко вторым — многие азиатские и африканские страны. Эти примеры отнюдь не единственные, но сегодня они представляют собой наиболее изученный аспект культурной психологии.

От индивида к коллективу

Точка зрения, которой придерживается человек (индивидуалистическая или коллективистская), находит свое отражение в том, как он сам себя определяет. Хэйзел Маркус (Hazel Markus) и Китаяма Шинобу (Shinobu Kitayama) обратили на это внимание в 1991 г. в статье, опубликованной в *Psychological Review*, которая долгое время оказывала влияние на кросскультурные исследования. В ней авторы подтверждают тезис о том, что ряд различий между представителями индивидуалистических и коллективистских культур можно объяснить особенностями их самоидентификации. Причем самопрезентация может даже не осознаваться как следствие культурной парадигмы, а восприниматься как нечто идущее от личности человека.

ОБ АВТОРЕ

Ульрих Кюнэн (Ulrich Kühnen) — профессор психологии Бременского университета Якобса, исследует, как социальный контекст воздействует на мысли, чувства и поведение людей. Один из основателей Бременской международной высшей школы социальных наук (BIGSSS).

Западное индивидуалистическое самовосприятие Маркус и Китаяма обозначили обобщающим словом *independent* («независимый»), противопоставив его коллективистской *interdependent* («взаимозависящей») «я»-концепции. Если вы попросите людей из индипендентной культуры спонтанно охарактеризовать себя, скорее всего вы услышите высказывания типа «Я музыкален» или «Я хороший танцор». Кроме того, они часто выражают определенный взгляд или свои предпочтения: «Я очень люблю кататься на велосипеде» или «Я не люблю рыбу». Объединяет их то, что они описывают себя через внутренние и стабильные характеристики, которые подчеркивают их отличие от других.

Напротив, человек с интердепендентным мышлением определяет себя через связь с другими. Наиболее типичные высказывания, описывающие себя, касаются групповой идентичности, например: «Я член спортивного клуба»; социальных отношений:



V век до н.э.

Античные предшественники

Греческий историк Геродот после многочисленных путешествий опубликовал свой трактат «История», в котором описал обычаи и культуру разных народов.

1970

Специализированное издание

Вышел первый номер *Journal of Cross-Cultural Psychology*.

1972

Научно-исследовательское объединение

В Гонконге появилась Международная ассоциация кросскультурной психологии (iACCP). С 1982 г. каждые два года она переезжает в другую страну.

Около 1800 г.

Терминология

Вильгельм фон Гумбольдт ввел термин «этническая психология» для описания различных взглядов на мир.

1872

Эволюционная точка зрения

Работа Чарлза Дарвина «О выражении эмоций у человека и животных» — одно из первых кросскультурных исследований эмоций.



1967

Первые полевые исследования

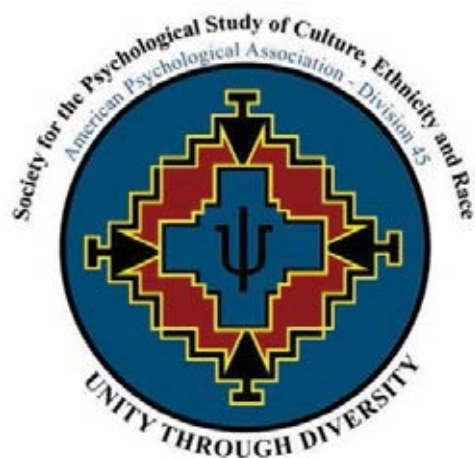
Американский психолог Пол Экман путешествовал по Папуа — Новой Гвинее, изучая теорию Дарвина с помощью современных методов.

«Я верный друг»; социальных ролей: «Я руковожу группой, состоящей из десяти человек». Такие интердепендентные описания более социальны и связаны с внешним контекстом: человек ориентируется в своем поведении на то, что считается приемлемым в данной ситуации. Типичное индипендентное самовосприятие, такое как, например, «Я напористый», здесь не подходит, потому что в одном контексте настойчивость может быть оценена положительно, а в другом — нет.

Разница в «я»-концепциях не закладывается генетически, она приобретенная. Как воздействует культура на самовосприятие? Какие механизмы играют решающую роль? Эти вопросы относятся к так называемой инкультурации — проблеме, которой занимается психология развития.

Даже обращение родителей с детьми различается в зависимости от культуры. Например, в индивидуалистической культуре младенцы спят в отдельной комнате, в то время как в коллективистской, как показывают опросы, это не распространено.

Младенцы из западных культур могут уже в возрасте от 18 до 20 месяцев узнать себя в зеркале. В кросскультурном исследовании 2005 г. это могли сделать 3/4 немецких детей, принявших участие в эксперименте, и только 15% их ровесников



1986

Социальное признание

Американская психологическая ассоциация (APA) основала в качестве 45-го отдела Сообщество психологических исследований культуры, этносов и рас.

1991

Восток и Запад

Хейзел Маркус и Китаема Шинобу предложили теорию противопоставления индипендентной и интердепендентной «я»-концепций.

1980

Фундаментальный труд

Нидерландец Герт Хофстеде опубликовал свою книгу «Влияние культуры: международные различия в отношении к труду».

2003

Популяризация

Ричард Нисбетт из Мичиганского университета опубликовал книгу «География мысли: насколько по-разному думают на Востоке и на Западе и почему».

2003

Статус-кво

В настоящее время iACCP насчитывает более 800 представителей из 65 стран.



Респонденты из США и Японии должны были в тесте на память указать, видели ли они рыбу в кино о подводном мире, показанном незадолго до эксперимента (вверху). Японцы узнавали рыбу с оригинальным фоном (в середине) лучше, чем американцы, которые, наоборот, вспоминали рыбу, когда отличался общий контекст (внизу).

африканцев, принадлежащих к коллективистской этнической группе. Они получают способность к внутренней репрезентации намного позже. Эта разница не ведет ни к недоверию к зеркалу, ни к меньшему интеллекту. Скорее всего, западные родители чаще имеют зрительный контакт с ребенком и тем самым имитируют мимику и жесты ребенка. Эти так называемые контингентные отношения помогают ребенку с первыми опытами каких-либо поступков понять, что его поведение имеет последствия для окружающих. Это способствует разделению между «я» и социальным окружением, а следовательно, и ментальной репрезентации человека.

Выужено из контекста

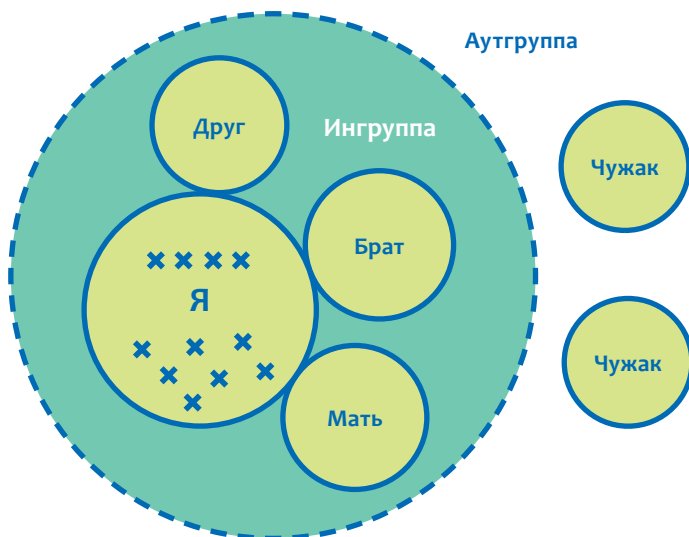
Хотя основные функции ментальной деятельности, например восприятие и память, считаются связанными с эволюцией, а потому не зависящими от культуры, исследования XXI в. продемонстрировали обратное. В частности, это показала исследовательская группа под руководством психолога Ричарда Нисбетта (Richard Nisbett) из Мичиганского университета США. В одном широко цитируемом исследовании 2001 г. Такахико Масуда (Takahiko Masuda) и Нисбетт продемонстрировали американским и японским респондентам видео с водным миром с большими рыбами на переднем плане и маленькими животными и растениями — на заднем. Позже респонденты должны были вспомнить по фотографии, видели ли они конкретную рыбу в этом фильме; при этом фон на фото был то тем же самым, что в видео, то совершенно отличным от оригинала.

Японцы вспоминали намного лучше, чем американцы, когда фон оставался прежним: видимо, азиаты фиксируют общий контекст. Американцы, наоборот, гораздо лучше узнавали рыбу на другом фоне. Этот вывод соответствует допущению, что «интердепендентные» японцы видят сцены целостно, а объекты — тесно связанными друг с другом.

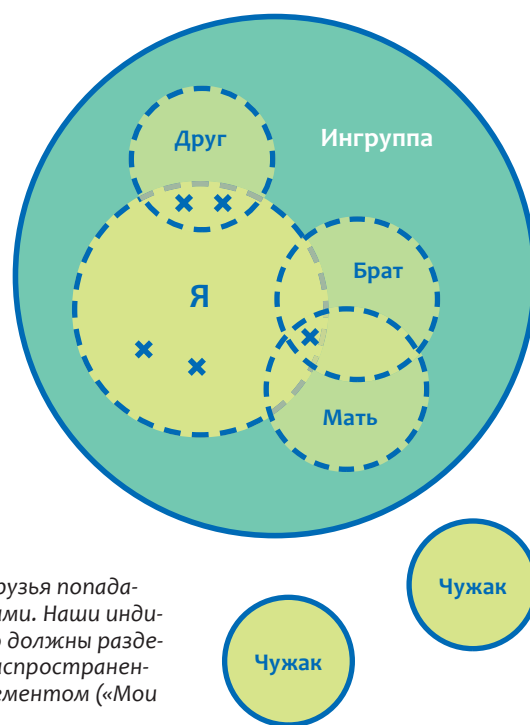
Аналогичные результаты обнаруживаются и в сфере социального восприятия. Хорошо известная ошибка нашего мышления — в том, что мы при оценке поведения других не в полной мере учитываем соответствующий контекст, а также не видим причины этого в характеристиках действующего лица. Например, мы недовольны манерами недружелюбного официанта. При этом мы не задумываемся о том, что он может быть груб из-за того, что заведение переполнено, а его коллега сегодня не пришел. Эта тенденция оценивания называется фундаментальной ошибкой атрибуции. У западных людей она более ярко выражена, чем у коллективистов. Тут не нужна фантазия, чтобы представить, как легко эта разница может привести к недопониманию или даже конфликтам между представителями разных культур.

Так же как мы смотрим на поведение других людей сквозь призму своей личности, мы хотим, чтобы наши собственные решения расценивались не просто как выбор между несколькими вариантами, а как самовыражение. Индийский психолог Кришна Савани (Krishna Savani) предложил интересную теорию. В 2010 г. он со своими коллегами сообщил, что индийцы по сравнению с американцами реже интерпретируют свои повседневные действия как выбор, который им трудно сделать, и считаются менее персонально зависимыми. В этот ряд также можно поставить пример из исследования Ким и Маркус: даже, казалось бы, тривиальный выбор карандаша осознается западными людьми как способ выразить свою личность.

Индепендентная «я»-концепция



Интердепендентная «я»-концепция



У индепендентной «я»-концепции западного образца родственники и друзья попадают в «ингруппу», но в то же время считаются автономными индивидами. Наши индивидуальные особенности (обозначены крестиками) они не обязательно должны разделять. В соответствии с интердепендентным мировоззрением, более распространенным у азиатов, эти личные качества выступают связующим людей элементом («Мои друзья имеют те же интересы, что и я»).

Что мотивирует детей на лучшую успеваемость

Наша индивидуальность отражается и на мотивации к успеваемости. Так полагают ученые Шина Айенгар (Sheena Iyengar) и Марк Леппер (Mark Lepper), утверждая, что американские дети более мотивированны, выполняя задачи, которые они сами себе выбрали, нежели тогда, когда их ставит кто-то другой (мама или посторонний человек). Дети азиатского происхождения, наоборот, более мотивированны, когда считают, что задача поступила от матери.

Исследователи эмоций ищут скорее универсальные законы. Их стремление восходит к Чарльзу Дарвину, который подтвердил свою теорию об эволюционных корнях наших эмоций в частности тем, что гнев, радость и печаль люди выражают одной и той же мимикой.

В то же время влияние культуры обнаруживается в обращении с нашей эмоциональной жизнью. В то время как на Западе считается правильным и здоровым давать выход своему гневу, в других широтах это не принято. В исследовании 2011 г., проведенном Ребеккой Чун (Rebecca Cheung) и Ирен Парк (Irene Park), изучался вопрос о подавлении гнева и сопровождающей депрессии. Ученые обнаружили, что у американцев связь между ними намного сильнее выражена, чем у азиатов.

В другой работе Бонни Ли (Bonnie Le) и Эмили Импетт (Emily Impett) 2013 г. было отмечено, что сдерживание негативных эмоций у интердепендентов даже оказывает положительное воздействие

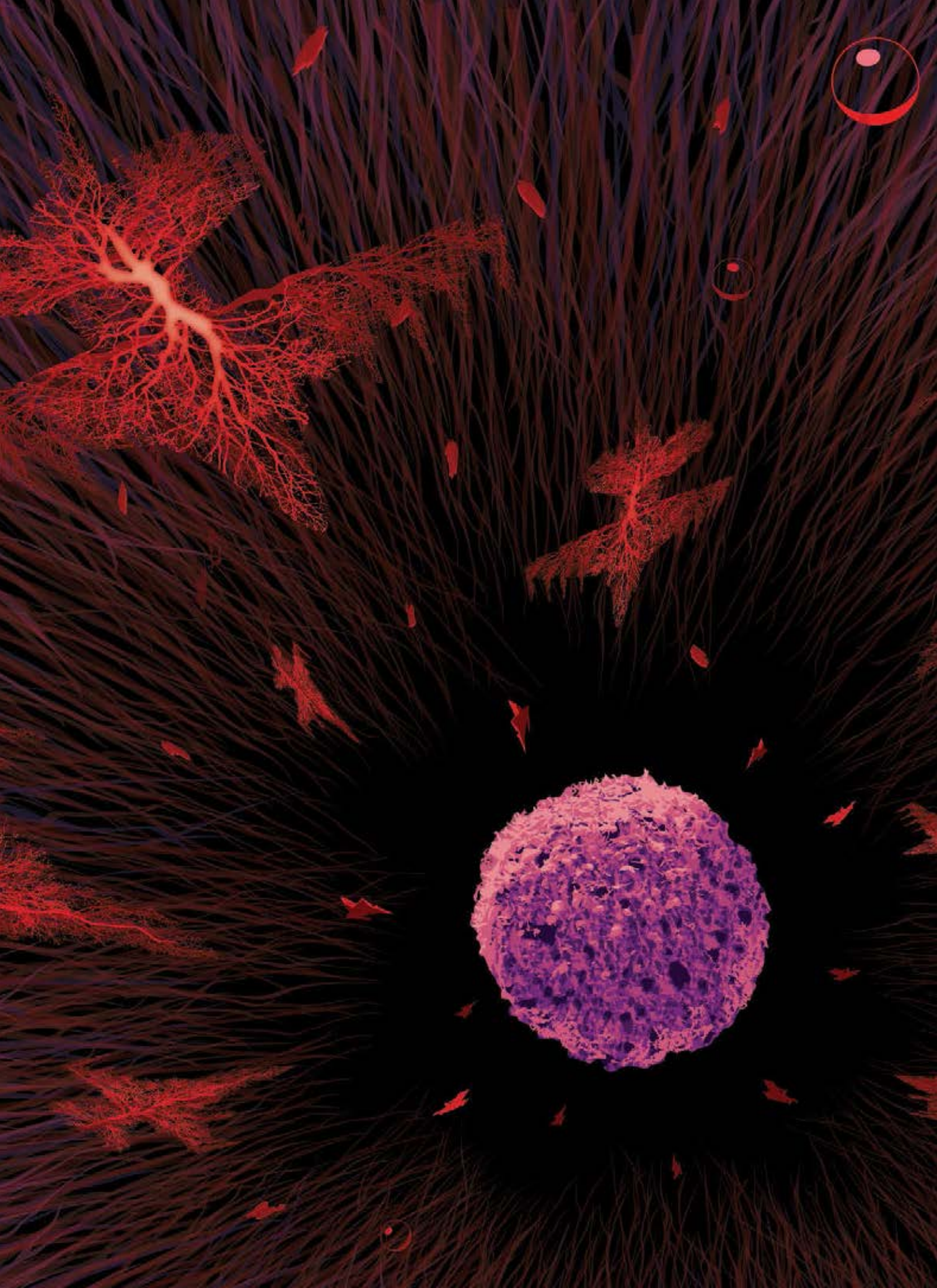
на человека. Эти результаты особенно важны для психотерапевтов, которые работают с представителями разных культур.

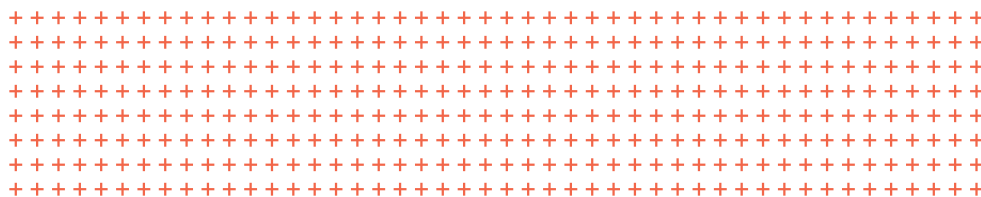
Но относится ли это, например, к иммигрантам? Как и когда они перенимают нормы своей новой родины? Многие подобные вопросы все еще остаются открытыми, что неудивительно для такой молодой сферы науки. Более того, из-за глобализации мир меняется все быстрее. Грядет ли новая, возможно, по-настоящему глобальная культура? Какие психологические последствия имеют мировые миграционные перемещения? Это всего лишь небольшая часть вопросов, с которыми в будущем столкнется кросскультурная психология. Ответы на них, вероятно, столь же разнообразны, как и сами культурные нормы. ■

Перевод: Е.С. Новоселова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Tierisch kultiviert — menschliches Verhalten zwischen Kultur und Evolution. U. Kühnen. Springer, Heidelberg 2015.
- Anger Suppression, Interdependent Self-Construal, and Depression among Asian American and European American College Students. R.Y.M. Cheung, I.J. K.Park in Cultural Diversity and Ethnic Minority, No 16, 2010, p. 517–526.
- The Weirdest People in the World? J. Henrich et al. in Behavior and Brain Sciences, No 33, 2010, p. 1–75.
- Rethinking the Value of Choice: A Cultural Perspective on Intrinsic Motivation. S.S. Iyengar, M.R. Lepper in Journal of Personality and Social Psychology, No. 76, 1999, p. 349–366.





2016 БУДУЩЕЕ МЕДИЦИНЫ

ЗАЩИТА ОТ РАКА

Стимулирование иммунной системы
открывает новые возможности
борьбы с раком

Карен Уэйнтрауб

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Иммунологические методы нового поколения, разработанные для лечения больных раком, позволяют контролировать поведение раковых клеток. За последние пять лет в этой области достигнуты большие успехи.
- Тысячи людей с агрессивной формой рака легких и кожи, а также лейкозом или лимфомой прошли курсы такой терапии и получили облегчение, а многие даже излечились.
- Онкологи работают над усовершенствованием методик, пробуют применять их в комплексе, чтобы повысить результативность терапии.



ЕСЛИ БЫ МИШЕЛЬ БОЙЕР

был поставлен диагноз «агрессивная меланома на поздних стадиях» в 2010, а не в 2013 г., то сегодня ее скорее всего уже не было бы в живых. Меланома (рак кожи) протянула свои щупальца от места первоначальной локализации на шее в легкие, и девушка знала, что прогноз крайне неблагоприятен. К счастью, в начале мая 2015 г. 29-летняя Мишель была включена в группу добровольцев, на которых апробировали новый революционный метод лечения (первые испытуемые из этой группы стали участниками эксперимента еще в 2011 г.), стимулирующий иммунную систему к обнаружению раковых клеток и их уничтожению. Несмотря на то что Бойер остается в статусе онкологической больной и регулярно принимает иммуностимулирующие препараты, она благодарит судьбу за то, что все еще жива. Она надеется, что этот курс терапии или следующий окажут свое чудотворное действие и помогут избавиться от рака, как помогли другим больным, о которых Мишель узнала через Интернет. «Сейчас это смысл моей жизни, — говорит она. — Людям кажется, что в такой ситуации невозможно оставаться оптимистом. Что же касается меня, то я считаю это нормой, и мне не нужно прилагать слишком много усилий, как может показаться».

Карен Келер, пенсионерка 59 лет из Парк-Риджа, штат Нью-Йорк, можно сказать, выиграла иммунологический джекпот с первой же попытки. У нее был рак другого рода — лейкоз, а в результате единственной инфузии ее собственных иммунных клеток, генетически модифицированных для повышения их агрессивности в отношении раковых клеток, Карен практически выздоровела. После инфузии, длившейся около двух часов, ее на несколько дней поместили в блок интенсивной терапии, чтобы привести в норму гиперактивированную иммунную систему. Процедуру пришлось повторять регулярно в течение многих недель, но сканирование, проведенное менее чем через месяц после инфузии, не показало никаких следов рака во всем теле.

Бойер и Келер — лишь два пациента из тысяч онкобольных, прошедших иммунотерапию разного

ОБ АВТОРЕ

Карен Уэйнтрауб (Karen Weintraub) — журналист-фрилансер, пишущая статьи для научно-популярных журналов на медицинские темы. Постоянный автор STAT (www.statnews.com), USA Today, New York Times и других изданий.



вида за последние пять лет. Их опыт выявил как плюсы, так и минусы принципиально нового подхода к борьбе с раком. Вместо того чтобы вводить в организм больного токсичные химиопрепараты или подвергать лучевой терапии, теперь мобилизуют сложный высокоинтерактивный комплекс клеток и сигнальных молекул на защиту организма собственными силами. Результаты весьма обнадеживающие; иммунотерапия становится одним из полноправных методов лечения онкологических больных наряду с хирургическим вмешательством, лучевой и химиотерапией.

Клинические испытания иммунотерапии для защиты от одной из самых агрессивных форм лейкоза показали, что у 90% больных наступает глубокая ремиссия. У некоторых болезнь возвращается, но у множества остальных происходит полное излечение. Участники других испытаний, из которых более половины составляли пациенты с меланомой в далеко зашедшей стадии, теперь исчисляют ожидаемую продолжительность жизни не месяцами, а годами. По словам Гэри Гиллиленда (Gary Gilliland), директора Онкологического центра Фреда Хатчинсона в Сиэтле, «это ярчайшая иллюстрация благотворных изменений в подходах к борьбе с раком».

Разумеется, мы сделали на этом пути только несколько шагов. Увеличение ожидаемой продолжительности жизни пациента на несколько лет означает, что умрет он все-таки от рака. Поэтому попытки разнообразить воздействие на иммунную систему, в том числе с помощью вакцин, вирусов, генетически модифицированных клеток, продолжаются. Клиницисты пробуют комбинировать такие воздействия в надежде, что смогут помочь большему числу больных и, возможно, уменьшить разнообразие и выраженность побочных эффектов. Но уже нет сомнений, что когда-нибудь они смогут поставить иммунологический заслон раку. «Мы находимся в конце начального этапа», — говорит Эрик Рубин (Eric Rubin), вице-президент отделения общей клинической онкологии Исследовательских лабораторий компании Merck.



Photograph by Annie Marie Musselman

В 2013 г. Мишель Бойер был поставлен диагноз «метастазирующая меланома»; шесть курсов иммунотерапии не привели к излечению, но она продолжает жить вопреки всем прогнозам



Системные онкологические заболевания

Идею побороть рак с помощью иммунной системы впервые высказал 125 лет назад Уильям Коли (William Coley), врач из Нью-Йорка; он ввел некоторым своим онкобольным бактерии, надеясь

стимулировать с их помощью природные защитные механизмы. Опыт Коли повторили еще несколько врачей, но после его смерти в 1936 г. дело заглохло, тем более что появились такие мощные методы, как химио-, а позже гормонотерапия, дававшие более однозначные результаты.

ПРОТИВОРАКОВАЯ ВАКЦИНА?

Создана вакцина на основе дендритных клеток пациента, несущих на своей поверхности белки главного комплекса гистосовместимости. Такие клетки захватывают онкоспецифичные белки и предъявляют их иммунной системе

Беатрис Каррено и Элайн Мардис

Более десяти лет биологи пытаются упрочить противораковые системы защиты человека с помощью вакцин. Их цель — не предупреждение заболевания, а ознакомление иммунной системы больного с внешним видом врага — раковой клеткой. Обычно последние отличаются от нормальных клеток не настолько сильно, чтобы инициировать иммунный ответ, но мы придумали, как снабдить их поверхностными белками, свойственными только раковым клеткам.

Каждая клетка человека несет на своей поверхности опознавательные знаки — белки-маркеры, на которые реагирует иммунная система. Они информируют последнюю о своей принадлежности данному организму, чтобы он их не уничтожал. К несчастью, такие же белки присутствуют и на поверхности раковых клеток. По-видимому, первые противораковые вакцины, созданные нами и другими коллективами, терпели неудачу именно потому, что они направляли иммунную систему на поиски маркеров любой локализации.

Недавно наша группа придумала, как нацеливать ее на белки, присущие только раковым клеткам. Для этого мы секвенировали геном нормальных и опухолевых клеток и, сравнив их, идентифицировали участки нуклеотидной цепи, кодирующие поверхностные белки раковых клеток. Затем мы исследовали, какие онкоспецифичные белки вызывают наиболее сильный ответ элемента иммунной системы под названием «главный комплекс гистосовместимости» (*major histocompatibility complex proteins, МНС*), специализирующегося на направлении реакции организма на чужеродных агентов. Основываясь на полученных данных, мы можем теперь создавать персонифицированные вакцины

на основе МНС-содержащих дендритных клеток данного пациента, которые захватывают онкоспецифичные белки и предъявляют их иммунной системе. Это способствует усилению противоопухолевого Т-клеточного ответа и уничтожению несущих специфические белки раковых клеток.

В прошлом году мы проверили этот подход на трех пациентах с меланомой и опубликовали результаты в журнале *Science*. Нами были идентифицированы семь онкоспецифичных белков, которые должны были бы связываться с каждым МНС пациента. Проверив реакцию на вакцину всех трех участников, мы обнаружили, что три из семи белков распознались Т-клетками пациента, и именно они атаковали раковые клетки.

Спустя год после вакцинации иммунная система пациента все еще вырабатывала противоопухолевые Т-клетки, предотвращая тем самым возобновление патологического процесса. (У двух пациентов опухоли уменьшились в размерах, но они получали дополнительную терапию, так что мы не можем сказать, что сыграло здесь главную роль.) На сегодня все трое больных живы и их состояние стабильно. Никаких побочных эффектов вакцинации не выявлено.

Наши исследования находятся на начальной стадии. Мы начали их с меланомы, поскольку для этого вида рака характерно наличие множества мутаций и большого числа белковых мишеней, но в наших дальнейших планах — проверка работоспособности метода на других онкологических заболеваниях. Прежде чем внедрять вакцину в медицинскую практику, необходимо сократить время ее получения и определить долгосрочность действия. Мы надеемся, что она станет хорошим подспорьем для противораковой иммунотерапии и в конце концов внесет свой вклад в победу над раком.



Беатрис Каррено (Beatriz M. Carreno) — доцент Университета Вашингтона в Сент-Луисе.

Элайн Мардис (Elaine R. Mardis) — заслуженный профессор медицины, один из директоров Макдоннеловского института генома при Университете Вашингтона в Сент-Луисе.



Однако сама мысль использования иммунной системы в качестве оружия против рака никогда не теряла своей привлекательности, а в 1953 г. дочь Коли основала в Нью-Йорке онкологический институт, намереваясь продолжить дело отца. По мере того как молекулярные биологи узнавали все больше об иммунной системе — о том, как она работает и когда терпит неудачу, — онкологи пополняли свой арсенал иммунологическими методами противораковой защиты.

Наиболее привлекательной мишенью для этих методов были патологии кроветворной и лимфатической систем, прежде всего разные формы лейкозов и лимфом. В основе данных патологий лежат мутации ДНК стволовых клеток, которые в норме дают начало форменным элементам крови (в частности, лейкоцитам и лимфоцитам), а под действием мутаций вместо этого начинают бесконтрольно делиться, вытесняя здоровые клетки и лишая организм возможности нормально функционировать. Многие из этих так называемых жидкостных опухолей развиваются в результате нарушений в работе В-клеток, элементов иммунной системы. В норме такие клетки вырабатывают антитела против бактерий и вирусов. (Кроме того, они участвуют совместно с Т-клетками в координации различных иммунных реакций.) Когда В-клетки трансформируются в раковые, они разрушают организм изнутри.

В конце XX в. был разработан биологический аналог самонаводящейся ракеты, которая нацеливалась на поверхностный белок В-клеток, *CD20*, и связывалась с ним на последней стадии существования последних. Это моноклональное антитело, получившее название



Именно такое случилось с Карен Келер. Но введение ритуксимаба очень ослабило ее, а результат был частичным, так что лечение пришлось прервать. Кроме того, обнаружилось, что рак ее формы нечувствителен к стандартной химиотерапии. И поскольку болезнь быстро прогрессировала, ей предложили пройти курс иммунотерапии (в то время метод считался экспериментальным). Выхода не было, и больная согласилась.

Предполагалось, что в ходе лечения в ее организме будут разрушены все В-клетки, как это обычно бывает при введении ритуксимаба, но с двумя важными отличиями. Мишенью должен был стать другой белок, CD19. А кроме того, клиницисты изолировали из организма больной некоторое количество Т-клеток и подвергли их генетической модификации, так что они приобрели способность атаковать CD19 без всякого побуждения.

Эти клетки получили название CART (от англ. *chimeric antigen receptor T cells*). Они обладают некоторыми свойствами, характерными как для В-, так и для Т-клеток, представляя собой молекулярные аналоги древних мифологических существ химер, сочетающих в себе признаки разных животных. CART-терапия находится на стадии эксперимента, но Управление по санитарному надзору за качеством

У Карен Келер спустя год после инфузии собственных иммунных клеток, подвергшихся генетической модификации для повышения эффективности уничтожения лейкозных клеток, не обнаруживается никаких следов последних в спинном мозге

«ритуксимаб», побуждало Т-клетки выполнять несвойственные им функции: атаковать и разрушать более старые, несущие белок CD20, В-клетки.

К сожалению, CD20 — не онкоспецифичный белок, он связывается не только с раковыми, но и с нормальными В-клетками, и в результате ритуксимаб разрушает их обеих. Обнаружилось, однако, что большинство людей могут жить вообще без В-клеток. (Для Т-клеток это не так, о чем свидетельствует гибель миллионов людей, зараженных вирусом иммунодефицита человека, нацеленным именно на Т-клетки.) Когда лекарственный препарат полностью выводится из организма, у большинства пациентов через некоторое время начинают вырабатываться новые В-клетки из того запаса стволовых клеток, которые находятся в костном мозге. Клинические испытания, проведенные в 1990 гг., показали, что сочетание химиотерапевтических препаратов с ритуксимабом особенно эффективно при онкологическом заболевании, в основе которого находится поражение В-клеток.

пищевых продуктов и медикаментов (FDA) полагает, что она получит разрешение на применение уже в следующем году.

Нацеленные на белок CD19 CART-клетки делились в организме Келер так быстро, что одного их введения (10 февраля 2015 г.) хватило на разрушение всех В-клеток. Однако организм больной «забыл», как вырабатывать здоровые В-клетки. Чтобы защитить его от возможных инфекций, пришлось каждый месяц проводить многочасовые инфузии гамма-глобулина. Это занимало много времени, но все-таки не было химиотерапией.

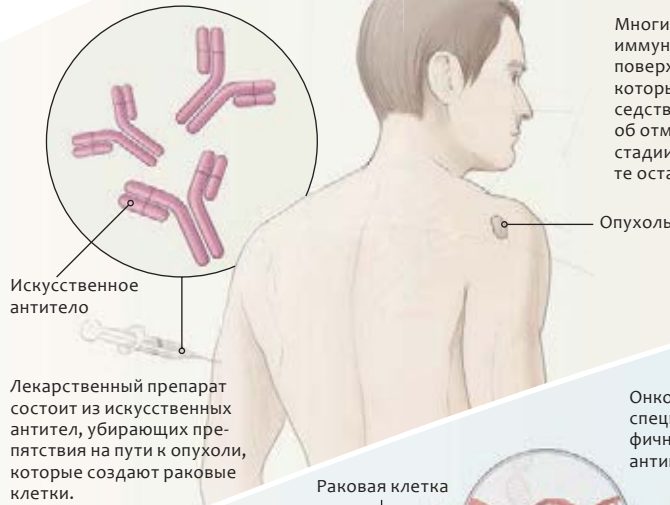
Однако CART-терапия ударила по организму Келер с другой стороны — она вызвала настоящий шторм цитокинов. Такая реакция возникает, когда одновременно активируется гораздо больше Т-клеток, чем обычно (цитокины — сигнальные молекулы, выполняющие коммуникативную функцию в иммунной системе). Результатом может стать разрушение здоровых клеток, опасное для жизни больного.

Три иммунологические стратегии

Долгое время основными инструментами в борьбе с онкологическими заболеваниями были хирургическое удаление опухоли, лучевая и химиотерапия. Клинические испытания последних пяти лет показали, что суперстимуляция иммунных клеток, в частности в ответ на вирусные или бактериальные инфекции, служит мощным подспорьем традиционным методам. Представленные здесь новые подходы были проверены как сами по себе, так и в комплексе с другими методами.

Ингибиторы контрольно-пропускной системы

Бесконтрольный иммунный ответ может быть такой мощности, что начнется разрушение здоровых тканей. Прежде чем достичь оптимальной эффективности, специализированные Т-клетки проходят несколько молекулярных контрольно-пропускных пунктов. Раковые клетки часто воздействуют на эти пункты таким образом, чтобы воспрепятствовать атаке иммунной системы на опухоль. Новые лекарственные средства — ингибиторы контрольно-пропускных пунктов — подавляют иммуносупрессивные сигналы раковых клеток, и иммунная система вновь обретает способность к нормальному функционированию.



Лекарственный препарат состоит из искусственных антител, убирающих препятствия на пути к опухоли, которые создают раковые клетки.

Как иммунотерапия помогает бороться с солидными опухолями

Опухоли кожи, легких и других органов называют солидными, поскольку составляющие их клетки образуют плотную массу, которая создает вокруг себя защитную оболочку. Ингибиторы контрольно-пропускной системы разрушают ее. У каждого пятого участника клинических испытаний с метастазирующим раком кожи в результате иммунотерапии такого рода наступало излечение.

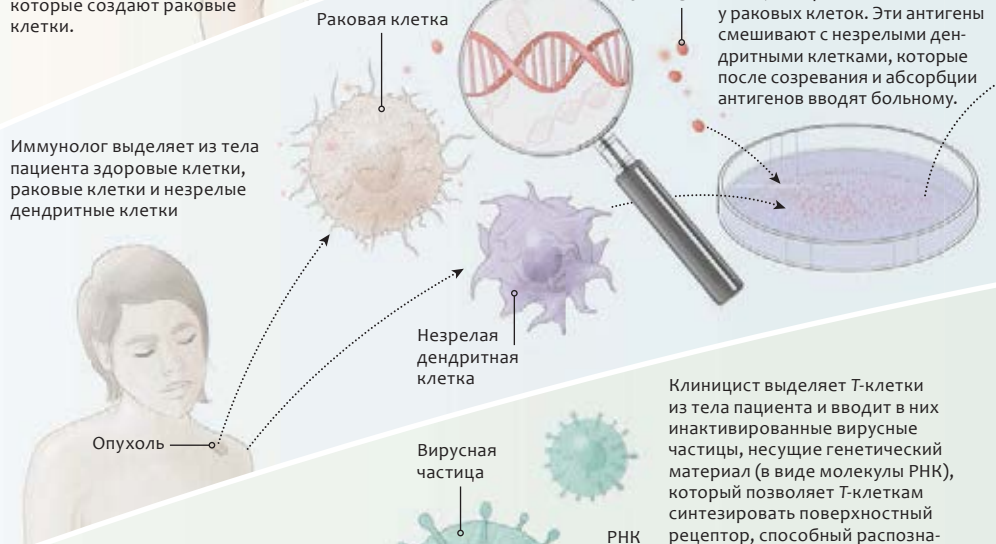
Белок контрольно-пропускной системы

Поверхностный опухолевый белок, «усмиряющий» Т-клетки

Многие раковые клетки избегают иммунной реакции, размещая на своей поверхности специфические белки, которые посылают находящимся по соседству с опухолью Т-клеткам сигналы об отмене перехода на следующую стадию активации, и, по существу, те оставляют опухоль в покое.

Вакцина на основе дендритных клеток

Дендритные клетки патрулируют все органы и ткани организма в поисках чужеродных агентов (антигенов). Они предъявляют эти антигены другим элементам иммунной системы — CD4+ и CD8+ Т-клеткам. Последние атакуют любые другие клетки, несущие целевой антиген. Подобранные антигены, располагающиеся на поверхности только раковых (но не здоровых) клеток, их смешивают с дендритными клетками пациента и вводят смесь в организм больного. Такая своего рода вакцина отыскивает и разрушает раковые клетки в течение нескольких лет.



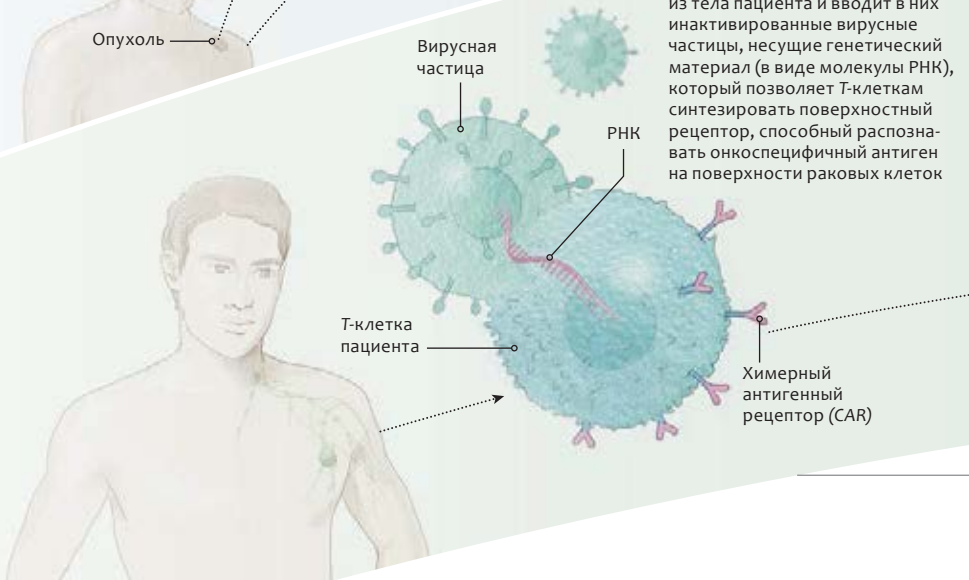
Сравнивая генетические «отпечатки пальцев» (нуклеотидные последовательности ДНК) раковых и нормальных клеток, получают информацию об антигенах, которые есть только у раковых клеток. Эти антигены смешивают с незрелыми дендритными клетками, которые после созревания и абсорбции антигенов вводят больному.

Иммунолог выделяет из тела пациента здоровые клетки, раковые клетки и незрелые дендритные клетки

Клиницист выделяет Т-клетки из тела пациента и вводит в них инактивированные вирусные частицы, несущие генетический материал (в виде молекулы РНК), который позволяет Т-клеткам синтезировать поверхностный рецептор, способный распознавать онкоспецифичный антиген на поверхности раковых клеток

CAR-T-клетки

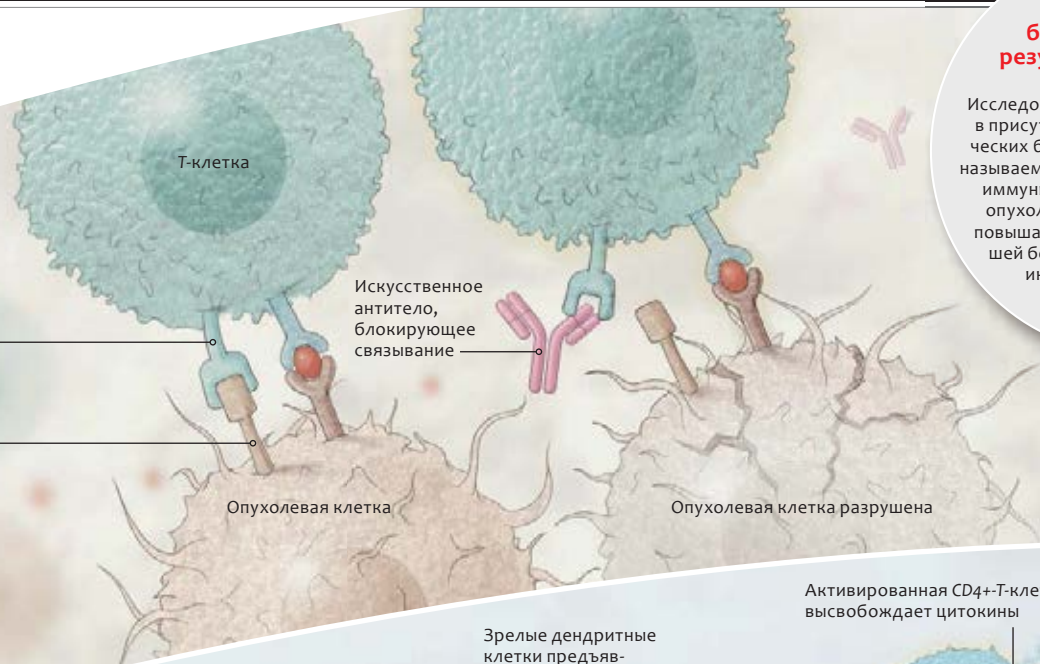
Т-клетки, несущие химерный антигенный рецептор (*chimeric antigen receptor*, CAR), обладают свойствами иммунных клеток двух типов: Т и В. CAR-белок придает этой необычной клетке способность присоединяться к специфическим антигенам и разрушать любые клетки, которые их содержат. Это устраняет промежуточные этапы в функционировании В- и Т-клеток и делает CAR-T-клетки практически неостановимыми.



Могут ли кишечные бактерии повысить результативность иммунотерапии?

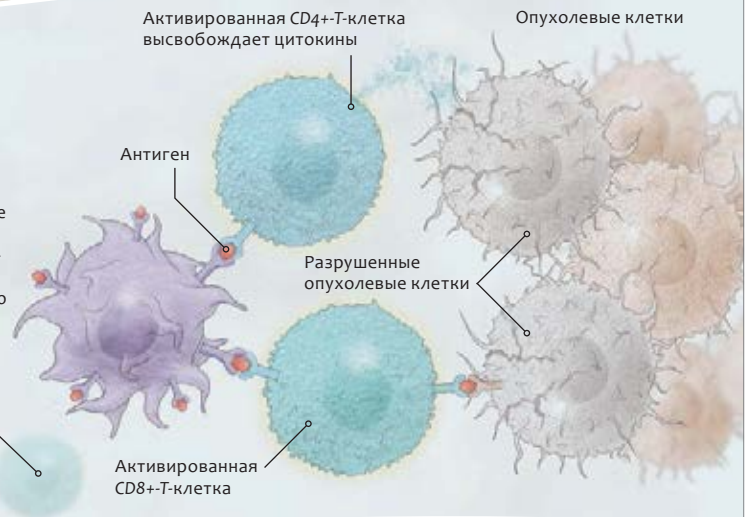
Исследования на мышах показали, что в присутствии в кишечнике специфических бактерий (представителей так называемого микробиома) способность иммунной системы замедлять рост опухолей некоторых видов может повышаться. Кроме того, у таких мышей более эффективно работают ингибиторы контрольно-пропускной системы.

Блокируя взаимодействие опухолевых клеток с контрольно-пропускной системой для Т-клеток, ингибиторы последней создают условия для атаки на опухоль с новой силой.



Зрелые дендритные клетки предъявляют онкоспецифичные антигены CD4+Т-клеткам (которые в ответ высвобождают иммуностимулирующие агенты — цитокины) и CD8+Т-клеткам (которые теперь могут находить и напрямую атаковать несущие данный антиген опухолевые клетки).

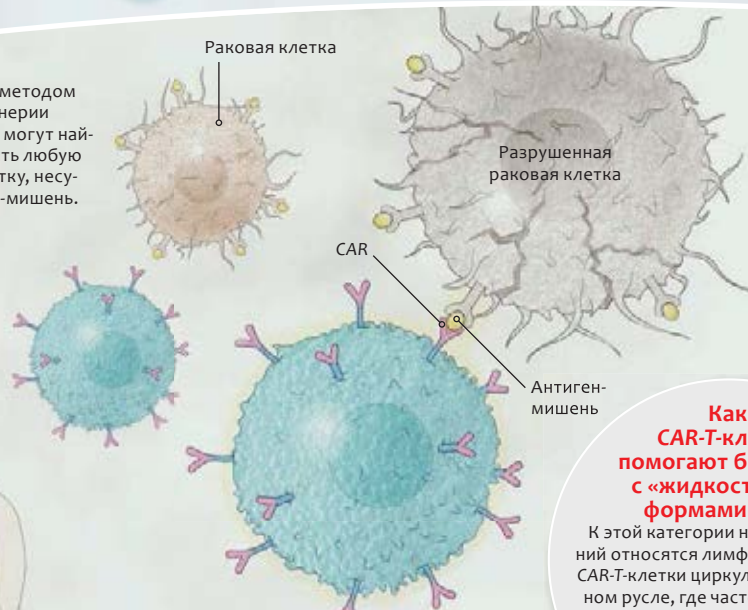
CD8+Т-клетка



Вакцина на основе зрелых дендритных клеток

Полученные методом генной инженерии CAR-Т-клетки могут найти и разрушить любую раковую клетку, несущую антиген-мишень.

Т-клетки, несущие CAR



Как CAR-Т-клетки помогают бороться с «жидкостными» формами рака?

К этой категории новообразований относятся лимфомы и лейкозы. CAR-Т-клетки циркулируют в кровяном русле, где часто встречаются малигнизированные клетки этого типа, и в 90% случаев полностью освобождают от них организм больного.



Цитокиновый шторм налетел на организм Келер неожиданно и с огромной силой. Все то время, пока ей вводили модифицированные T-клетки, она чувствовала себя ужасно. Ее поместили в блок интенсивной терапии, где она пробыла восемь суток, находясь в коме. Что с ней происходило все это время — она не помнила, но могла рассказать о галлюцинациях, преследовавших ее в течение последующих нескольких дней: она неустанно просила обслуживающий персонал помочь упаковать ланч для двух знаменитых игроков в гольф. Келер была страстной поклонницей этого вида спорта с 1999 г. и в конце концов вышла замуж за одного из спортсменов.

В начале марта Келер выписали из клиники. Она была еще очень слаба, но быстро набирала силы. В пробах костного мозга не обнаруживалось никаких следов рака, а спустя три недели она уже играла с мужем в гольф. Цитокиновый шторм был ужасен, но, в отличие от химиотерапии, не оставил

никаких последствий в виде, скажем, облысения. Теперь врачи начинают выяснять, какой силы он должен быть, чтобы получить максимальный эффект без угрозы для жизни.

CAR-T-терапия подбирается индивидуально для каждого больного. Вариант «один препарат для всех форм лейкоза или лимфомы» нереален. Вдобавок ко всему лечение обходится крайне дорого, хотя во сколько именно — пока говорить рано: до сих пор CAR-T-клетки получали в небольших количествах в исследовательских целях. Роберт Прети (Robert Preti), основатель компании *Progenitor Cell Therapy (PCT)*, занимающейся получением CAR-T, пытается усовершенствовать производственный процесс. Он полагает, что это в основном инженерная задача, которую удастся решить через несколько лет в результате упорной работы.

Другой, не менее важный шаг, который должна сделать CAR-T-терапия, — перейти к атаке на солидные опухоли — более или менее плотные

БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ

Некоторые виды кишечных бактерий повышают сопротивляемость организма возникновению и развитию рака

Мария-Луиза Алегре и Томас Гаевски



Мария-Луиза Алегре (Maria-Luisa Alegre) — профессор медицины; работает на медицинском факультете Чикагского университета.

Томас Гаевски (Thomas F. Gajewski) — профессор факультета патологии и медицины Чикагского университета.

Почему на одних пациентов новые методы противораковой иммунотерапии оказывают положительное действие, а на других не действуют совсем? Возможно, одна из причин такого различия кроется в генетике опухоли и самого пациента. Результаты исследований, проведенных нами и другими микробиологами, свидетельствуют о том, что определенную роль могут играть различия в микробиоме пациентов — популяции полезных бактерий, обитающих в разных частях нашего тела.

Эти бактериальные сообщества, и в первую очередь те, которые населяют кишечник, различаются по составу. Некоторые бактерии оказывают стимулирующее действие на иммунную систему, в частности

на воспалительную реакцию, и те, у кого они есть, получают преимущество. (Заметим, что механизм действия таких бактерий до конца не изучен.) Другие бактерии вызывают слишком бурную воспалительную реакцию (в результате происходит малигнизация нормальных клеток организма) или направляют иммунную систему по неверному пути, и она начинает атаковать здоровые ткани (как при ревматоидном артрите).

Иногда бактерии запускают ответ организма на терапию. Наша группа, работающая в Чикагском университете, использовала в своих экспериментах генетически идентичных лабораторных мышей, но с разными микробиомами, поскольку они содержались в разных условиях. Мышам обеих групп ввели меланомные клетки и стали наблюдать за развитием патологического процесса. У животных из разных групп скорость роста опухолей была неодинаковой, и те, у которых процесс был замедлен, демонстрировали более мощный иммунный ответ. Когда их микробиом трансплантировали мышам из другой группы (для этого фекалии одних животных перенесли другим), у тех рост опухолей замедлился.

Проанализировав ДНК фекалий грызунов из разных групп, мы обнаружили два вида бактерий рода *Bifidobacterium*, по-видимому ответственных за повышенную противоопухолевую активность своих хозяев. Примечательно, что скормливания

мышам только одного штамма — либо *B. longum*, либо *B. breve* — было достаточно для стимуляции иммунной системы и замедления роста опухолей. Присутствие этих полезных штаммов сказывалось положительно и на действенности нового иммунотерапевтического средства, так называемого ингибитора контрольно-пропускной системы. Мыши, получавшие ингибитор и один из указанных штаммов *Bifidobacterium*, полностью излечились. У грызунов, не получавших бактерии, излечение было частичным.

Другая группа исследователей, в основном из Франции, провела аналогичный эксперимент с применением другого ингибитора. По их данным, бактерии рода *Bacteroides* помогли экспериментальным животным избавиться от инъецированных опухолевых клеток. Если животным скормливали антибиотик, уничтожающий указанные бактерии, то результативность противоопухолевого препарата становилась ничтожно малой. Это заставляет клиницистов задуматься о том, каков эффект антибиотиков, принимаемых онкологическими больными. Результаты исследователей из Франции и Чикаго опубликованы в ноябрьском номере журнала *Science* за 2015 г.

Совершенно очевидно, что прежде чем рекомендовать к применению для лечения онкологических больных те или иные бактерии, мы должны систематизировать человеческий микробиом и оценить его противоопухолевый потенциал. Хотя бактерии рода *Bifidobacterium*, по-видимому, будут давать положительный эффект, другие штаммы могут только ухудшать ситуацию. (Употребление йогурта в помощь иммунотерапии вряд ли целесообразно. Йогурт обычно содержит бактерии *Bifidobacterium lactis* или *Bifidobacterium bifidum*, действие которых может отличаться от такового тех бактерий, которые использовались в опытах на мышках.)

новообразования в молочной железе, предстательной железе, легких и других органах. По словам Айры Меллмана (Ira Mellman), вице-президента компании *Genentech*, одна из проблем заключается в том, что *CAR-T*-клеткам приходится довольно долго блуждать по кровеносным сосудам в поисках мишени в отличие от случаев с жидкими системами — кровью или лимфой. Что еще более важно: в солидных опухолях нет клеток, аналогичных *B*-клеткам, без которых организм может обойтись.

Твердое состояние

Солидные опухоли обычно окутаны сетью из соединительной и других тканей, что затрудняет проникновение *CAR-T*-клеток внутрь. Кроме того, давление в опухоли выше, чем снаружи, в результате химические сигнальные молекулы, с помощью которых иммунная система «маркирует» аномальные клетки, выталкиваются наружу.

Но и у этих опухолей есть уязвимые места. В 2011 г. *FDA* дала добро на применение моноклонального тела под названием «ипилимумаб» для лечения больных с метастазирующей меланомой. В отличие от традиционной терапии препарат не предназначался для прямого уничтожения раковых клеток. Вместо этого он отпускал биологические «тормоза», которыми отдельные формы рака сдерживают иммунную систему, и вследствие этого последняя начинала работать более эффективно.

У меланомы есть одна крайне опасная особенность: она может вводить в заблуждение иммунную систему. У кластеров раковых клеток солидных опухолей имеется обширный ассортимент причудливой формы белков, по которым *T*-клетки должны были бы обнаружить опухоль, окружить ее со всех сторон и разрушить, прежде чем она начнет разрастаться. Но каждая нарождающаяся опухоль находит способ выработать химический сигнал, направленный наружу, который сообщает *T*-клеткам, что здесь все в порядке и никакого повода для нападения нет.

Фактически раковые клетки копируют нормальное поведение иммунной системы: запуск механизма страховки, который притормаживает разбушевавшиеся иммунные клетки, прежде чем они начнут разрушать здоровые ткани. Что еще более интересно — этот страховочный механизм включает систему контрольно-пропускных пунктов (ворот), которые либо помогают клеткам системы защиты в их атакующих действиях, либо дают им «от ворот поворот» — в зависимости от характера поступившего химического сигнала. (Если вдруг систему контрольно-пропускных пунктов заклинит и она все время будет находиться в положении «открыто», то иммунная система погубит больного скорее, чем это сделает рак.) Синтезируя белки, которые блокируют работу контрольно-пропускных пунктов, раковые клетки не позволяют иммунной системе начать атаку на опухоль. Если инактивировать

белки с помощью ипилимумаба или другого ингибитора, иммунные клетки смогут поразить цель.

Ипилимумаб довольно быстро получил разрешение *FDA* на применение для борьбы с раком легких и меланомой, и фармацевтические компании занялись разработкой других препаратов с таким же механизмом действия. Бывший президент США Джими Картер, у которого меланома дала метастазы в головной мозг, в возрасте 91 года испытал на себе действие одного из них, пембролизумаба; в конце 2015 г. в его теле не осталось раковых клеток.

У Бойер с таким же диагнозом и такой же схемой лечения никакого эффекта не наблюдалось. Это еще одна загадка в поведении опухолей. Высказывалось мнение, что Картеру помог возраст. У таких больных раковые клетки накопили множество мутаций, и иммунной системе нужно совсем немного, чтобы активировать уже присутствующие в окружении опухоли *T*-клетки. У некоторых больных *T*-клетки ни при каких условиях не смогут выполнить свою работу, так что разблокирование ничего не дает. В других случаях *T*-клетки находятся в надлежащем месте, но препарат не работает — возможно, потому что необходимо преодолеть множество каких-то препятствий. Судя по данным статьи, опубликованной в 2015 г. в *New England Journal of Medicine*, результативность метода повышается, если использовать не один ингибитор контрольно-пропускной системы, а два.

Прогнозы относительно эффективности разных ингибиторов или их комбинаций для разных пациентов весьма неопределенны, так что Бойер и другим таким же пациентам придется смириться с лечением их методом проб и ошибок. На сегодня всего 20% участников клинических испытаний с метастазирующей меланомой полностью излечились после прохождения курсов терапии с применением ингибиторов контрольно-пропускных систем; у чуть более половины больных наблюдалось небольшое улучшение. Чтобы проиллюстрировать, насколько непредсказуемо поведение опухолей, отметим, что некоторые из них, привлекая совсем небольшое число *T*-клеток, реагируют на терапию, а другие, «обросшие» *T*-клетками, абсолютно нечувствительны к ней. Видимо, рак использует какие-то трюки, о которых мы ничего не знаем.

Все это вынуждает лечащих врачей прибегать к методу проб и ошибок, как в случае с Бойер. Через два года после удаления родинки на шее, переродившейся в рак, ей сообщили, что меланома вернулась и распространилась на легкие и область груди. Поскольку теперь хирурги сделать ничего не могли, в 2013 г. больной предложили принять участие в клинических испытаниях с введением высоких доз интерлейкина-2 (*IL-2*), одного из множества сигнальных соединений, которые активируют иммунную систему. Вначале рост опухоли остановился, но через три месяца сканирование показало, что процесс возобновился.

Бойер приняла участие во вторых клинических испытаниях, на этот раз с применением недавно одобренного ингибитора контрольно-пропускной системы ипилимумаба и другого интерлейкина, *IL-21*. Однако через несколько недель появились такие побочные эффекты последнего, как диарея, рвота и невыносимая боль. Инъекции *IL-21* пришлось прекратить, однако ипилимумаб Бойер продолжала получать. К концу 2013 г. некоторые меланомные пятна начали расширяться, и было принято решение применить лучевую терапию. К весне следующего года несколько пятен уменьшилось, но на голове и груди появились новые.

Образования на груди удалили хирургическим путем, а два курса иммунотерапии стабилизировали остальные. К январю 2015 г. стало ясно, однако, что необходимо сменить тактику — начали появляться новые образования на голове, груди и животе. Через месяц Бойер стала участником еще одного клинического испытания с применением другого ингибитора и препарата, предположительно подавляющего рост опухолей. Пока эта статья готовилась к печати, меланомные пятна оставались стабильными, а некоторые даже уменьшились.

Нечего и говорить, что многочисленные курсы терапии сильно ослабили Мишель. Чтобы дать отдых спине, она ночью и большую часть дня проводила в мягком кресле в полужелезном положении. Тем не менее по утрам она ходила на работу в свободные от лечения дни, иногда играла в компьютерные игры. Она не жалела о том, что всякий раз шла на новый эксперимент. «Думаю, некоторые из курсов терапии хотя бы чуть-чуть сдерживают процесс», — говорит она. Как-то раз один из врачей сказал Мишель: «Та партия игры с меланомой, которую мы ведем, не ставит своей целью найти правильное лечение прямо сейчас; нужно, чтобы вы оставались в живых достаточно долго — до тех пор, пока мы его не найдем». И вот она жива и принимает то качество жизни, которое выпало на ее долю.

Глядя в будущее

Тот факт, что Бойер и другие больные с таким же диагнозом живут на фоне иммунотерапии достаточно долго, воодушевил Меллмана, вице-президента компании *Genentech*. По его словам, научные исследования в области иммунологии воплощаются в реальные успехи иммунотерапии. Теперь нет повода для беспокойства о ее результативности и можно сосредоточиться на усовершенствовании метода. «Нам нужно нащупать границы его применимости и научиться действовать в их пределах, — говорит Меллман, — и это невероятно увлекательное занятие для ученого».

В конце концов вопрос выбора той или иной схемы иммунотерапии приобретает логическую основу. Больной с солидной опухолью прежде всего должен пройти биопсию на предмет наличия в опухоли

T-клеток. Если этих клеток достаточно, ему скорее всего будет назначен курс лечения с применением одного или более ингибиторов контрольно-пропускной системы. (На сегодня *FDA* одобрила применение трех ингибиторов, но на подходе множество других.) Если опухоль еще не обросла достаточно большим числом T-клеток, можно прибегнуть к повышению активности иммунной системы в этом конкретном направлении и привлечению ее внимания к аномально быстро растущему объекту.

Не остаются в стороне и традиционные методы — лучевая и химиотерапия. При уничтожении некоторого количества опухолевых клеток облучением в меньших, чем обычно, дозах или введением уменьшенных количеств химиопрепарата образуется множество клеточных осколков (дебриса), что побуждает иммунную систему посылать T-клетки в те места, где еще происходит аномально быстрый рост. (Здесь особенно трудно соблюдать необходимый баланс, поскольку лучевая и химиотерапия, как известно, ослабляют иммунитет.) Далее для того, чтобы не позволить ослабленной опухоли восстановиться силы, имеет смысл провести терапию с применением ингибиторов контрольно-пропускной системы. Такая тактика лечения находится на ранних стадиях проверки.

И, наконец, еще один важный момент: чем больше иммунотерапевтических методов получает одобрение *FDA*, тем чаще встает вопрос немедицинского характера: цена. Комбинация разных вариантов данных методов поднимает стоимость лечения, которая и так высока. Согласно оценке *IMS Health*, компании, занимающейся анализом медицинских данных, мировой рынок противораковых средств приближается к \$100 млрд в год; руководители фармацевтических фирм заявляют, что страховые агентства и больные не смогут бесконечно оплачивать комбинированную терапию, которая уже близка к \$150 тыс. на одного пациента. Вся надежда — на удешевление производства, уменьшение доз препаратов и укорочение курсов.

Даже в сегодняшнем виде иммунологические методы терапии далеки от совершенства. У Келер до сих пор сохраняются нежелательные последствия. Она устает быстрее, чем раньше. Если она идет на ланч с друзьями, у нее уже не остается сил на вечернюю прогулку с мужем. «Что меня тревожит сегодня больше всего — как долго я еще смогу держаться», — говорит она. Пока она по-прежнему играет в гольф, совершает пешие прогулки или ходит на лыжах, если позволяет погода. Помня о том, какое удовольствие ей доставляли собаки, навещавшие ее в клинике, она берет с собой своего золотистого ретривера в местный институт, чтобы снять предэкзамениционный стресс у студентов. Врачи верят, что вскоре иммунотерапия позволит вести полноценную жизнь многим другим их пациентам. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

По следам вируса Зика

Вирус Зика, переносчиком которого служат комары, попадает в США из самых разных стран

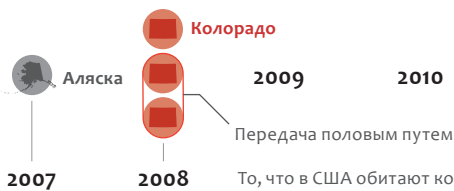
Дина Файн Марон

Информация о вирусе Зика появилась в международных новостях внезапно и сопровождалась оповещениями об опасных для туристов регионах, душераздирающими фотографиями детей с врожденными дефектами и связанных с ними аутоиммунными заболеваниями, которые могут вызывать паралич. Впервые этот вирус был обнаружен в 2007 г. на острове Яп в Микронезии; тогда американский врач-волонтер заразился во время вспышки заболевания в этой стране, а по возвращении на Аляску уже оказался болен. С тех пор в США было зафиксировано более 50 подобных случаев. Практически все пациенты подхватили вирус где-то за рубежом, однако по меньшей мере два инцидента произошли в результате половых контактов.

Поскольку Центры по контролю и профилактике заболеваний США не представили обстоятельного анализа ситуации с распространенностью вируса Зика, *Scientific American* решил взять эту функцию на себя. Мы собрали данные по всем 50 штатам и округу Колумбия, а также некоторым округам и городам, и в итоге составили уникальную карту, демонстрирующую, как вирус Зика оказался на территории США.

Перевод: С.Э. Шафрановский

Число зафиксированных случаев заболевания лихорадкой Зика в США на 8 февраля 2016 г.



То, что в США обитают комары *Aedes* — переносчики вируса Зика, не говорит о неизбежности крупных локальных вспышек заболевания в 2016 г. Вирусу Чикунгунья, который также переносят комары *Aedes*, потребовалось семь лет, чтобы вызвать локальную вспышку: первый инцидент был выявлен в 2006 г. и связан с человеком, вернувшимся из другой страны.

Со времени обнаружения вируса Зика в мае 2015 г. в Бразилии он распространился по более чем 30 странам и регионам по всему миру (в основном в Центральной и Южной Америке), и американские туристы принесли его к себе на родину из десятка разных мест. До 2007 г. на планете было задокументировано по меньшей мере 14 случаев заболевания лихорадкой Зика, но скорее всего гораздо больше не попали в поле зрения и не были зафиксированы. По прогнозам Всемирной организации здравоохранения, в 2016 г. ожидается от 3 до 4 млн случаев заражения, хотя многие из них будут бессимптомными. ВОЗ утверждает, что вирус Зика может появиться во всех регионах Северной и Южной Америки за исключением Канады и континентальной части Чили — единственных территорий, где не обитают комары-переносчики.



Единственный случай передачи вируса Зика в США в результате полового контакта во время нынешней вспышки заболевания произошел в Техасе. Однако федеральные и местные органы здравоохранения больше обеспокоены перспективами будущих вспышек заболевания в США, передаваемого комарами, которые обитают на территории страны.



на 8 февраля 2016 г.

SOURCE: U.S. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (countries with active transmission) Map by Mapping Specialists, Graphic by Jen Christensen



Академик
**Ростислав
Карпов**

«Как же бьется сердце Сибири?»»

«Дерево опирается на корень, человек — на сердце». В свои афоризмы китайские мудрецы вкладывали несколько смыслов. В данном случае они имели в виду человеческую доброту: мол, только она способна сделать жизнь лучше, богаче, интересней. Жаль, что они мало знали о болезнях сердцах, иначе их образное выражение заиграло бы еще одной гранью — медицинской.

«Сердце и доброта» — именно такой эпиграф я ставлю к рассказу об академике **Ростиславе Сергеевиче Карпове**, с которым мне довелось познакомиться во время церемоний, связанных с Демидовскими премиями. Именно ее был удостоен в 2015 г. выдающийся кардиолог из Томска.

В институте я расспрашивал сотрудников о главной черте характера лауреата. Отвечали по-разному, но смысл был один. Его очень точно сформулировала главный врач клиники НИИ кардиологии Елена Викторовна Ефимова: «Как и большинство здесь, я ученица Ростислава Сергеевича. Его главный девиз: "Больное сердце можно лечить только добрым сердцем". Лишь в этом случае лечение будет по-настоящему эффективным. Можно научить профессии, а вот научить доброте — на это способен только Ростислав Сергеевич. Это фундамент, на котором вырос наш институт».

— **Как закладывались первые кирпичи в этот фундамент? Как все начиналось?**

— Мой отец Сергей Петрович Карпов был академиком, но гордился тем, что происходит из казачьего сословия. Хотя, честно говоря, это скорее легенда, чем правда, никаких доказательств такого происхождения нашей семьи нет. Мы коренные сибиряки. Династия врачей Карповых сложилась в Томске. Первым в ней был брат моего деда, у которого воспитывался мой отец. Мама тоже врач.

Дочь — профессор, заведует кафедрой микробиологии, той самой, которой заведовал ее дедушка. В Томске есть улица Карпова, названная в честь Сергея Петровича Карпова.

— **Можно ли сказать, что именно в Томске наиболее благоприятные условия, чтобы складывались такие научные семейные кланы?**

— Да, это семейные традиции, причем не только Карповых, но и многих других. Наверное, это связано с тем, что у нас старый университет, основанный в позапрошлом веке.

— **Своего первого пациента помните?**

— Самого первого — нет. Но несколько первых пациентов осталось в памяти. Молодая красивая девушка поступила с острым лейкозом. Тогда не было специализированных отделений. Это был 1960 г. — и в тот период это была неизлечимая патология. Сейчас многих пациентов спасают, а тогда нет. Та девушка мне запомнилась, т.к. я лечил ее до конца. Тогда было мало методов лечения, облегчение давало только переливание крови. Процедурная сестра была у нас очень опытная. Мы приходили и в воскресные дни, и в праздничные. Приходил академик Дмитрий Дмитриевич Яблоков, мой учитель. Старались чем-то помочь, спасти эту девушку, но возможностей у нас не было. Ее лицо и сейчас перед моими глазами... Потом была пациентка с более хорошим результатом. Она поступила с очень низким гемоглобином,

Мысли вслух

«В 1880 г. был заложен Томский государственный университет, первое высшее учебное заведение на востоке Российской империи, и вот ровно через 100 лет положена основа академическому научно-медицинскому центру в Томске. Конечно же, появилось чувство гордости за современников и определенной причастности к этому историческому событию. Вместе с тем мы понимали и всю меру ответственности. Была поставлена задача сохранить и постараться развить замечательные традиции томской научно-клинической школы М.Г. Курлова, Д.Д. Яблокова, Э.Г. Селищева, А.Г. Савиных и других блестящих представителей сибирской медицины. Это были годы начала высокого технического прогресса в кардиологии».

«В клинике нас приучили много трудиться. Аспиранты, ассистенты всегда курировали больных, дежурили по скорой помощи, выезжали в районы области в плановом порядке и по санавиации, консультировали другие клиники, вели консультативные приемы в поликлиниках города. И почти все это в пределах должностных обязанностей, без дополнительной оплаты. Нас не на словах, а личным примером воспитывали в полном соответствии с клятвой Гиппократова. За пациентом никогда не шли деньги, была реальная и качественная бесплатная медицинская помощь. Для профессора все больные были равны независимо от должностного положения в обществе. Помнится, когда я уже заведовал клиникой, главный врач решил сделать палату-люкс и сообщил об этом Д.Д. Яблокову. Профессор был крайне возмущен, я никогда до этого не слышал от него таких резких слов. Он сказал: "Пока я здесь, никаких люксов не будет, для меня все больные одинаковы, а лечить их мы должны сообразно болезни, а не должности. Ремонт же всей клиники сделать необходимо"».

с неясной причиной анемии. Эту пациентку удалось вывести из крайне тяжелого состояния, и с той же процедурной сестрой Зинаидой Алексеевной Гавриловой мы спасли ее. Многие годы она поздравляла меня со всеми праздниками, фотографии свои присылала. Жизнь у нее потом сложилась хорошо. Это из самых первых пациентов, которые запомнились. Запомнилось и первое дежурство по скорой помощи.

— То есть вы начали с общих заболеваний?

— Я вырос во дворе Института вакцин и сывороток, а потому активно занимался научными исследованиями — сначала микробиологией у отца, а потом уже у Яблокова. Прежде всего поразила личность самого Дмитрия Дмитриевича — блестящего врача-гуманиста. Когда я тогда учился на четвертом курсе, начал заниматься в кружке терапевтической клиники. Окончил институт с отличием. Меня хотели зачислить в ординатуру, но этого не случилось, т.к. я был сыном профессора. Считалось, что такие дети сначала должны поработать в практическом здравоохранении, а потом уже заниматься наукой. Я был назначен разъездным терапевтом, но мой учитель добился, чтобы меня оставили в клинике при факультете. Здесь я

и проработал от врача до заведующего кафедрой. Это знаменитая кафедра — первая терапевтическая в Сибири и на Дальнем Востоке. Она принадлежит к школе С.П. Боткина. До сих пор я остаюсь заведующим кафедрой по совместительству.

— всю жизнь на этой кафедре?

— Да, всю жизнь. Я и считаю себя терапевтом. Больше всего люблю консультировать именно терапевтических больных. В кардиологии сегодня технологии столь высоки, что изменили суть врачебной помощи. У нас сложности не столько с диагнозом, сколько с методами лечения — как, используя самые высокие технологии, лечить больного. А в терапии каждый раз сплошной ребус. Сложнейшие пациенты встречаются. Они одной болезнью не болеют...

— Но все-таки ваше имя связано с кардиологией?

— В 1979 г. мне предложили создать филиал кардиологического центра. Я занимался в те годы ревматологией, она же тесно связана с кардиологией. Она во многом начиналась с ревматизма сердца. И такой институт предполагалось создать в Томске. В это время Л.И. Брежнев проехал по Сибири. В результате вышло Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о развитии науки на востоке страны. По инициативе академика Н.Н. Блохина у нас создается Институт онкологии. И в это же время формировалась кардиологическая служба. Ее инициатором был академик Е.И. Чазов. Понятно было, что в Томске нужен Институт кардиологии. Туда меня и решили привлечь. Я отказался, меня начали агитировать, да и выяснилось, что Институт ревматологии создать в тех условиях не удастся. Так я попал в кардиологи, хотя занимался в основном ревматизмом сердца, считался ведущим специалистом именно в этой области.

В Томске начали формироваться институты клинического профиля, где наука переплетена с лечением. В приказе министра Бориса Васильевича Петровского об этом было сказано прямо и четко: надо обеспечить Сибирь и Дальний Восток эффективной кардиологической помощью, создать специальную службу. К сожалению, на востоке страны практической кардиологической службы не было. Например, в Томске не было ни ультразвуковой диагностики, ни компьютерных топографов. Однако уже в то время мы начали лечить инфаркт миокарда — растворять тромб. И одним из пионеров мирового масштаба был Евгений Иванович Чазов. Фибролизин, один из первых тромболитиков, был создан в нашей стране, и академик Чазов впервые в мире ввел его внутрь в коронарную артерию через катетер. И таким образом тромб был растворен, кровоток был восстановлен. Это достижение вошло в историю кардиологической мировой науки. Я прекрасно понимал, что мы должны создать кардиологическую службу, которая использовала бы последние достижения



Магнитно-резонансная томография сердца позволяет наиболее точно поставить диагноз (вверху); Ростислав Сергеевич Карпов осматривает пациента (справа)



мировой науки. Уже в 1981–1982 гг. у нас началась регулярная круглосуточная коронарография. Мы начали вводить препараты, растворяющие тромбы, внутрь артерий и сосудов. Нам стало понятно, что есть «золотой час». Чем раньше введешь лекарство, тем эффективней растворяется тромб. К сожалению, пациенты к нам обращаются слишком поздно. Поэтому мы одновременно с Москвой начали вводить препараты на догоспитальном этапе. Как только ставится диагноз, тут же в условиях скорой помощи вводится тромболитик.

— Скорая помощь по Сибири? Это же нереально!

— Конечно, это возможно в условиях Томска и крупных городов. Причем была разработана оригинальная методика, которая предусматривает быстрое введение препарата, — ведь капельницу на несколько часов в условиях скорой помощи не поставишь. Вводилась половинная доза препарата, и метод оказался весьма эффективным. Он использовался во всех регионах Сибири, а потом и в других местах, в частности в Болгарии. Я там был, поскольку я член Болгарского кардиологического общества, и мне демонстрировали использование нашего метода борьбы с инфарктами. Но за час-другой из болот и тайги не доедешь до клиники, а потому надо было придумывать нечто принципиально новое, что могло бы помочь сибирякам. Мы разработали следующую стратегию: на первом этапе, до госпиталя, даже фельдшер сегодня имеет право ввести тромболитик. Это можно сделать в сельской больнице, в фельдшерском пункте — везде, где есть специалист. Но потом этого пациента надо транспортировать в клинику, где делается отсроченная ангиопластика и проводится необходимое лечение.

— Вы искали разные методы кардиологической помощи, которые можно было применять в условиях Сибири?

— У нас в Сибири два-три человека на квадратный километр, а на Дальнем Востоке вообще один человек. А в Красноярском крае есть огромные регионы, где один человек на десятки квадратных километров. Как в таких условиях организовать эффективную медицинскую помощь?! Поэтому было решено довести до них хотя бы консультативную помощь — в то время еще не было таких телекоммуникаций, как сейчас. Мы предложили мобильные системы. В советское время многое можно было сделать очень быстро. Мы обратились к министру речного флота, он выделил нам бесплатно теплоход, который в Томске на судовой верфи по нашему проекту был переоборудован в специальный диагностический комплекс, где уже было современное оборудование.

— Вы на нем ходили?

— Конечно. По Оби до Колпашева, это север Томской области. В первом рейсе я был участником, консультировал пациентов. Читал лекции, просвещали население. Надо было самому убедиться, насколько полезна и важна данная экспедиция. Люди очень активно посещали теплоход. Его приход в тот или иной поселок всегда становился событием. Нам приходилось работать с утра до вечера, т.к. пациентов было очень много. Мы поняли, насколько необходима такая система медицинской помощи. Была специальная коллегия, которая одобрила наш опыт. Появились специальные кардиологические автобусы, а потом поехали поезда в Новосибирск

Мысли вслух

«Невозможно даже приблизительно подсчитать, какое количество больных пролечил или проконсультировал я за прошедшие годы работы врачом, ассистентом, доцентом, профессором, заведующим кафедрой и, наконец, директором Института кардиологии. Многим приходилось заниматься, но вот врачевание я не прекращал никогда. Впрочем, это необходимо. Есть неписанное правило: если хирург не делает сотни операций в год, он теряет квалификацию, то же самое и терапевт. Хороший врач-диагност должен постоянно работать с больными, иначе теряются навыки таких важных и сейчас, в век замечательных компьютерных технологий, методов непосредственного исследования больных (аускультации, пальпации, перкуссии). Иммануилу Канту принадлежат слова: "Учить надо не мыслям, учить надо мыслить". Это в полной мере касается нашей профессии».

«При формировании Института кардиологии нам всегда везло на больших энтузиастов профессии и хороших доброжелательных людей. Наукой нельзя хотеть заниматься, ей надо обязательно увлечься, может быть даже заболеть. Только ученые-энтузиасты, а нередко фанатики, достигают весомых результатов, ибо они фактически живут наукой, своей профессией, работая часто за мизерное вознаграждение или даже без него. Наука — это творчество, как и искусство, поэзия, живопись. Она не знает регламента времени, большие ученые посвящают ей жизнь».

и Красноярске. Система начала активно внедряться. В Томске в областном управлении появился первый отдел мобильной кардиологической помощи. Впрочем, не только нашей, но и в целом медицинской.

— А какова судьба парохода «Кардиолог»?

— К сожалению, его сожгли. Несколько лет он очень активно работал, но когда в стране начался беспредел, его отдали в аренду и начали организовывать на нем разные увеселительные поездки. В одной из них его и сожгли. Печален конец «Кардиолога», но методика оказания кардиологической помощи, разработанная на нем, осталась. Кстати,

в Томске сегодня работает плавучая поликлиника, и я считаю ее прямым потомком нашего «Кардиолога». Правда, она частная. Ее финансирует «Газпром», но во время своих рейсов она обслуживает все население, а не только работников «Газпрома». Власть Томска активно поддерживает эту поликлинику, и это правильно. Так что наша научная разработка, касающаяся создания мобильных систем кардиологической помощи, живет и развивается, но для нас это уже прошлое.

— Мне довелось побывать в клинике. Заметил, что у вас специалисты разного возраста, но все говорят, что они ученики Карпова. Счет идет уже не на единицы, а на поколения?

— В первые годы работы были не только ученики, но и соратники. Бюст Евгения Евгеньевича Пекарского установлен на входе в институт. Это наш выдающийся кардиохирург, академик. Очень творческая личность. Мы с ним учились в одной группе. Так что и его учеников у нас много. Были соратники, которые вместе со мной поднимали наш кардиологический центр. Да, первые доктора наук — это в основном мои ученики. Я подготовил более 100 докторов и кандидатов наук.

— Школа — это обязательная традиция в медицине?

— Есть разные мнения. Я же считаю, что школа — это великое достижение не только в медицине, но и в науке в целом. Вот, например, Томск. Здесь за пять лет было создано пять институтов. И это потому, что здесь были научные школы, которые смогли сразу дать нужное количество квалифицированных специалистов. Они были воспитаны в классических российских традициях, и это во многом обеспечило успех их работы. В медицине это особенно важно — традиции отечественного врачевания. Сейчас говорят о пропасти, которая возникла между «аппаратной» медициной и «обычной». Имеются в виду обилие приборов, используемых при лечении, и еще, к сожалению, деньги.

— Врач, приборы, деньги — вот залог эффективного лечения?

— Если бы так... Недавно я читал статью одного математика, который оканчивал наш университет, а потом уехал в Америку, где работает сейчас. Он сравнивает нашу научную школу и американскую мобильность: мол, там работаешь сегодня здесь, завтра там, а послезавтра — совсем в другом месте. Наверное, для Америки это неплохо, т.к. они собирают хороших ученых со всего мира, так сказать, снимают сливки, но в российских условиях такое неприемлемо. Наша наука держится на школах. А это не только технологии, но и морально-этические принципы. Для медицины это особенно важно.



Ученики и коллеги Р.С. Карпова по клинике НИИ кардиологии СО РАН

Мы быстро создали свой кардиологический центр во многом благодаря тому, что в Томском государственном университете существовали и существуют мощные научные школы с вековыми традициями. В этом году у меня два юбилея — 125 лет кафедре и 35 лет институту. Вот и наглядный пример медицинских традиций в Томске. И перекресток двух школ. Первая — С.П. Боткина, М.Г. Курлова, Д.Д. Яблокова, а вторая — А.Л. Мясникова и Е.И. Чазова.

— **А вы приняли их эстафету?**

— Я считаю себя представителем двух крупных научных школ. Подобная ситуация свойственна российской науке.

— **Мне кажется, Томск в этом плане ярчайший пример.**

— В конце позапрошлого века Антон Павлович Чехов проехал по Сибири. Останавливался и в Томске. Написал, что «Томск — свинья в ермолке», «город скучный, нетрезвый, красивых женщин совсем нет». Томичи оскорбились и позже поставили Чехову памятник, мягко говоря, не очень традиционный. Юмористический памятник. И подпись своеобразная — мол, это Антон Павлович Чехов глазами пьяного мужика, который никогда не читал «Каштанку».

— **Отомстили писателю!**

— Ну, честно сказать, во времена Чехова город был захолустным. Свое лицо Томск приобрел, когда здесь появился университет. Он стал первым в Сибири университетским городом. Считается, что на душу населения профессоров, ученых, студентов в нашем городе больше, чем в любом другом городе России. В 1986 г. к нам приехали американцы. Их привез сюда Евгений Иванович Чазов. Наверное, это была первая поездка американских медиков в Сибирь. Была весна, они ходили по городу, а потом нам говорили: «Какие у вас красивые женщины!» Вот так американцы ответили Чехову.

— **Вам когда-нибудь хотелось уехать отсюда?**

— Был сложный период, когда в медицине шла перестройка. Меня хотели забрать в 4-е Главное управление, чтобы я работал в Кремлевской больнице. Честно говоря, я даже испугался этого, потому что не хотел уезжать отсюда. Кстати, моего отца звали и в Киев, и в Ленинград, и в Москву, соблазняли разными должностями, но он не уехал.

— **Мне ваши коллеги сказали, что ваша главная черта — доброта.**

— Это недостаток, поскольку иногда надо быть более строгим и требовательным. Даже рецензентом я не всегда бываю хорошим, т.к. стараюсь не обращать внимания на недостатки, а замечая полезное и нужное, даже если этого меньше, чем отрицательного.

— **Но, наверное, иначе нельзя в кардиологии?**

— Доброта побеждает болезнь. Этому принципу я следую, так уж меня воспитали. Отец никогда мне грубого слова не сказал, да и учитель был таким же.



Научный руководитель НИИ кардиологии СО РАН академик РАН П.С. Карпов

Дмитрий Дмитриевич Яблоков был вообще глубоко верующим человеком.

— **А сколько всего болезней сердца из всех человеческих?**

— Очень много, ответить сразу не смогу. Сейчас особенно много разных вариантов. Конечно, есть главные, те, которые определяют все, — ишемическая болезнь, например. Инфаркт миокарда — это более 60% заболеваний сердца. От него в основном погибают. Затем мозговой инсульт и артериальная гипертония. Вот три главные болезни. А вообще их множество. Есть наследственные болезни, очень редкие.


— **Когда-то вам сказали: вам надлежит стать главным кардиологическим институтом в Сибири и на Дальнем Востоке. С той поры прошло более 30 с лишним лет. Удалось реализовать то, что задумывалось?**

— Недавно я выступал перед коллективом, рассказывал о том, насколько нам удалось реализовать все, что было записано в приказе министра Б.В. Петровского о нашем создании. В конце своего доклада я сказал, что мы полностью выполнили то, что нам поручило правительство. Сегодня сибирская кардиология самодостаточна. Конечно, это не только наша заслуга, но мы были в первых рядах, среди первопроходцев.

— **Вы оптимист?**

— Врач обязан быть оптимистом — он всегда должен верить, что непременно спасет пациента. ■

Беседовал Владимир Губарев



Индекс массы тела
рассчитывается по следующей
формуле: вес в килограммах
нужно разделить на рост
в метрах в квадрате. В норме он
должен быть от 20 до 25 кг/м².

О гармонии тела

Д

ва-три столетия назад пышные формы считались признаком здоровья и красоты. Сегодня ученые всего мира ищут причины и способы борьбы с этим, как оказалось, заболеванием, которое принимает масштабы эпидемии. Почему набрать вес легко, а избавиться от лишних килограммов очень сложно? Что такое инсулинорезистентность, метаболический синдром и абдоминальное ожирение? Какое отношение имеет к развитию ожирения микрофлора кишечника? **Оксана Михайловна Драпкина**, первый заместитель директора Научно-исследовательского центра профилактической медицины, занимается проблемами ожирения уже более 15 лет. Она стройна и воздушна и, как оказалось, сделала себя такой сама, однажды изменив образ жизни и питания. Мы попросили ее рассказать об исследованиях и работах российских ученых в этой области медицины.

— Думаю, тема ожирения актуальна для многих читателей. Все хотят быть стройными и красивыми, но мало кто знает, как этого добиться. Почему вы решили заняться именно этой проблемой?

— Проблемой ожирения я занялась в 1999 г. В это время я как раз защитила кандидатскую диссертацию. Она была посвящена острому инфаркту миокарда, поскольку я тогда работала в отделении интенсивной терапии. Я кардиолог. Затем вместе с единомышленниками мы проанализировали наиболее востребованные темы и пришли к выводу, что очень интересен так называемый метаболический синдром.

Что это такое? В основе его лежит абдоминальное ожирение, для которого характерен большой

обхват талии, когда жир в основном накапливается в области живота. Это считается «мужским» ожирением, или ожирением в виде яблока, в то время как женщинам в большей степени присущи «грушевидные» формы, когда жир накапливается на бедрах. Мы уже знали, что ожирение — это фактор сердечно-сосудистого риска, но было совершенно непонятно, какой из его типов самый опасный. В жизни нередко встречаются люди вроде бы с излишней массой тела, но с прекрасным настроением, хорошим самочувствием, без артериальной гипертензии, без гиперхолестеринемии, т.е. соматически здоровые. А есть пациенты, у которых явное метаболическое нездоровье, хотя они могут не так уж и много весить. Поэтому до сих пор идет спор, что важнее — индекс массы тела или объем талии.

Напомню, что индекс массы тела рассчитывается по следующей формуле: вес в килограммах разделить на рост в метрах в квадрате. В норме он должен быть от 20 до 25 кг/м². Требования же к объему талии претерпели серьезные изменения. Они становятся все строже. И если до 2005 г. мужчинам можно было иметь объем талии до 102 см, а женщинам до 88 см, то сейчас критерии ужесточились, и теперь у женщин этот показатель не должен превышать 80 см, а у мужчин — 94 см. Соответственно, больших с таким типом ожирения становится все больше. Но не только из-за ужесточения критериев — распространенность ожирения объективно растет.

Лечение ожирения — это не марш-бросок, а определенный стиль жизни. Важно выработать в себе культуру питания, искоренить привычку есть много

Занимаясь проблемой ожирения, мы выявили немало любопытных фактов.

Во-первых, висцеральная жировая ткань (т.е. находящаяся вокруг органов) совершенно особенная. Она как некий живой орган живет, «думает», страдает вместе с человеком. Она пропитана большим количеством сосудов и очень чувствительна к липолитическому действию катехоламинов. Это значит, что происходит липолиз и свободные жирные кислоты — продукты липолиза — устремляются по системе портальной вены в печень, и там накапливаются в виде триглицеридов. Печень, наш самый долготерпеливый орган, тоже устает. И печеночная ткань оказывается как бы нашпигованной жиром. Это приводит к так называемой жировой дистрофии печени, или к неалкогольной жировой болезни печени.

Во-вторых, висцеральная жировая ткань мало чувствительна к антилиполитическому действию инсулина, а это основа для инсулинорезистентности, т.е. устойчивости к воздействию инсулина.

Когда этот термин только появился, все о нем заговорили. Что же такое инсулинорезистентность? На недавнем конгрессе «Человек и лекарство» был профессор из США Арун Саньял, который выдвинул идею о том, что инсулинорезистентность связана с жирной печенью. Он прочитал лекцию, очень хорошо объяснил и показал, что первичная инсулинорезистентность формируется именно на уровне печени.

Инсулин, как известно, нужен для того, чтобы уменьшить уровень глюкозы в крови. А тут

возникает ситуация, когда инсулин есть, да и глюкозы много, но организм отказывается выполнять свою работу — снижать уровень глюкозы в крови. Возникает ситуация, когда эти два вещества — инсулин и глюкоза — как бы стоят на разных берегах реки, но нет лодки, которая перевезет кого-то на другой берег, чтобы они могли встретиться. Инсулиновый сигнал страдает.

И еще один важный момент при метаболически нездоровом абдоминальном ожирении. Это плацдарм для развития практически всех заболеваний начиная с артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, изменения холестеринового профиля, даже гастроэзофагеальной рефлюксной болезни, изменения суставов — и до почечной дисфункции и т.д. То есть куда ни кинь взгляд, в организме тучного человека возникают патологические изменения, и причина их — наличие висцеральной жировой ткани, которая становится стартовой площадкой для хронического воспаления всего организма.

— Иначе говоря, ожирение — это хронический воспалительный процесс?

— Именно так. Когда это поняли, решили посмотреть, во всех ли органах он присутствует. Пришли к очень интересным результатам.

У пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени противовоспалительные маркеры, например С-реактивный белок, резко повышены. Атеросклероз — тоже, как выяснилось, хронический воспалительный процесс. Получается, что жир в печени, атеросклероз и другие процессы, сопутствующие ожирению, имеют нечто общее. Встает вопрос: а может быть, атеросклероз, который мы привыкли считать болезнью сосудов, это еще и болезнь печени?

Да, при атеросклерозе сосуды теряют свою эластичность, в них образуется бляшка, которая может стать причиной смерти. Но из-за чего бляшка образуется? Из-за того, что много холестерина, а он нерастворим, поэтому нужны переносчики, которые доставят его к сосуду. И вот самый «злой» переносчик — это липопротеиды низкой плотности. Поэтому мы все время боремся с холестерином липопротеидов низкой плотности.

— Как в организме образуется холестерин?

— Холестерин может попадать в организм двумя путями. Первый, основной путь — его синтез в печени. В основном это происходит ночью, когда мы спим. Поэтому препараты, которые снижают уровень холестерина, мы чаще принимаем вечером. Второй — холестерин может захватываться из крови, когда его много, с помощью рецепторов к липопротеидам низкой плотности.

Под руководством того же профессора Аруна Саньяла была проведена серия очень интересных экспериментов, в результате которых было доказано: при метаболическом синдроме возникает

уникальное состояние, когда синтез холестерина увеличивается, а активность рецепторов, которые должны с ним бороться, снижается, хотя в норме должно быть наоборот. То есть мало того, что холестерин синтезируется много, так он еще и меньше выводится с желчью.

— **Знаю, существует класс препаратов, которые успешно борются с холестериновой болезнью, — так называемые статины.**

— Да, основной класс антихолестериновых препаратов действует на синтез холестерина в печени.

— **Можно ли сказать, что вы поняли причину ожирения?**

— Нет, данный процесс очень сложен и многокомпонентен, но мы детализируем механизмы формирования ожирения, а это важно, чтобы понять его природу и научиться с ним эффективно бороться.

В этой связи хочется обратить внимание вот на что. Любое воспаление, где бы оно ни было, должно чем-то зажить. Оно невозможно без фиброза. Фиброз же подразумевает жесткость ткани, а это, по сути, путь к ее гибели. Если сосуд жесткий, а не эластичный, возникает артериальная гипертензия. Жесткий миокард — значит, сердце плохо расслабляется, возникает диастолическая дисфункция. Фиброз в почках или в печени — вроде бы разные процессы, но они объединены чередой событий, и сейчас есть определенные соображения, как на них можно влиять. Это определенные препараты, рекомендации по изменению образа жизни и, конечно, диета.

— **Однако же есть люди, которых не берет ни одна диета, а врачи только руками разводят и говорят: «Это вы, наверное, по ночам тайком пирожные употребляете».**

— Раньше действительно считалось, что такого рода советы для больных с метаболическим синдромом должны работать во всех случаях одинаково. Сейчас выяснилось, что это не так. Научные разработки последних лет показали, что у нас не всегда есть основания не доверять пациенту. Оказывается, попытки справиться с ожирением могут приводить к различным результатам, и ответы на такие несоответствия кроются в том, что населяет кишечник нашего пациента, в так называемой микробиоте. Выясняется, что у пациентов с ожирением иногда появляется так называемый «другой» геном, при котором они теряют до шести



Доктор медицинских наук, профессор
О.М. Драпкина

видов бактерий. А ведь бактерии — это очень старая формация, намного старше нас с вами. И их у нас огромное множество. Многие исследования показали, что пациенты, лишенные этих видов бактерий, имеют большую склонность к сахарному диабету, а также к самому ожирению, к метаболическим расстройствам, и лечению они поддаются намного тяжелее.

— **Чего же им не хватает?**

— Оказалось, что человеку, который длительно не может похудеть, не хватает бифидобактерий. Без них клетчатка, которую во всех диетах рекомендуют употреблять в большом количестве, не может превратиться в те вещества, которые нам необходимы. Обычно клетчатка под воздействием би-

фидобактерий, которые находятся в кишке, распадается на две очень важные составляющие: моносахариды и короткоцепочечные жирные кислоты. Моносахариды влияют на активность основных элементов, поддерживающих гомеостаз глюкозы и холестерина. Один элемент регулирует гомеостаз глюкозы, а другой — гомеостаз холестерина. Короткоцепочечные жирные кислоты влияют на фактор роста адипоцитов. Следовательно, влияя на микрофлору кишечника, мы можем регулировать уровень глюкозы и холестерина в крови. Поэтому для лечения таких людей стали назначать препараты, содержащие бифидобактерии. Хотя, подчеркну, «таблетки от ожирения» не существует.

— **Существуют многочисленные чаи и таблетки якобы для похудения, и многие их активно употребляют.**

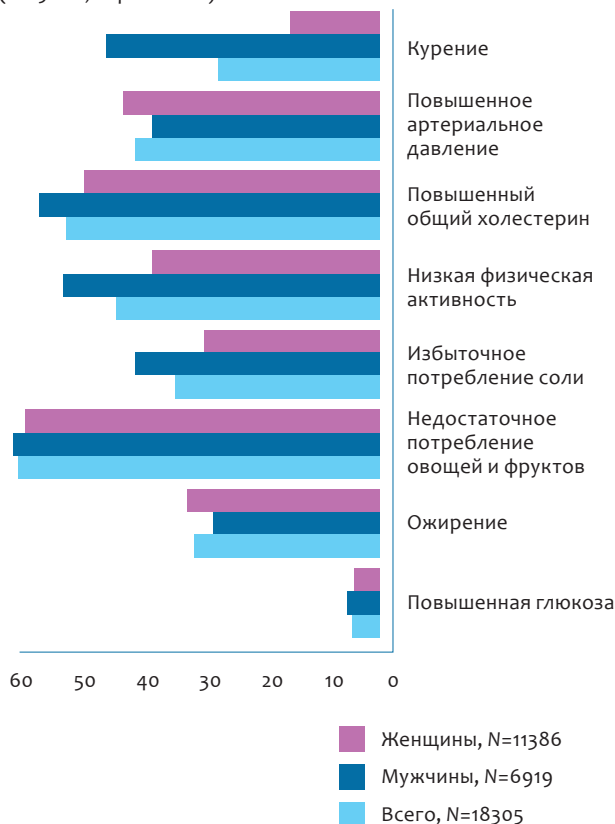
— Все это может нанести большой вред. Человек, имеющий пышные формы, во-первых, рискует здоровьем, а во-вторых, многое может в себе изменить, но делать это надо под контролем специалиста.

У меня был такой случай. Пациентка, причем врач с научным заданием, решила, что пришло время похудеть. Хотя выраженного излишка массы тела у нее не было. Кто-то дал ей «тибетские таблетки», которые она стала принимать каждый день. Они были очень крупными, ей было трудно, но она глотала и рассказывала, что чувствует, как «идет» эта таблетка...

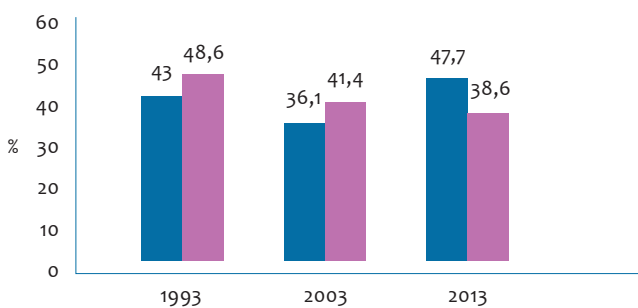
— **По дороге очищая организм?**

— Видимо, да. Потом знакомые, родственники стали говорить, что она ходит, наклонившись вперед. Да она и сама стала замечать неприятные

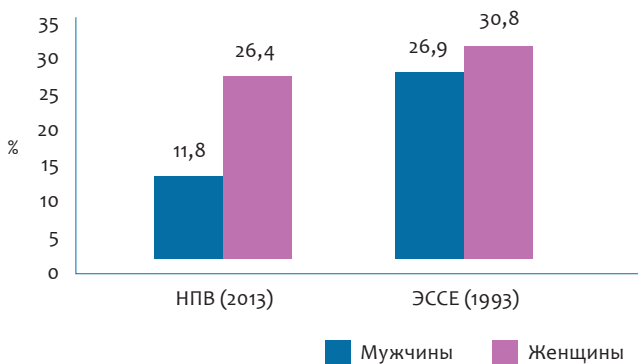
Высокая распространенность основных факторов риска неинфекционных заболеваний
(n=19600, 12 регионов)



Рост распространенности артериальной гипертензии у мужчин



Рост распространенности ожирения



ощущения за грудиной, в эпигастральной области. Когда начались боли, сделали гастроскопию и нашли язву, которая практически полностью повторяла контуры этой таблетки.

— **Колопроктологи рассказывали мне о чаях для похудения, содержащих слабительные средства растительного происхождения — крушину, сенну, александрийский лист, которые вызывают меланоз кишечника.**

— Из запатентованных препаратов есть только один — это ингибитор панкреатической липазы. Но и он, знаете ли, не так уж безвреден. Если пациент ест что-то жирное, неприятных последствий не миновать. Например, если пациент позволит себе кусочек торта, у него начнется urgentный стул, где бы он ни был. Из-за страха такой реакции люди обычно сдерживают себя. При этом они действительно худеют, улучшаются метаболические показатели — и глюкоза, и холестерин.

— **Известно, что лучшее лечение — это профилактика. Давайте назовем продукты, которые способствуют правильным процессам в кишечнике.**

— Это продукты, содержащие клетчатку, а ее очень много во всем растительном — овощи, фрукты, самое простое — яблоки. Некоторые говорят: у нас нет денег на фрукты, но обыкновенные яблоки, в том числе засушенные на зиму, могут заменить нам очень многое. Далее, это крупы и хлеб грубого помола. Хотя, на мой взгляд, удельный вес хлеба, даже из муки такого грубого помола, должен быть снижен. А вообще, можно и нужно есть все, но знать меру. Последние рекомендации диетологов говорят о том, что нет универсальной диеты. Их было предложено множество, и каждая по-своему хороша, все работают, но самое трудное — удержать вес после отмены диеты. Поэтому лечение ожирения — это не марш-бросок с полной выкладкой, а определенный стиль жизни. Важно выработать в себе культуру питания, искоренить привычку есть много.

Основной принцип такой: меньше острого, соленого, частая кратность питания маленькими порциями. Нельзя ни в коем случае устраивать себе голодовки. Организм начинает бить тревогу, запасать даже маленькие кусочки энергии, поэтому голодающий человек может полнеть, а не худеть. Ну и, конечно, прекращать прием пищи хотя бы за два часа до сна.

— **Известно, что из-за сидячего образа жизни, неправильного питания, воздействия стрессов человечество толстеет. Правда ли, что появилась проблема роста именно мужского ожирения?**

— В нашем центре профилактической медицины мы проводили исследования, в которых участвовали 12 регионов, более 19 тыс. пациентов, которые приходили в поликлиники. Было получено

очень много информации о распространенности различных факторов риска, как то курение, чрезмерное употребление алкоголя, ожирение, артериальная гипертензия, уровень холестерина, низкое потребление овощей и фруктов, низкая физическая активность... Наметилась такая тенденция: по сравнению с 2003 г. у мужчин вырос уровень артериального давления. Когда стали анализировать, оказалось, что мужчины в два раза «прыгнули» в плане развития ожирения. Сейчас ожирением страдают 26% российских мужчин и 29% российских женщин. Это много.

Еще одна большая проблема — детское ожирение. Оно тоже растет. Если мы хотим иметь здоровое будущее поколение, очень важно обращать внимание на детей, на культуру их питания, образ жизни, приобщать их к спорту, который должен быть общедоступным. Все это заставило нас создать научный отдел фундаментальных и прикладных аспектов ожирения на базе ФГБУ «ГНИЦПМ» Минздрава России. В отделе мы занимаемся и фундаментальными основами развития ожирения, и чисто клиническими вопросами. Каждый желающий может прийти на консультацию или, в случае необходимости, пройти стационарное обследование и лечение.

— **Оксана Михайловна, вы один из соруководителей конгресса «Человек и лекарство». Как случилось, что этот конгресс стал частью вашей жизни?**

— У меня особое отношение к этому конгрессу. Когда я защищала кандидатскую диссертацию, это был единственный большой конгресс в нашей стране. Я послала туда тезисы — и, к моей величайшей радости, их приняли. В итоге я победила в конкурсе молодых ученых и меня премировали поездкой на Международный кардиологический конгресс. Это подтолкнуло к научной деятельности. До этого события меня всегда влекла практическая медицина и я не планировала заниматься наукой. Но участие в европейском конгрессе существенно изменило мою жизнь.

— **То есть конгресс «Человек и лекарство» стал для вас судьбоносным?**

— Да. И, конечно, я была рада войти в состав оргкомитета, стать заместителем председателя конгресса. Бессменный председатель и вдохновитель этого конгресса — академик РАН Александр Григорьевич Чучалин. В нынешнем году конгресс существенно обновился. Во-первых, новая площадка — современная, хорошо отлаженная, давшая возможность обмениваться опытом, мнениями с иностранными коллегами по интернет-связи. Во-вторых, практически каждый молодой человек, который захотел себя проявить или что-то рассказать о своей работе, имел возможность это сделать.

На протяжении четырех дней ученые из Москвы, Санкт-Петербурга, других городов представляли

свои направления. Была очень интересная программа, куда вошли основные терапевтические школы России. Любой имел возможность подать свою заявку, всем нашлось место. Конструктивное общение в широком формате состоялось.

Более 5 тыс. участников посетили конгресс. Была открыта площадка для профильных комиссий, для главных внештатных специалистов. Выступили все, кто хотел рассказать о чем-то важном. Было много замечательных докладов, симпозиумов. Например, симпозиум «Религия и медицина». Зал был набит, даже в проходах стояли. Конечно, медицина — это наука, но это еще и искусство, и мы знаем о целом ряде удивительных, необъяснимых случаев.

— **Кроме того, существуют такие фигуры, как В.Ф. Войно-Ясенецкий — хирург от Бога и священник, известный под именем архиепископа Луки, канонизированный после смерти.**

— Да, врач — гуманная профессия, она врачует тело, но нельзя забывать и о душе. Все это взаимосвязано. Закончился конгресс гимном *Gaudeamus*, который меня всегда пробирает. Я видела одухотворенные лица наших студентов, будущих врачей, и, вы знаете, мне радостно было сознавать, что будущее медицины в надежных руках. Я в этих ребят верю. ■

Беседовала *Наталья Лескова*

СПРАВКА

Оксана Михайловна Драпкина

■ Доктор медицинских наук, профессор, исполнительный директор Всероссийской образовательной интернет-сессии, заместитель директора по научной и лечебной работе ФГБУ «ГНИЦПМ» Минздрава России, Лауреат премии Правительства РФ в области образования.

■ В 1992 г. окончила ММА им. И.М. Сеченова.

■ С 1992 по 1997 г. работала в отделении интенсивной терапии и реанимации клиники пропедевтики внутренних болезней ММА.

■ С 1997 г. по настоящее время работает на кафедре пропедевтики внутренних болезней ММА (ныне — Первый МГМУ им. И.М. Сеченова), где прошла путь от ассистента кафедры до профессора.

■ Активно занимается научной работой и клинической практикой. Под ее научным руководством защищено 15 диссертаций на соискание ученой степени кандидата медицинских наук, две диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук, опубликовано более 350 работ в отечественных и зарубежных журналах, пять монографий и семь учебников в соавторстве с академиком РАН В.Т. Ивашкиным.



КРАТЧАЙШИЙ
ПУТЬ
ЛЕКАРСТВА

В

одном из предыдущих номеров нашего журнала мы рассказывали, что российские биотехнологи разработали новый способ адресной доставки лекарств — через нос, где бы они не оседали, подобно средствам от насморка, а следовали непосредственно в мозг через обонятельную систему, минуя гематоэнцефалический барьер. Тогда исследования только начинались, хотя перспективы их казались фантастическими. Излечение болезней Альцгеймера и Паркинсона, рассеянного склероза — чем не достойная задача? О том, удалось ли достичь конкретных результатов и если да, то каких, — наш разговор с **Татьяной Владимировной Букреевой**, начальником лаборатории нанокапсул и адресной доставки лекарственных средств Курчатковского комплекса НБИКС-технологий.

— **Итак, назальная доставка лекарств. Подтвердились ли предположения, что это работает?**

— Экспериментально на лабораторных грызунах было подтверждено, что таким способом в мозг попадает обезболивающее, которое нельзя доставить обычным способом — через кровь, потому что этому препятствует гематоэнцефалический барьер.

— **Такой способ доставки более эффективен?**

— Да, при назальной доставке средство оказывается очень действенным. Это известный препарат — лоперамид, который входит в состав имодиума.

— **Это же популярное противодиарейное средство?**

— Да, известный нам всем эффект — это воздействие на кишечник при пероральном введении, но, как выяснилось, при доставке непосредственно в мозг действие у него обезболивающее.

Сейчас мы работаем над совсем другим препаратом — снотворным последнего поколения, которое считается наиболее эффективным. Оно действует и если просто пить таблетки, причем исследования показали, что даже при длительном приеме привыкания не возникает. Но, естественно, пероральное применение означает, что таблетка всякий раз проходит через желудочно-кишечный тракт, что может вызывать побочные действия. Это свойственно для большинства препаратов, не безвредных для наших внутренних органов, особенно если в них уже есть какие-либо нарушения. Когда же мы вводим лекарство назально, оно поступает непосредственно в мозг, никак не воздействуя на внутренние органы. Таким образом, мы убиваем сразу двух зайцев. С одной стороны, мы можем доставить лекарства, которые вообще не проходят через кровь, с другой — обеспечить удобство введения. Если через кровь это инвазивно и часто неудобно для пациента, то здесь всех этих проблем легко избежать.

Важно и то, что таким образом существенно повышается эффективность доставки. При пероральном введении немалая часть лекарства теряется по дороге. Тут же все доставляется без потерь. Соответственно, дозы могут быть существенно ниже.

В случае снотворного препарата мы можем контролировать латентный период, т.е. период засыпания. Можно разработать систему, которая обеспечит пролонгированное действие препарата или будет регулировать латентный период.

— **Что это за система?**

— Это контейнеры, имеющую специальную структуру, — пористые наноструктурированные частицы карбоната кальция микронных размеров. Мы можем делать и меньше, но наиболее эффективно на слизистой носа удерживаются именно такие, порядка 3–5 мкм. Нам ведь важно, чтобы частицы не удалились из носа быстро посредством существующих там защитных механизмов. Эти частички состоят из маленьких кристалликов, поэтому



Препарат будущего — капли с наноструктурированными контейнерами доставки лекарств в мозг



Кандидат химических наук, доцент Т.В. Букреева

там много свободного объема. В частицу основы адсорбируется лекарственный препарат и сверху покрывается полимерной оболочкой.

Ее можно делать из разных полимеров. Мы используем, например, гиалуроновую кислоту и хитозан. Они биоразлагаемы и биосовместимы, а кроме того, обладают мукоадгезивным свойством. Это означает, что они липнут к слизистой и позволяют нашим контейнерам с лекарством удерживаться на ней. Таким образом, лекарство постепенно начинает проникать через обонятельную систему непосредственно в мозг.

— **В какой форме эти лекарства существуют? Ведь это не обычные препараты, которые продают в аптеке, а нанокапсулы, которые вы сами же и создаете.**

— Да, это крошечные частицы, в которые загружают различные лекарства, покрывают полимером, а дальше их можно в виде, например, каплей или спрея вводить в нос. Внешне такие препараты могут даже не отличаться от современных, повсеместно используемых. Но по структуре они намного сложнее. В капельках растворителя — воды или физиологического раствора — будут плавать микрокапсулы, которые будут прикрепляться к слизистой и обеспечивать прохождение лекарственных соединений.

— **Что еще вы собираетесь испытывать? Как с планами победить болезнь Альцгеймера?**

— Сейчас у нас идет совместная работа с Институтом органической химии, который синтезирует



Экспресс-диагностика капсул с помощью оптического микроскопа

производные снотворного последнего поколения. Они планируют синтезировать новые седативные препараты и антидепрессанты, которые мы также будем испытывать. Важно, что это будут препараты российского производства, для многих крайне актуальные. Это принципиально новые препараты, которые будут значительно эффективнее нынешних, при этом не вызывая побочных эффектов и привыкания.

Есть еще одно важное преимущество назального введения. Парентерально — через кровь — мы можем вводить только лекарства, которые растворимы в воде. А через нос мы можем вводить лекарства, которые в воде не растворяются. Таким образом, мы можем предлагать форму принципиально новых препаратов.

Что же касается таких заболеваний центральной нервной системы, как болезни Альцгеймера, Паркинсона или рассеянный склероз, то для их лечения назальное введение очень перспективно, потому что именно при этих недугах особенно остро требуется доставка лекарств непосредственно в мозг. У Института фармакологии есть интересные разработки в этой области, и в перспективе мы будем тестировать эти лекарства, используя предложенный нами вариант доставки.

— **Когда впервые зародилась идея доставки лекарств через нос?**

— Идея не так уж нова, сейчас в Америке и в Европе существуют лекарственные формы для лечения той же мигрени, которые вводятся через нос. Так что это не российская идея, но мы будем делать свои препараты, используя эту форму.

— **Какие важные исследования у вас еще ведутся?**

— Когда идет речь об адресной доставке, то это прежде всего антираковые препараты. Есть очень интересные разработки российских ученых, касающиеся фотодинамической терапии рака

и красителей для нее. В этой отрасли отечественные разработки шагнули очень далеко. Мы хотели бы работать над совершенствованием этих систем. Как известно, фотодинамические красители используются для тераностики, т.е., с одной стороны, для диагностики заболевания с помощью флуоресцентных методов, а с другой — для лечения посредством облучения светящегося места. При этом выделяется синглетный кислород, который разрушает опухоль. У нас есть задумка развить это направление. Известно, что такие красители накапливаются в опухоли, а значит, их можно использовать как адресную молекулу. То есть картина будущего выглядит так: в организме поселяются сотни или даже тысячи крошечных «наноразведчиков», которые сканируют его, проверяют, не нужно ли что-то подлечить, а если нужно — немедленно приступают к делу.

Если же вернуться к онкологическим заболеваниям, то лечение с помощью фотодинамических красителей обычно дополняется химиотерапией. Мы хотели бы создать систему, которая совмещает оба метода, т.е. посадить на оболочку капсулы адресную молекулу, которая обеспечит доставку, накопление в раковой опухоли и диагностику с помощью флуоресцентных методов, кроме того, красители этой оболочки будут способствовать выделению синглетного кислорода, а внутрь той же капсулы будет помещен химиопрепарат, который обеспечит комплексное лечение.

Кроме того, у нас есть интересные результаты по минимизации размеров капсул. Сейчас мы подобрали такой состав биополимерной оболочки, который под действием температуры «усаживается», оболочка уплотняется, что повышает возможности инкапсулирования внутри нее низкомолекулярных веществ, которые раньше могли выйти через оболочку, а теперь, коль скоро она стала плотнее, останутся внутри. Размер капсулы при этом уменьшается. Для введения через кровь это важно, потому что мы имеем дело с мелкими сосудами, и крупные капсулы в них просто не попадут.

Многое делается в области магнитной доставки лекарств. Мы модифицируем контейнер магнитными частицами, которые под действием локального магнитного поля накапливаются в той части тела, где это необходимо.

— Почему все эти исследования проводятся именно в Курчатовском институте?

— Здесь огромные возможности для работы. Прежде всего, экспериментальная база — различные микроскопы, возможность использовать рентгеновские методы, вести синхротронные и медико-биологические исследования. Работают магнитно-резонансный и позитронно-эмиссионный томографы, и это открывает широчайшие возможности. Вот, допустим, для магнитной доставки можно отслеживать томографом, куда попадают те или

иные объекты, которые мы вводим. Еще томография позволяет исследовать различные области мозга, и, кстати, при назальной доставке мы можем регистрировать, какая зона мозга возбуждена или, наоборот, угнетена благодаря тем или иным лекарствам. То есть мы можем контролировать эти процессы, а значит, вводить такие соединения, которые будут действовать на определенный участок мозга, — и это открывает грандиозные перспективы.

— У вас работает много молодежи. Слышала, одна из молодых сотрудниц недавно получила грант на научные исследования.

— Да, у нас молодая лаборатория, как, собственно, почти все в Курчатовском НБИКС-центре. Сотрудница нашей лаборатории Ирина Валерьевна Марченко, выпускница физического факультета МГУ, которая работает в области доставки лекарств и разработки капсул, выиграла грант РФФИ и правительства Москвы как раз на разработку систем назальной доставки снотворных и антидепрессантов.

— Нет ли у вас ощущения, что человечество, особенно жители мегаполисов, все больше нуждается в антидепрессантах, снотворных, антираковых препаратах, потому что эти болезни прогрессируют, и мы лечим не причину этих недугов, а их следствия, создавая все новые и все более сложные препараты?

— Согласна: мегаполис — это большая проблема с точки зрения влияния на человека, его психику. Безусловно, надо помогать людям преодолевать стрессы от воздействия техногенных факторов не только с помощью лекарств, но и через приобщение к духовности, культуре, спорту, наконец.

Но по поводу более сложных лекарств не соглашусь. Эффективные лекарства не всегда более сложные с точки зрения химической структуры или состава. Здесь ведется поиск как раз более простых форм, и назальная доставка для пациентов проще уже известных. Думаю, будут разработаны и еще более простые и эффективные способы воздействия на человека, в том числе немедикаментозные. Не секрет, что очень многие состояния — психосоматические, и люди сами не понимают, что с ними происходит. Мало того, и врачи часто не могут понять. Заканчивается тем, что появляются настоящие патологии, потому что лечили не причину, а, как вы верно заметили, следствие. Думаю, в медицине будущего все неполадки организма будут видны как на ладони. Кстати, в НБИКС-центре Курчатовского института весьма успешно идут и когнитивные исследования, которые очень многое дают в плане понимания работы мозга. Думаю, без такого глубинного понимания медицина будущего невозможна. ■

Беседовала Наталия Лескова

УЧИМСЯ у природы

Широко химия
простирает руки свои
в дела человеческие.

М.В. Ломоносов

На столе у **Тимофея Евгеньевича Григорьева**, начальника отдела нанобиоматериалов и структур Курчатовского комплекса НБИКС-технологий, находятся странные предметы и конструкции. Состоящая из нескольких пластиковых блоков трубочка, чем-то напоминающая детскую игру в бирюльки, — на самом деле высокотехнологичный штифт для лечения суставов, созданный на основе самых современных технологий. Похожая на губку для мытья посуды тряпочка — так называемая искусственная кожа, способная спасти человека с ожогами 90% поверхности тела. А «венчик», будто бы созданный для взбивания крошечных яиц, — это ловец тромбов, благодаря которому можно спасти жизни многих пациентов с сердечно-сосудистой патологией. Таких разработок в отделе, которым руководит Т.Е. Григорьев, десятки, и все они в не самом отдаленном будущем станут доступны для медицинских манипуляций любого врача. Некоторые разработки сейчас кажутся фантастикой, однако это и есть фундаментальная наука, убежден наш собеседник.





Кандидат физико-математических наук Т.Е. Григорьев

— Тимофей Евгеньевич, чем занимаетесь ваш отдел?

— Мы стараемся свести воедино нано- и биотехнологии, соединить их с клеточными технологиями, понять, как структура этих материалов влияет на их свойства. При этом, создавая структуру, определяющую свойства материалов, мы часто берем пример с природы, которой это удалось очень тонко и точно. Направления работы нашего отдела и лаборатории полимерных материалов так же масштабны, как возможности науки о полимерах и в принципе химии. Как сказал Михаил Васильевич Ломоносов: «Широко химия простирает руки свои в дела человеческие». Так же широко заходят и наши работы в различные области. Это как классические для полимерных материалов тематики по конструкционным материалам (стеклопластиковая арматура, различные термоизоляционные, композиционные материалы), так и органические сенсоры, материалы для них, а также нейроморфные материалы — те, которые проявляют свои свойства в ИТ-технологиях и электронике. И конечно же, это биомедицинские материалы и изделия — такое направление биомедицины, как соединение неживого с живым.

— Почему вообще возникает необходимость соединения живого с неживым?

— Это новый виток технологического развития, когда мы постигли все основные свойства нанотехнологий, многое поняли в физике твердого тела, разработали различные сенсоры, научились управлять структурой и свойствами различных материалов: органических, неорганических, гибридных. Вместе с клеточными и молекулярно-биологическими подходами эти знания можно использовать для создания биоискусственных систем. Важно сначала понять, как устроена природа, а затем создавать функциональные антропоморфные устройства, материалы, органы и т.д. Этот принцип конвергенции и был заложен М.В. Ковальчуком при создании Курчатковского НБИКС-центра.

— Вы говорите о возможности, однако необходимость применения всех этих материалов, насколько я понимаю, связана в первую очередь с медициной?

— Да, безусловно, медицине требуются высокотехнологичные продукты. Это могут быть как медицинские изделия, которые помогают врачам наиболее эффективно лечить различные травмы, ожоги, поражения внутренних органов, так и восстановительная часть, когда мы создаем прототип органа или сам орган, а затем организм «доращивает» и ассимилирует его.

Еще один важный момент — тестирование на биоискусственных системах различных лекарств и процессов: уже сейчас все чаще из этических соображений запрещают тестирование не только на человеке, но даже на животных. Скоро биоискусственные тест-системы выйдут в этом смысле на первый план.



Спектрофотометрия полимерных растворов

— Насколько они эффективны?

— В каждом случае надо очень точно настраивать систему, потому что, конечно, мы пока не способны воспроизвести тот или иной орган целиком, даже такой, скажем, лежащий на поверхности в прямом смысле этого слова, как кожа. Но мы можем смоделировать определенные функции этого органа. Именно по ним можно изучить влияние тех или иных лекарств.

— Такие системы уже существуют?

— Они существуют в лабораториях. В Курчатковском НБИКС-центре в нашей лаборатории и лаборатории А.А. Пантелеева создали дермально-эпидермальный биоэквивалент человеческой кожи, включающий кератиноциты и фибробласты, точно так, как устроено в нашем организме. Конечно, там нет всех функций кожи, однако для многих исследовательских и лечебных целей эта система годится.

— Для меня открытие, что существуют разработки, которые в будущем отменяют необходимость использования лабораторных животных.

— Да, это важное направление развития биомедицины. Здесь также можно продвинуть использование новых неинвазивных методик, и тогда для эксперимента будет нужно использовать, например, одну, а не десять мышей, а то и вовсе обойтись без них. Не случайно, что такого рода работы стали возможны именно у нас, в Курчатковском



Биоразлагаемые изделия для ортопедии, сердечно-сосудистой хирургии

институте, где традиционно сильны структурные, физические и физико-химические направления. Буквально под боком у нашего отдела находятся синхротрон, лаборатория электронной микроскопии, в другом корпусе — установки ядерно-магнитного резонанса и т.д. Это не только важная с технологической точки зрения работа, но и новые подходы, методология всего процесса исследования и создания биоискусственных систем.

— Для чего вы создаете аналог человеческой кожи?

— Большая проблема — выживаемость людей, у которых поражено более 50% поверхности тела. В этом деле искусственная кожа совершенно незаменима. Но, надо сказать, мы создали не только кожу. В ходе сотрудничества с ожоговым центром Института хирургии им. А.В. Вишневского нам удалось разработать целый спектр материалов и устройств для лечения ожоговой болезни, оказания срочной помощи пациенту. Ведь, оказывается, когда человек получает такой большой ожог, есть риск не довести его до больницы даже не из-за болевого шока или заражения, а из-за потери влаги и тепла. Поэтому первый шаг — это материал, который укроет пострадавшего, не позволит ему терять влагу и тепло. При этом он должен быть биосовместимым, а его важнейшее качество — атравматическое снятие, чтобы не травмировать рану при удалении. Все мы знаем, как это больно — оторвать марлю, пластырь или вату.

Мы разработали нетканые материалы с диаметром волокон от 100 нм — это тоньше, чем паутина, — которые упорядочены в пространстве и обладают заданными свойствами, например гидрофильны или гидрофобны, закрывают рану, адгезируют с ней или, наоборот, не прилипают. Это первая стадия. Затем наступает вторая, когда организм должен запустить естественные процессы регенерации. Тут ране надо «дать отдохнуть», отводя раневое отделяемое. Здесь важны уже другие свойства — сорбционная емкость, снова атравматическое снятие. И только после этого нужна собственно искусственная кожа, для получения

которой надо сделать естественный матрикс — каркас, которой потом засеется клетками пациента и будет в дальнейшем ему приживлен.

— Все это уже разработано и может применяться?

— Да, у нас все это уже есть. Но для того, чтобы наши материалы дошли до пациентов, к сожалению, потребуется время. Если говорить о коже, то это биомедицинский клеточный продукт, и путь от разработки до регистрации довольно непрост. Надеюсь, это будет не десятилетия, как в фармацевтике, а два-три года.



Заготовка биоразлагаемого винта

— Около двух лет назад большого шума надежда была новость о том, что в Курчатовском институте удалось вырастить искусственную трахею. Что изменилось с тех пор?

— Мы продолжаем совершенствовать нашу биоискусственную трахею, и, естественно, следующий шаг — испытания на животных (к сожалению, пока без этого не обойтись). Они показывают хорошую эффективность. Мы работаем совместно с РОНЦ им. Н.Н. Блохина — ведь не секрет, что такого рода трансплантации чаще всего необходимы людям, перенесшим рак гортани или трахеи.

— Выращивание искусственных органов из собственных тканей — это очень востребованное направление медицинской науки во всем мире. В Америке ведутся эксперименты по выращиванию искусственных легких. Насколько мы здесь идем в ногу со временем — или, может быть, отстаем?

— Выращивание новых органов открывает возможность восстановить утраченные, и это действительно принципиально новая страница в медицине. Это не заместительная, как в случае протезирования органов, а восстановительная медицина. В отличие от классической трансплантологии такой орган не вызывает иммунной реакции организма, потому что сделан из клеток самого пациента. И здесь, конечно, предстоит огромный путь, потому что нам неизвестны отдаленные последствия применения биоискусственных продуктов.

— **Знаю, что вы создаете материалы, которые приживаются в организме и ничем не отличаются от утраченного органа.**

— Пока речь идет не о целых органах, а о протезах трубчатых органов: желчного протока, аорты, — которые также витализированы с помощью клеточных технологий и имплантированы в организм. Конечно, врачи пока побаиваются работать с биоразлагаемыми материалами, потому что уровень ферментативной активности и сроков биодеградации в каждом организме разный. Тем не менее опыт уже имеется.

Если говорить об изделиях, которые ближе всего к реализации, то это различные раневые, гемостатические, ранозаживляющие материалы, биоразлагаемые изделия для ортопедии или челюстно-лицевой хирургии — пины, штифты, шурупы, пластины. Они выполняют свою функцию по фиксации костей при операции, а потом биоразлагаются. Сейчас используются титановые пластины, и нужна повторная операция для того, чтобы их удалить. Уровень воспалительной реакции на металл довольно высок. Наши полимеры вызывают меньшее воспаление, и удалять их не нужно — они биоразлагаемы, к тому же могут содержать активные лекарственные соединения. Это нанокпозиционные изделия: наноразмерный наполнитель лучше обычного принимается организмом и оказывает влияние на свойства самого изделия. Сейчас заканчивается исследовательская фаза, а дальше мы планируем внедрение в производство, доклинические исследования. Наши молодые сотрудники Никита Седуш и Варвара Демина, энтузиасты этого направления, уже изучают технологические аспекты изготовления.

— **Помните, был такой фантастический фильм «Неуязвимый», где герой Брюса Уиллиса сколько бы ни попадал в различные травмоопасные ситуации, никак не страдал. Человечество движется в сторону неуязвимости: потерял какой-нибудь орган — вырастили новый, случилась тяжелая травма — восстановили как новенького. Как в фантастических фильмах, люди становятся киборгами. Вы никогда не задумывались, останемся ли мы людьми, став киборгами?**

— Если говорить о регенеративной медицине, то человек, безусловно, остается тем же самым человеком, потому что восстанавливаются, по сути, его собственные органы. Мы не пытаемся обойти природу, а лишь стараемся приблизиться к ней. Это важно. Мы очень много занимаемся изучением природы, и наши технологии можно назвать природоподобными. Регенеративная медицина существенно отличается от заместительной, от того же «умного» протезирования, когда мы заменяем руку или ногу, скажем, механическим протезом. Поэтому здесь человек все равно остается человеком.

Кстати, механическая рука тоже создается в Курчатовском институте, и мы участвуем в работах в области сенсоров робототехнических систем. На самом деле это попытка не столько воспроизвести человека, сколько постичь когнитивные функции, функции движения, осознания и т.д. Все это направлено отнюдь не на замещение человека, а на постижение его.

По поводу неуязвимости я бы тоже поспорил. Природа чрезвычайно сложна, и существует масса механизмов, которые не позволяют нам быть неуязвимыми. Классический пример: раньше о таких заболеваниях, как рак или болезнь Альцгеймера, не знали, потому что до них обычно просто не доживали. Победим эти болезни — появится что-то еще.

— **А вы думаете, мы победим рак?**

— Думаю, да. Создаются новые лекарства, носители лекарств, с помощью которых они вводятся непосредственно в клетку пораженной ткани. Но это не значит, что мы победим все возможные болезни.

— **Может быть, все это заложено в природе для стимуляции нашей интеллектуальной деятельности, чтобы эволюция продолжалась?**

— Возможно, и так. А вообще для того, чтобы создать что-то действительно эффективное, надо внимательно посмотреть на природу — она обычно делает это максимално успешно. Например, что касается конструкционных материалов: мы очень много работаем с целлюлозой, хитином, потому что это самые прочные волокна в мире. Мы создаем также природоподобные нейроморфные устройства. Сейчас и *Hewlett-Packard*, и *IBM* разрабатывают множество так называемых неорганических мемристоров. Но с точки зрения природоподобия, похожесть на живое, именно полимеры заметно выигрывают у всех искусственных систем. Поэтому мы и уделяем так много внимания природным материалам и структурам. Что же касается биотехнологий, то сделать лучше, чем природа, пока не удалось. Да это и не нужно. ■

Беседовала *Наталья Лескова*

СПРАВКА

Тимофей Евгеньевич Григорьев

■ Выпускник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, кандидат физико-математических наук, начальник отдела нанобиоматериалов и структур Курчатовского комплекса НБИКС-технологий.

■ Основные направления работ: полимерные материалы и изделия для биомедицины, тканевой инженерии, «умные» и функциональные полимерные системы.

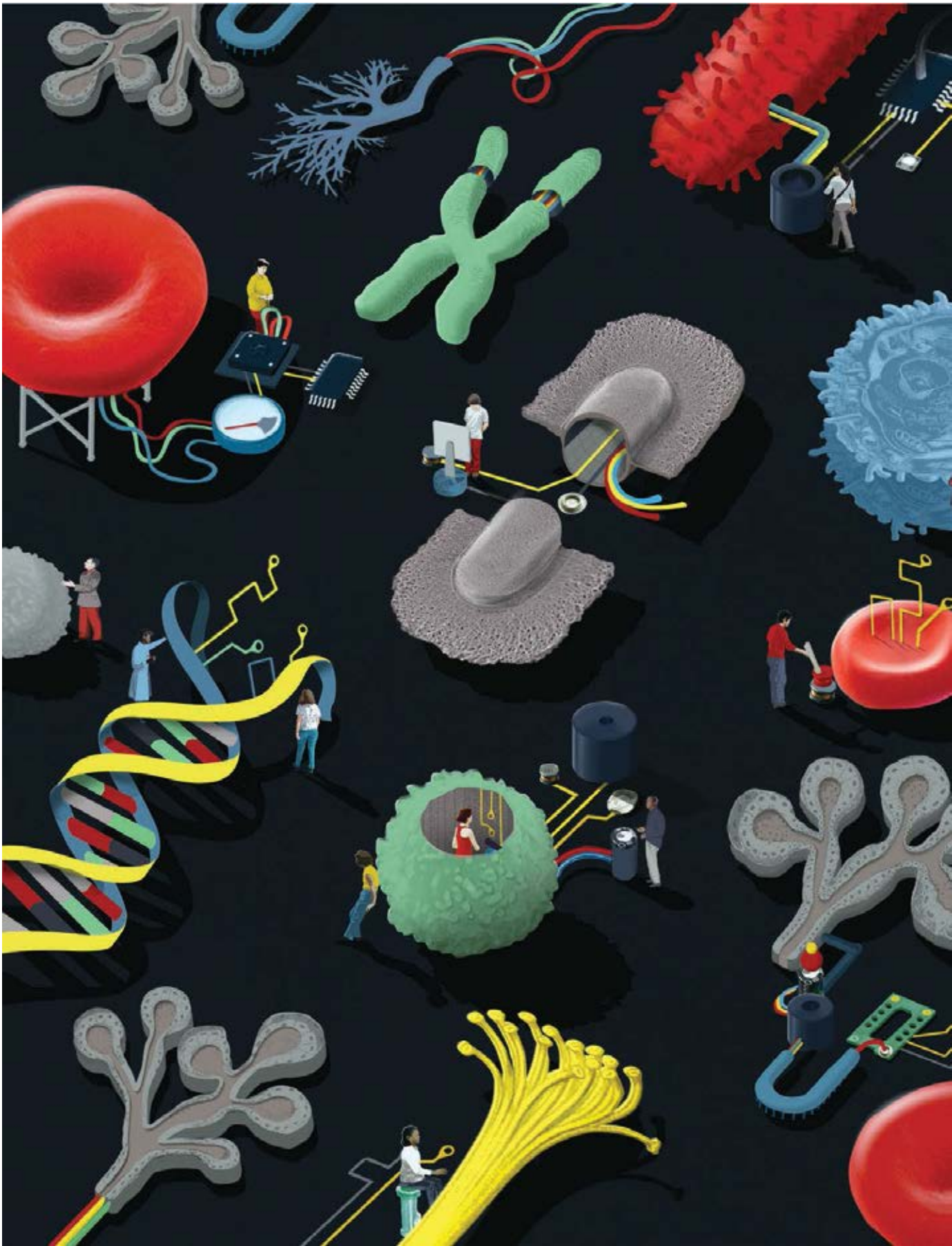


Illustration by Sam Falconer

ЖИВЫЕ КОМПЬЮ- ТЕРЫ

Скоро специалисты в области синтетической биологии научат живые клетки диагностировать заболевания человека и бороться с загрязнениями окружающей среды

Тимоти Лу и Оливер Перселл



Первые компьютеры были биологическими:

у них было две руки, две ноги и по пять пальцев на каждой руке. «Компьютер» — это была должность, а не название механизма. Профессия исчезла, когда в конце 1940-х гг. появились программируемые электрические счетные машины. И до недавнего времени мы называли компьютерами именно электронные приборы.

Однако в последние примерно 15 лет биологи возрождают другие значения слова «компьютер». Ученые в университетах и биотехнологических компаниях надеются, что скоро им удастся создать биокомпьютеры, причем это будут не только интересные объекты для исследований, но и полезный рабочий инструмент. У этих систем, состоящих из генов, белков и клеток, есть основные элементы, используемые в компьютерной логике: условный оператор *IF/THEN*, операции *AND* и *OR* и даже простые арифметические действия. Некоторые системы содержат примитивное цифровое запоминающее устройство. Получая соответствующие биологические сигналы, эти живые компьютеры дают (как правило) определенные ответные реакции.



ОБ АВТОРАХ

Тимоти Лу (Timothy K. Lu) — профессор, возглавляет группу синтетической биологии в Массачусетском технологическом институте. Они добавляют в живые клетки запоминающие фрагменты и вычислительные схемы и используют синтетическую биологию для создания биоматериалов и решения важных медицинских и производственных задач. Тимоти Лу — один из лауреатов стипендии Национальных институтов здравоохранения для поощрения исследований в новых областях. В 2014 г. он стал одним из основателей компании *Synlogic*.



Оливер Перселл (Oliver Purcell) — научный сотрудник группы синтетической биологии в Массачусетском технологическом институте, проводит исследования в разных областях синтетической биологии, начиная от создания частей биоинженерных организмов и заканчивая новейшими вычислительными методами для конструкции биологических систем.



Уже в ближайшие пять лет может начаться использование первых биологических компьютеров в качестве чувствительных и точных средств диагностики и лечения заболеваний человека, в том числе рака, различных воспалений и редко встречающихся нарушений обмена веществ. Мы и другие ученые, создающие эти клеточные вычислительные устройства, предвидим, что в недалеком будущем они будут достаточно безопасными и умными, чтобы диагностировать и лечить болезни. Благодаря этим технологиям появятся более дешевые и быстрые способы получения сложных химических соединений, например лекарств или биотоплива. С загрязнением окружающей среды можно будет бороться с помощью организмов, которые находят и разрушают ядовитые вещества. Пока биокомпьютерные технологии еще слабо развиты. Они находятся в зачаточном состоянии. Это не то что не уровень *iPhone*, но даже не *Colossus*.

Colossus был одним из первых программируемых электронно-вычислительных устройств. Если бы вы проникли в Блетчли-парк, сверхсекретный шифровальный центр, расположенный к северу от Лондона, где *Colossus* начал работать в 1944 г., вы бы увидели шумно движущуюся перфоленту и 1,6 тыс. гудящих ламп. По сегодняшним меркам *Colossus* был до смешного примитивен. Свое название он получил потому, что занимал всю комнату. Он мог выполнять всего несколько типов расчетов и не хранил своей собственной программы. Требовалось несколько дней или недель, чтобы сделать,

загрузить и проверить новую программу. Операторы каждый раз вынуждены были физически переставлять монтажные схемы.

Несмотря на все свои ограничения, *Colossus* мог взламывать шифр, который нацисты использовали для передачи наиболее важных сообщений. Это огромное компьютерное дитя помогло выиграть Вторую мировую войну. А его потомки спустя несколько десятилетий подтолкнули переход цивилизации из индустриального века в информационный.

Наиболее продвинутые клеточные компьютеры пока еще гораздо проще, медленнее и менее способные, чем *Colossus*. Подобно первым цифровым компьютерам, они не всегда работают, выполняют только простейшие программы и их нельзя перепрограммировать за пределами лаборатории. Однако мы убеждены, что эта технология будет развиваться на благо общества так же, как развивалась цифровая электроника. При умелом использовании даже устройство с небольшими способностями сможет произвести почти волшебные изменения в живом организме.

Скорее всего, клеточные компьютеры никогда не заменят электронные или оптические устройства. Биология не сможет победить в конкуренции с физикой твердых тел. Но химическая организация живой материи обладает собственными уникальными способностями и способна взаимодействовать с биологическими объектами так, как этого не могут делать электронные системы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Биоинженеры создали живые клетки, которые умеют подсчитывать, суммировать, запоминать данные и выполнять основные логические операции.
- Эти биокомпьютеры передают сообщения с помощью химических сигналов, при передаче которых неизбежно возникает шум. Кроме того, при создании биокомпьютеров не всегда удается предсказать заранее, как они будут себя вести: мы просто недостаточно знаем о работе клеток.
- В научно-исследовательских лабораториях и компаниях изучают возможность использовать специальные устройства, в том числе клетки, которые надо заглатывать, для лечения заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ.

Включить, выключить

Каждая клетка в нашем теле — в некотором роде маленький компьютер. Клетка получает сигналы, обычно в виде прикрепления к ее поверхности определенных молекул, и обрабатывает их с помощью сложной последовательности химических реакций. Иногда они влияют на уровень активности одного или нескольких генов в клеточной ДНК — изменяют экспрессию гена, т.е. интенсивность создания РНК-копий (транскрипции) и синтеза большого числа молекул белка, который закодирован этим геном (трансляции). В результате этих аналоговых химических вычислений формируется ответная реакция: высвобождение гормона клеткой желез, электрический сигнал в нервной клетке, выработка антител иммунной клеткой и т.д.

Занимаясь синтетической биологией, мы стремимся сделать так, чтобы за счет своих естественных способностей к переработке информации клетки начали бы выполнять созданные нами программы. То, что мы пытаемся сделать, далеко выходит за рамки обычной генетической инженерии, когда ген просто «выключают» или усиливают его экспрессию, или вводят один-два гена в клетки организма другого вида. Наша задача — быстро и надежно поменять поведение сразу многих типов клеток (или популяций клеток), примерно так, как это делает инженер-электрик в монтажной схеме: выбирая определенные детали из имеющегося списка и соединяя их друг с другом. К сожалению, биология отличается от электроники, что значительно затрудняет задачу, но об этом позже.

Развитие направления идет медленно, но верно. Первые большие достижения были получены в 2000 г. Тогда Джеймс Коллинз (James Collins) из Бостонского университета вместе с коллегами соединили два взаимно выключающих гена, сделав генетический переключатель, который может находиться в одном из двух стабильных положений, — один бит памяти. В том же году исследователи под руководством Майкла Эловица (Michael Elowitz), работавшего тогда в Принстонском университете, встроили примитивный генетический осциллятор в геном кишечной палочки (*Escherichia coli*). Генетически модифицированные микробы мерцали, как рождественские огоньки, поскольку ген, кодирующий флуоресцентный белок, то включался, то выключался.

К 2003 г. Рон Уэйсс (Ron Weiss), работавший тогда в Принстонском университете, создал «Златовласку» — систему генов, благодаря которой клетка

светится, если концентрация веществ в среде оптимальна: не слишком велика и не снижена. В этой системе соединены вместе четыре инвертирующих элемента, меняющих сигнал на противоположный.

Спустя несколько лет Адам Аркин (Adam Arkin) из Калифорнийского университета в Беркли вместе с коллегами создал память, которая может передаваться по наследству. Когда система запускается, фермент рекомбиназа вырезает маленькие фрагменты ДНК, переворачивает их и вставляет обратно. Когда клетка делится, измененная ДНК передается дочерним клеткам. Это очень полезное свойство, поскольку многие бактерии делятся каждый час или два.

Изготовление частей, выполняющих одну из операций, — это хорошо, но мало; гораздо сложнее и полезнее собрать большое количество фрагментов в единую систему. Специалисты в области

Скорее всего, клеточные компьютеры никогда не заменят электронные устройства. Но химическая организация живой материи обладает собственными уникальными способностями и может взаимодействовать с биологическими объектами так, как этого не могут делать электронные системы

синтетической биологии создали генетические фрагменты для выполнения всех операций булевского типа (*AND*, *OR*, *NOT*, *XOR* и т.д.). К 2011 г. две группы исследователей вставили отдельные логические элементы в бактериальные клетки и запрограммировали клетки так, что они передавали друг другу сигналы с помощью химических веществ, фактически образуя многоклеточные компьютеры.

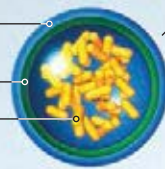
Позже Мартин Фуссенеггер (Martin Fussenegger), Симон Ауслендер (Simon Ausl nder) и другие исследователи из Швейцарской высшей технической школы Цюриха собрали из таких фрагментов более сложную систему, которая могла выполнять простые арифметические действия. Один из нас (Тимоти Лу), работая вместе с Коллинзом, с Джорджем Черчем (George Church) из Гарвардской медицинской школы и другими коллегами, объединил несколько блоков передающейся по наследству памяти, создав штамм кишечной палочки, который умеет считать до трех. Состояние памяти в этой системе не меняется от одного поколения

Биокомпьютерная диагностика

Биокомпьютеры могут применяться для решения множества задач в сельском хозяйстве, производстве лекарств и медицине. Если добавить даже совсем чуть-чуть компьютерной логики в живую клетку, у нее может появиться чрезвычайно полезное поведение.

В научно-исследовательских лабораториях уже идет работа по созданию генетически модифицированных бактерий, которые можно безопасно проглатывать в виде пилюли, — они пройдут по пищеварительной системе и проверят, нет ли там специфических признаков определенных заболеваний. Врачи смогут быстро поставить точный диагноз, поместив мазок фекалий в считывающий аппарат. Такая технология позволит избежать большого количества неопределенностей, задержек и неверных диагнозов, которые часто случаются в гастроэнтерологии.

Кислотоустойчивая оболочка
Защитный слой
Бактерии-биокомпьютеры



1 Для биокомпьютерной диагностики воспалительного заболевания кишечника (ВЗК) будет использоваться маленькая пилюля, содержащая миллионы бактерий, возможно, штамм *Bacteroides thetaiotaomicron*, который в норме живет в кишечнике человека. В каждой бактерии содержится несколько встроенных вычислительных элементов (описаны справа).

2 В тонком кишечнике внешний защитный слой пилюли растворяется и бактерии высвобождаются. По мере того как бактерии проходят сквозь кишечник, встроенные в них датчики могут уловить одновременно присутствие двух и более разных биологических сигналов — тех сигналов, которые появляются вместе, только если у пациента ВЗК.

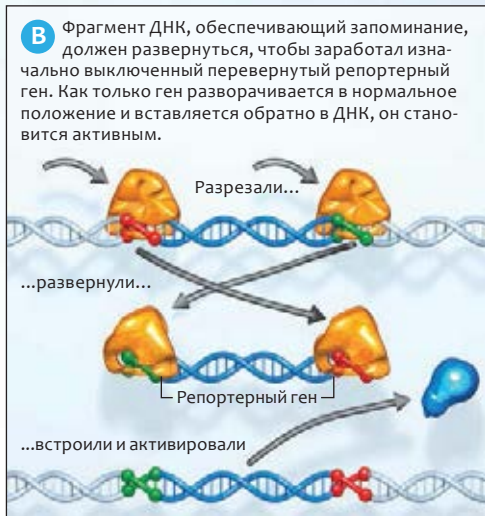
3 При переходе из толстой кишки в прямую сигналы, характерные для заболевания, больше не обнаруживаются, но элемент памяти, встроенный в бактерию, сохраняет эту информацию.

4 В процессе дефекации бактерия выходит из организма. Каждая генетически модифицированная клетка, которая повстречала сигнал во время своего пути, вырабатывает большое количество люминесцентного белка, который обеспечивает слабое свечение и может быть обнаружен с помощью считывающего устройства. Получив информацию, врач и пациент принимают решение о лечении.

Тонкая кишка
Толстая кишка
Прямая кишка

Как это устроено

Добавив всего несколько элементов в геном бактерии, специалисты в области биоинженерии смогли превратить живой микроорганизм в средство диагностики воспалительного заболевания кишечника. В этой вставке находятся два датчика, работающих вместе, как оператор AND, фрагмент, обеспечивающий запоминание, и ген, благодаря которому создается исходящий люминесцентный сигнал.



к другому. Это очень важная особенность, поскольку она позволяет сохранять информацию о прошлых биохимических событиях, которую можно будет извлечь в будущем. Счетчик, который мы сделали, можно улучшить, чтобы он запоминал большие числа и записывал важные биологические события, такие как деление клетки или клеточное самоубийство.

Возможности использования микрошпионов

После того как было показано, что такие устройства в принципе возможны, встал вопрос о перспективах их практического применения. За последние несколько лет мы и другие исследователи нашли много способов создания сенсорных элементов, логических операторов и компонентов памяти для выполнения полезных задач в живых клетках.

Например, в 2011 г. Уэйсс, сейчас сотрудник Массачусетского технологического института, Чжень Се (Zhen Xie), на сегодня работающий в Университете Цинхуа в Китае, и Яков Бененсон (Yaakov Benenson) из Швейцарской высшей технической школы Цюриха создали значительно более сложную генетическую логическую систему, которая может запустить самоуничтожение клеток, если у них есть характерные раковые признаки. Эта система проверяет наличие шести различных биологических сигналов, в данном случае коротких фрагментов РНК, которые называются микроРНК и регулируют экспрессию гена. Эти шесть микроРНК характерны для человеческой раковой клетки линии HeLa. Когда система попадает в такие клетки, она переключается на программу уничтожения и вырабатывает белок, который вынуждает клетку совершить самоубийство. В других клетках система не активна и клетка не погибает.

Другая группа исследователей, куда вошли и мы, предложила биоконструкции, умеющие выполнять основные арифметические действия (сложение или вычитание), вычислять коэффициенты и логарифмы, превращать двухразрядные цифровые сигналы в аналоговые, выраженные в количестве белка, и для всех этих логических элементов записывать и передавать состояние «включен/выключен» от родительской клетки к дочерним.

В прошлом году две исследовательские группы из Массачусетского технологического института, наша и Кристофера Войта (Christopher Voigt), создали микроорганизм — биоконструктор, который работает в кишечнике млекопитающих. Мы проверяли его работу в кишечнике мышей, но бактерия, геном которой мы модифицировали, *Bacteroides thetaiotaomicron*, в норме обнаруживается в очень больших количествах в кишечнике примерно половины взрослых людей. Ранее Памела Сильвер

(Pamela Silver) из Гарвардской медицинской школы вместе с коллегами изменила геном кишечной палочки и запустила этих бактерий работать в мышине кишечника.

Система, вставленная в геном бактерии, превращает ее в шпиона. Пока микроб находится внутри кишечника, в специальном участке его ДНК, как в записной книжке, отмечается, столкнулся ли он с определенным химическим веществом. В качестве этого вещества использовались безвредные соединения, которые мы могли добавлять мышам в пищу, но систему можно легко настроить на выявление ядовитых веществ или же соединений, которые появляются в организме только при наличии определенного заболевания.

Бактерии-детекторы выделяются с мышинным пометом. У тех микробов, которые сталкивались с определенным веществом, запускается синтез фермента люциферазы, которая вызывает свечение в темноте. Это сигнальное свечение довольно слабое, но мы можем увидеть его под микроскопом.

Маловероятно, что биокомпьютеры когда-нибудь будут производить математические вычисления или обработку данных быстрее, чем это делают обычные компьютеры

Легко представить, каким образом такие системы помогут людям с заболеваниями пищеварительной системы, например воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК). Скоро у нас появится возможность так программировать безвредные, обычно обитающие в кишечнике бактерии, что они будут наблюдать и сообщать о появлении первых признаков рака или ВЗК. Бактерии будут сигнализировать об этом, меняя цвет фекалий или вырабатывая определенное вещество, которое можно будет выявить с помощью недорогих средств, похожих на те, что используются при домашнем тесте на беременность.

Сложности при создании биокомпьютеров

Клеточным шпионам вроде тех, которых мы только что описали, не нужно обладать большой вычислительной мощностью, чтобы кардинально улучшить имеющиеся возможности диагностики. Нужны элемент *IF/THEN*, несколько элементов *AND* и *OR* и один-два бита передающейся по наследству памяти. Хорошо, что этого достаточно, поскольку биоинженеры встречаются с большим количеством трудностей, с которыми никогда не сталкивается инженер-разработчик электронных вычислительных устройств.

По сравнению с гигагерцевыми частотами электронных устройств биологические приборы работают с черепашной скоростью. Когда наша генетическая система получает входной сигнал, обычно проходят часы, прежде чем появится сигнал на выходе. К счастью, многие биологические события, которые мы хотим зарегистрировать, появляются не на короткое время. Тем не менее исследователи продолжают искать способы ускорить процесс вычисления в живых клетках.

Еще одна проблема — обеспечение взаимодействия между компонентами системы. В обычных компьютерах это решается просто: отдельные части соединяются с помощью проводов. Если один провод идет от нескольких компонентов сразу, можно дать каждому свой определенный небольшой промежуток времени для передачи сообщений и таким образом синхронизировать работу всех частей системы и получить общий четкий сигнал.

Но в биологических объектах нет проводов и генератора синхроимпульсов. Передача сигналов внутри и между клетками изначально осложнена

шумами, как у радио. Одна из причин возникновения шумов следующая: биологические объекты при коммуникации передают сигнал химическим способом, а не по проводам. Все части системы, использующие какой-то конкретный химический канал передачи, могут говорить одновременно. Что еще хуже, химические реакции, ле-

жащие в основе передачи и восприятия сигналов, сами по себе создают шум. Биохимия — это во многом случайные процессы. Поэтому важной проблемой остается создание таких систем, которые работали бы надежно, несмотря на наличие шума.

Эти проблемы особенно актуальны для тех систем, где используются аналоговые вычисления, потому что, подобно логарифмической линейке, они зависят от значений (уровень содержания белков или РНК), которые могут меняться почти непрерывно. И наоборот, цифровые системы обрабатывают сигналы, которые могут иметь только значения «высокий/низкий» или «истина/ложь». И если цифровые системы не страдают от шума, в биокомпьютерах очень мало деталей могут работать подобным образом.

Самая большая проблема, с которой мы сталкиваемся, — не предсказуемость, а, честно говоря, наше невежество. При создании электронного вычислительного прибора можно почти с идеальной точностью предсказать, как будет вести себя новый прибор, еще до того, как он будет сделан. Биологи сейчас не понимают до конца, как именно работают клетки, даже такие простые, как бактериальные, поэтому не удается делать надежных

предсказаний. Мы движемся вперед в основном методом проб и ошибок и часто обнаруживаем, что созданные нами системы работают только некоторое время, а затем разваливаются. Очень часто мы не понимаем, почему так происходит.

Но мы учимся, и одна из важных причин, почему надо делать клеточные компьютеры, — потому что в процессе их создания, тестирования и отладки мы выясняем те аспекты клеточной биологии и генетики, которые не были известны ранее.

Рождение нового компьютера

Могут потребоваться десятилетия на то, чтобы решить все эти проблемы. Некоторые из них, связанные с низкой скоростью биологических процессов, возможно, останутся нерешенными навсегда. Поэтому кажется маловероятным, что производительность биокомпьютеров будет расти так же стремительно, как это произошло с цифровыми вычислительными устройствами. Мы не рассчитываем, что биокомпьютеры когда-нибудь будут производить математические вычисления или обработку данных быстрее, чем это делают обычные компьютеры. Но создание биокомпьютеров будет ускоряться по мере того, как растет скорость, с которой мы можем расшифровывать и синтезировать ДНК. По аналогии с законом Мура эта тенденция ежегодно снижает количество времени, необходимого для разработки, создания, тестирования и совершенствования наших генетических систем.

Пока это только первые шаги, но потом начнется и коммерческое применение биокомпьютеров. Клетки могут перемещаться среди живых тканей, распознавать сложные химические сигналы, стимулировать рост и исцеление так, как никогда не сможет ни один микрочип. Когда будет хорошо работать биокомпьютерная диагностика, можно будет научить биокомпьютеры сразу лечить заболевание прямо там, где они его обнаружили.

Рак крови уже пытаются лечить таким способом: у больного берут иммунные клетки Т-лимфоциты, встраивают в них гены, обучающие лимфоцит убивать раковые клетки, и вводят эти клетки обратно в организм. Сейчас исследователи работают над тем, чтобы добавить логический элемент в генетическую схему, чтобы Т-лимфоциты могли распознавать разные признаки раковой клетки. Кроме того, туда будет добавлен выключатель, чтобы врачи могли контролировать работу этих клеток. Таким способом можно будет лечить многие формы рака.

В 2013 г. Коллинз и Лу, объединившись с другими биологами, основали фармацевтическую компанию *Synlogic* для разработки генетически модифицированных бактерий — пробиотиков, которые можно просто проглатывать. Сейчас они совершенствуют биокомпьютеры, предназначенные для

лечения фенилкетонурии и нарушений цикла мочевины, двух редких, но серьезных нарушений обмена веществ, от которых люди страдают с самого рождения. Начались испытания на животных, и их результаты обнадеживают.

Когда мы лучше разберемся в том, как микрофлора человека влияет на его здоровье, мы сможем сделать генетически модифицированных бактерий для лечения более широкого спектра заболеваний, не только раковых, но и воспалительных, нарушений обмена веществ и заболеваний сердечно-сосудистой системы. По мере накопления опыта и постоянного увеличения разнообразия фрагментов, которые можно использовать для вставки в геном, «умная» медицина окрепнет и распространится гораздо шире. По-видимому, в дальнейшем эта технология перейдет из медицины и в другие области. Так, модифицированные бактерии могут стать эффективными производителями биотоплива. В химии и производстве материалов биокомпьютеры могут использоваться для получения веществ, которые сейчас сложно получить, или там, где необходим точный контроль над процессом биопроизводства. В области охраны природы биокомпьютеры можно использовать в труднодоступных местах для оценки длительности воздействия ядовитых веществ и для проведения обезвреживания.

В этой сфере происходят стремительные изменения. Почти наверняка самые удивительные направления использования биокомпьютеров еще не обнаружены. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Гиббс У. Синтетическая жизнь // ВМН, № 8, 2004.
- Multi-input RNAi-Based Logic Circuit for Identification of Specific Cancer Cells. Zhen Xie et al. in *Science*, Vol. 333, pages 1307–1322; September 2, 2011.
- Synthetic Analog and Digital Circuits for Cellular Computation and Memory. Oliver Purcell and Timothy K. Lu in *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 29, pages 146–155; October 2014.
- Programming a Human Commensal Bacterium, *Bacteroides thetaiotaomicron*, to Sense and Respond to Stimuli in the Murine Gut Microbiota. Mark Mimee et al. in *Cell Systems*, Vol. 1, No. 1, pages 62–71; July 29, 2015.
- Список основных достижений в процессе развития биокомпьютеров см. по адресу: ScientificAmerican.com/apr2016/biocomputing



ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Тайна нейтрона



Два высокоточных эксперимента расходятся в определении того, как долго живет нейтрон, прежде чем распасться. Обусловлено ли это расхождение ошибками измерений или же указывает на загадки, лежащие на более глубоком уровне?

Петер Гельтенборт и Джеффри Грин

ОБ АВТОРАХ

Петер Гельтенборт (Peter Geltenbort) — научный сотрудник Института им. Лауэ — Ланжевена в Гренобле (Франция), где он использует один из самых мощных в мире источников нейтронов для исследования фундаментальной природы этой частицы.

Джеффри Грин (Geoffrey L. Greene) — профессор физики Университета Теннесси, по совместительству работает на нейтронном генераторе Ок-Риджской национальной лаборатории. Изучает свойства нейтронов более 40 лет.



К счастью для всего живого на Земле, большая часть материи не- радиоактивна. Мы принимаем данный факт как само собой разумеющееся, но на самом деле это удивительно, поскольку нейтрон, один из двух компонентов атомного ядра (вместе с протоном), имеет склонность к радиоактивному распаду. Внутри атомного ядра типичный нейтрон может существовать в течение очень долгого времени, не распадаясь, но предоставленный самому себе, он превращается в другие частицы в течение примерно 15 минут. Слово «примерно» прикрывает неприятную брешь в понимании этой частицы. Как мы ни старались, но так и не смогли точно измерить время жизни нейтрона.

Загадка времени жизни нейтрона — это не просто досадный пробел в знаниях для нас, экспериментаторов; ее разрешение жизненно важно для постижения природы Вселенной. Процесс распада нейтрона — это один из самых простых примеров слабого ядерного взаимодействия, одной из четырех фундаментальных сил природы. Чтобы достичь истинного понимания силы слабого взаимодействия, нам нужно знать, сколько времени живет нейтрон. Более того, время жизни нейтрона определяет, как образовались первые самые легкие химические элементы после Большого взрыва. Космологи хотели бы вычислить ожидаемое количество элементов и сравнить его с астрономическими измерениями: соответствие расчетных и экспериментальных данных стало бы подтверждением нашей теоретической картины мира, а расхождение показало бы, что на процесс

вливают неизвестные явления. Однако чтобы выполнить такое сравнение, нам необходимо знать время жизни нейтрона.

Более десяти лет назад две группы экспериментаторов, одна во Франции, возглавляемая русскими, другая в США, независимо друг от друга пытались с большой точностью измерить время жизни нейтрона. Один из нас (Петер Гельтенборт) был членом первой группы, а другой (Джеффри Грин) — второй. Вместе с коллегами мы были поражены, когда узнали, что наши результаты значительно расходятся. Некоторые теоретики предположили, что разница возникла в результате экзотических физических явлений, — может быть, часть нейтронов во время эксперимента превратилась в частицы, ранее никогда не бывавшие обнаруженными, которые влияли бы на различные эксперименты по-разному. Но все же мы подозреваем существование

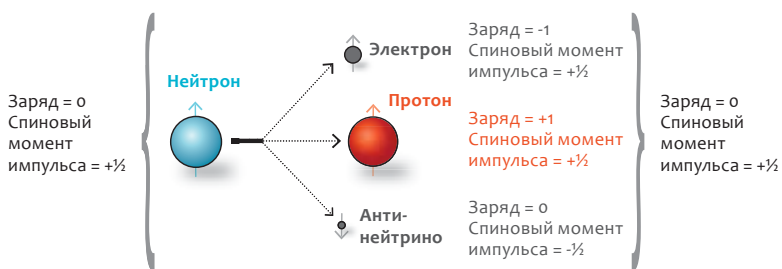
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Самые изощренные эксперименты в мире не могут прийти к согласию относительно того, как долго живет нейтрон, прежде чем распасться на другие частицы.
- Проводятся два основных типа экспериментов: в ловушках-«бутылках» подсчитывают количество нейтронов, которые выжили через различные промежутки времени, а в «пучковых» экспериментах ищут частицы, в которые превратились нейтроны в результате распада.
- Устранение расхождения жизненно важно для ответа на несколько фундаментальных вопросов о Вселенной.

ОСНОВЫ ФИЗИКИ НЕЙТРОНОВ

Как распадаются нейтроны

Несмотря на несколько десятилетий тщетных усилий, ученые пока не смогли точно измерить, как долго живут нейтроны вне атомных ядер: лучшие эксперименты в мире дают конфликтующие друг с другом результаты. Хотя продолжительность жизни нейтрона остается неопределенной, причина его распада хорошо известна. В процессе, получившем название « β -распад», нейтрон превращается в протон с образованием одновременно электрона и антинейтрино — близнеца нейтрино из мира антиматерии. При распаде суммарный заряд и спиновый момент импульса образовавшихся в конечном итоге частиц равны этим величинам у исходной частицы.



более земных причин: возможно, одна из групп (или даже обе) просто допустила ошибку, или же, что еще более вероятно, неправильно оценила точность эксперимента. Американская группа недавно завершила долгий и скрупулезный проект по изучению основных источников неопределенности в своем эксперименте в надежде найти причину расхождения. Но вместо того чтобы прояснить ситуацию, эта работа подтвердила полученные нами ранее результаты. Аналогичным образом другие ученые подтвердили результаты группы Гельтенборга. Это расхождение запутало нас еще больше. Но мы не сдаемся — обе группы, и другие исследователи тоже, продолжают искать ответы.

Измерение времени жизни нейтрона

Теоретически измерение времени жизни нейтрона — не бог весть какая задача. Физика ядерного распада хорошо исследована, и у нас есть современные методы изучения этого процесса. Например, мы знаем, что если частица имеет возможность превратиться в другую или в несколько частиц с меньшей суммарной массой при сохранении таких характеристик, как заряд и спиновый момент импульса, то она именно так и поступит. Как раз такую нестабильность и демонстрируют свободные нейтроны. В процессе, называемом β -распадом, нейтрон превращается в протон, электрон и антинейтрино (двойник нейтрино из антиматерии), суммарная масса которых чуть-чуть меньше его собственной массы, но суммарные электрический заряд, спиновый момент импульса и другие свойства остаются неизменными. Сохранение этих свойств, включая «массу-энергию», означает, что дочерние частицы уносят разницу в массе в форме кинетической энергии, или, по-другому, энергии движения.

Мы не можем точно предсказать, когда распадется тот или иной нейтрон, поскольку этот процесс по своей природе — случайное квантовое явление, мы можем только сказать, как долго в среднем нейтроны живут. Таким образом, мы должны измерять среднее время жизни нейтрона, изучая распад множества нейтронов.

Ученые используют два экспериментальных метода — первый, называемый «экспериментом по хранению нейтронов» или «бутылочным», и второй, получившим название «пучковый». В «бутылочном» эксперименте нейтроны помещают в контейнер и подсчитывают, сколько нейтронов

осталось там спустя некоторое время. При использовании «пучкового» метода регистрируют, наоборот, не исчезновение нейтронов, а появление частиц, на которые они распадаются.

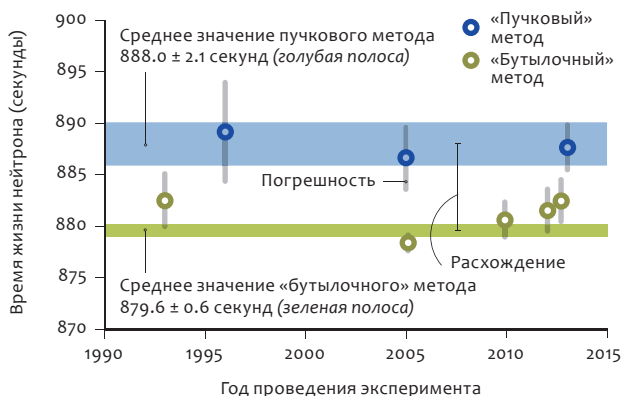
«Бутылочный» метод особенно сложен, поскольку нейтроны легко проходят сквозь вещество, а значит и через стенки большинства контейнеров. Следуя по пути, впервые детально разработанному русским физиком Юрием Зельдовичем, экспериментаторы, использующие «бутылочный» метод (как, например, Гельтенборг и его коллеги во Франции), обходят проблему, удерживая чрезвычайно холодные нейтроны, т.е. нейтроны с очень низкой кинетической энергией, внутри емкости с очень гладкими стенками. Если нейтроны достаточно медленные, а стенки бутылки достаточно гладкие, они отражаются от стенок и, следовательно, остаются в бутылке. Чтобы достичь такого эффекта, нейтроны должны двигаться со скоростью порядка несколько метров в секунду, а не примерно 10 млн м/с, с которой нейтроны летят, например, образовавшись в реакциях ядерного деления. Эти «ультрахолодные» нейтроны настолько медленные, что вы смогли бы их обогнать. Самый точный «бутылочный» эксперимент на сегодня был проведен в Институте им. Лауэ — Ланжевена в Гренобле.

К сожалению, не существует абсолютно совершенной емкости. Если нейтроны случайно утекают из бутылки, мы отнесем эти потери на счет β -распада и получим неправильное время жизни. Следовательно, мы обязательно должны скорректировать наши вычисления таким образом, чтобы учесть только те частицы, которые действительно подверглись β -распаду.

Различные методики, различные результаты

Ученые испробовали два основных метода измерения среднего времени жизни нейтрона: «бутылочный» и «пучковый». Различные изменения «бутылочным» методом, проведенные на протяжении нескольких лет, находятся в согласии друг с другом внутри рассчитанных для каждого из них погрешностей. То же самое справедливо и в отношении «пучковых» экспериментов. Однако результаты этих двух различных методов друг с другом конфликтуют. Расхождение примерно на 8 с между средними значениями, полученными «бутылочным» и «пучковым» методами, возможно, покажутся незначительными, но это существенно больше, чем погрешность измерений, а это означает, что расхождения представляют собой реальную проблему. Или ученые неправильно оценили погрешность результатов своих измерений, или же, что еще интереснее, разница возникает в результате какого-то неизвестного физического явления.

Измерения времени жизни нейтрона



«Бутылочный» метод
 Один из способов измерить, как долго живут нейтроны, — наполнить нейтронами контейнер и при одних и тех же условиях спустя различные промежутки времени проверять, как много их осталось. По результатам этих проверок нанесите точки на график и по ним постройте гладкую кривую, которая будет отражать распад нейтронов с течением времени. На основании этой кривой, пользуясь простой формулой, ученые вычисляют среднее время жизни нейтрона. Поскольку нейтроны время от времени ускользают сквозь стенку бутылки, ученые варьируют размер бутылки, а также энергию нейтронов — и то и другое влияет на количество частиц, ускользнувших из бутылки, — чтобы привести результаты к случаю гипотетической идеальной бутылки, не дающей нейтронам ни единого шанса выбраться наружу.

Чтобы внести эту поправку, мы используем хитроумный метод. Число нейтронов, прошедших сквозь стенки бутылки, зависит от числа нейтронов, сталкивающихся со стенкой за единицу времени. Чем медленнее нейтроны или больше бутылка, тем меньше это число, а значит и число нейтронов, прошедших сквозь стенку. Варьируя как размер емкости, так и энергию (скорость) нейтронов в последовательности экспериментов, мы можем экстраполировать результат для гипотетической бутылки, в которой полностью отсутствуют столкновения, следовательно и потеря нейтронов через стенки сосуда. Конечно же, эта экстраполяция несовершенна, но мы сделали все, что было в наших силах, чтобы учесть любую возможную ошибку в вычислениях.

В «пучковом» методе, использованном Грином с коллегами в Центре исследований нейтронов Национального института стандартов и техники, мы направляли пучок холодных нейтронов через магнитное поле и кольцо высоковольтных электродов, которые захватывали положительно заряженные частицы. Поскольку нейтроны электрически

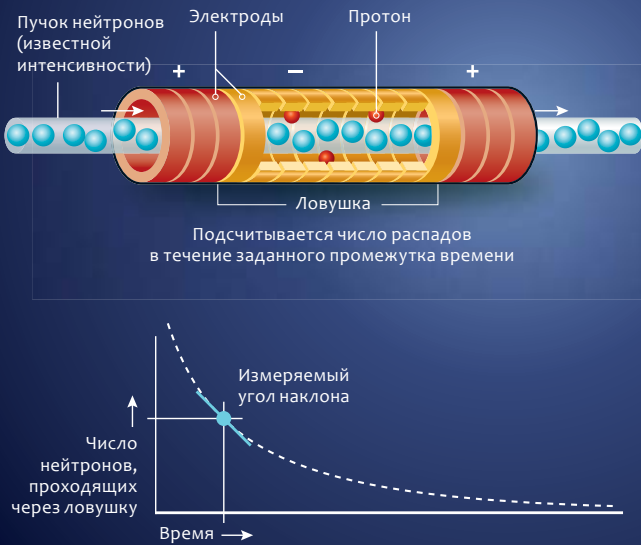
нейтральны, они легко проходили через ловушку. Однако если нейтроны распались внутри ловушки, образовавшиеся в результате положительно заряженные протоны «прилипали» к ней. Периодически мы «открывали» ловушку, доставали и считали протоны. В принципе, процедура улавливания и обнаружения протонов почти совершенна, и нам требовалось лишь очень небольшая корректировка на случай, если мы пропустили какие-то акты β -распада.

Где мы могли пойти неверным путем?

Чтобы измерение имело смысл, оно должно быть подкреплено надежной оценкой его точности. Например, измерение роста человека с погрешностью в 1 м имеет гораздо меньше смысла, чем измерение с точностью до 1 мм. По этой причине, когда мы делаем точные измерения, мы всегда указываем погрешность эксперимента. Например, погрешность в одну секунду означает, что наше измерение с высокой вероятностью будет не более чем на секунду больше или на секунду меньше отличаться от истинного значения.

«Пучковый» метод

В отличие от «бутылочного» метода в «пучковом» ищут не нейтроны, а один из продуктов их распада — протоны. Ученые направляют поток нейтронов через электромагнитную ловушку, представляющую собой магнитное поле и высоковольтные электроды в форме кольца. Нейтральные нейтроны спокойно минуют ловушку, но, если какой-либо из них распадется внутри ловушки, то образовавшийся в результате положительно заряженный протон будет ею захвачен. Ученые знают, сколько нейтронов было в пучке, а также сколько времени занимает их прохождение через ловушку, поэтому, подсчитав протоны в ловушке, могут получить число нейтронов, которые распались в этот промежуток времени. Таким образом измеряют скорость распада, представляющую собой тангенс угла касательной к кривой распада в данной точке, которая позволяет ученым вычислить среднее время жизни нейтрона.



Любое измерение имеет, как правило, два источника погрешностей. Статистическая ошибка возникает потому, что в ходе эксперимента можно измерить только конечные величины, в нашем случае это конечное число распадов частиц. Чем больше выборка, тем надежнее измерение и меньше статистическая ошибка.

Второй источник погрешности — систематическую ошибку — оценить намного труднее, поскольку она возникает из-за несовершенства процесса измерения. Одним из таких слабых мест может быть что-нибудь простое вроде плохо откалиброванной линейки, используемой для измерения роста человека. Или же недостатки могут быть трудноуловимыми, как это происходит в случае смещения выборки, — если при телефонном опросе, например, полагаться лишь на звонки по проводной телефонной сети, не пользуясь сотовой связью, и таким образом неправильно отразить мнение репрезентативной группы населения. Экспериментаторы принимают все возможные меры, чтобы уменьшить эти систематические ошибки, однако полностью устранить их невозможно.

Все, что можно сделать, — это провести детальное изучение всех, которые только можно представить, источников ошибок и затем оценить остаточное влияние каждого из них на конечный результат. Затем мы добавляем эту систематическую ошибку к статистической и получаем наилучшую оценку общей надежности измерения. Другими словами, мы прикладываем огромные усилия для оценки «известных неизвестных».

Но, конечно, наши самые большие опасения заключаются в том, что мы упустили «неизвестное неизвестное» — систематическое воздействие, о котором мы даже не знаем, что ничего о нем не знаем, — таящееся внутри самого метода проведения эксперимента. Наряду с тем, что мы до изнеможения пытаемся выявить все возможные источники погрешностей, единственный способ устранить этот источник дополнительной ошибки с высокой степенью уверенности — провести другое, полностью независимое измерение, используя совершенно иной экспериментальный метод, в котором нет одинаковых систематических воздействий. Если результаты обоих таких измерений согласуются в пределах их заявленных погрешностей, у нас есть уверенность в их надежности. С другой стороны, если результаты расходятся, у нас появляется проблема.

Для измерения времени жизни нейтрона мы воспользовались двумя такими независимыми методами: «пучковым» и «бутылочным». Самые последние результаты «пучкового» эксперимента в Национальном институте стандартов и техники США дали для времени жизни нейтрона величину 887,7 с. Мы определили статистическую погрешность нашей оценки, равную 1,2 с, и систематическую погрешность в 1,9 с. Статистическая сумма обеих погрешностей дает в итоге 2,2 с, что означает, что мы полагаем, что истинная величина времени жизни нейтрона с вероятностью 68% находится внутри интервала шириной 2,2 с от измеренной величины.

«Бутылочный» эксперимент в Институте им. Лауэ — Ланжевена, с другой стороны, показал время жизни нейтрона равным 878,5 с со статистической погрешностью 0,7 с, систематической погрешностью 0,3 с и суммарной — 0,8 с.

Это два самых точных в мире эксперимента по определению времени жизни нейтрона, и их результаты разнятся примерно на 9 с. Такая разница во времени жизни, возможно, покажется не очень значительной, но она значительно больше, чем вычисленные погрешности обоих экспериментов. Вероятность случайно получить разницу такой величины — менее чем одна десятичная. Следовательно, мы должны серьезно рассмотреть возможность того, что расхождение

возникло из-за «неизвестного неизвестного»: мы упустили из внимания что-то очень важное.

Экзотическая физика

Потрясающим объяснением этой разницы могло бы оказаться то, что она фактически отражает какое-то экзотическое физическое явление, пока еще не открытое. Причина полагать, что такое явление, возможно, существует, заключается в том, что, хотя «бутылочный» и «пучковый» методы показывают различные результаты, другие «пучковые» эксперименты демонстрируют хорошее согласие между собой, равно как и другие «бутылочные».

Представьте, например, что кроме обычного β -распада нейтроны распадаются в ходе какого-то ранее неизвестного процесса, при котором протоны, подсчитываемые в «пучковом» эксперименте, не образуются. «Бутылочный» эксперимент, в котором подсчитываются все «потерянные» нейтроны, учитывает как нейтроны, исчезнувшие в результате β -распада, так и те, что претерпели второй вариант превращения. В результате мы пришли бы к выводу, что время жизни нейтрона короче, чем

количество темной материи во Вселенной. Хотя эта идея стимулировала новые исследования, она остается в большой степени гипотетической. Необходимо более определенное подтверждение расхождения между «бутылочным» и «пучковым» методами, прежде чем большинство физиков приняли бы такую радикальную концепцию, как зеркальная материя.

Намного более вероятно, на наш взгляд, то, что в одном (а возможно, и в обоих) из экспериментов был недооценен или остался незамеченным какой-то системный эффект. Такая вероятность всегда существует, когда работаешь с тонкой и чувствительной экспериментальной установкой.

Почему так важно время жизни нейтрона

Понимание того, что мы упустили из виду, безусловно принесет нам, экспериментаторам, душевное равновесие. Но еще важнее то, что, если мы сможем добраться до корня этой загадки и точно измерить время жизни нейтрона, мы, вероятно, получим возможность приняться за поиск ответов на нескольких давно сформулированных фундаментальных вопросов, касающихся нашей Вселенной.

Прежде всего, точная оценка временной шкалы распада нейтрона расскажет нам о том, как сила слабого взаимодействия действует на другие частицы. Сила слабого взаимодействия ответственна почти за все явления радиоактивного распада и, например, выступает причиной того, что ядерный синтез происходит в недрах Солнца. β -распад нейтрона — один из самых простых и чистых примеров проявления сил слабого взаимодействия. Чтобы

Если бы нейтроны распадались со скоростью намного большей, чем остывала Вселенная, к тому времени, когда Вселенная достигла бы температуры, необходимой и достаточной для образования ядер, не осталось бы ни одного нейтрона — только протоны, и космос состоял бы почти исключительно из водорода

вычислить детали других, более сложных ядерных процессов, в которых участвуют силы слабого взаимодействия, мы сначала должны отчетливо понимать, как они действуют во время β -распада нейтрона.

Определение точной скорости распада нейтрона помогло бы также проверить теорию Большого взрыва в расчетах эволюции космоса на самых ранних ее этапах. Согласно существующей теории, когда Вселенной была всего примерно секунда от роду, она состояла из горячей плотной смеси частиц: протонов, нейтронов, электронов и прочих. В то время температура Вселенной составляла около 10 млрд градусов — настолько жарко, что эти частицы были слишком горячими, чтобы объединяться друг с другом в ядра и атомы. Спустя приблизительно три минуты Вселенная расширилась и остыла до температуры, при которой протоны

вычислить детали других, более сложных ядерных процессов, в которых участвуют силы слабого взаимодействия, мы сначала должны отчетливо понимать, как они действуют во время β -распада нейтрона.

Определение точной скорости распада нейтрона помогло бы также проверить теорию Большого взрыва в расчетах эволюции космоса на самых ранних ее этапах. Согласно существующей теории, когда Вселенной была всего примерно секунда от роду, она состояла из горячей плотной смеси частиц: протонов, нейтронов, электронов и прочих. В то время температура Вселенной составляла около 10 млрд градусов — настолько жарко, что эти частицы были слишком горячими, чтобы объединяться друг с другом в ядра и атомы. Спустя приблизительно три минуты Вселенная расширилась и остыла до температуры, при которой протоны

и нейтроны смогли объединяться друг с другом, образуя простейшие ядра атомов — ядра дейтерия (тяжелого изотопа водорода). Отсюда смогли образоваться другие простые ядра: дейтерий мог захватить протон и образовать изотоп гелия, два ядра дейтерия могли объединиться, образовав ядро более тяжелого гелия, образовалось и небольшое число более крупных ядер вплоть до лития (все более тяжелые элементы, как считается, образовались в звездах много миллионов лет спустя).

Этот процесс называется нуклеосинтезом Большого взрыва. Если бы в то время, как Вселенная теряла тепло, нейтроны распадались со скоростью намного большей, чем остывала Вселенная, к тому времени, когда Вселенная достигла бы температуры, необходимой и достаточной для образования ядер, не осталось бы ни одного нейтрона — только протоны, и космос состоял бы почти исключительно из водорода. С другой стороны, если бы время жизни нейтронов было намного больше, чем время, необходимое для того, чтобы Вселенная остыла достаточно для нуклеосинтеза Большого взрыва, во Вселенной оказался бы переизбыток гелия, что, в свою очередь, сказалось бы на образовании более тяжелых элементов, участвующих в эволюции звезд и в конечном итоге жизни. Таким образом, баланс между скоростью остывания Вселенной и временем жизни нейтрона оказался критически важным для формирования элементов, которые составляют нашу планету и все на ней.

По данным астрономических наблюдений мы можем измерить отношение количества гелия к водороду в космосе, а также количество дейтерия и других легких элементов, которые присутствуют во Вселенной. Нам хотелось бы посмотреть, несколько эти измерения совпадают с числами, предсказанными теорией Большого взрыва. Теоретические предсказания, однако, зависят от точной величины времени жизни нейтрона. Без достоверного знания его величины наши возможности сделать такое сравнение весьма ограничены. Когда время жизни нейтрона будет установлено более точно, мы сможем сравнить наблюдаемое соотношение из астрофизических экспериментов с величиной, предсказанной теорией. Если они совпадут с достаточной точностью, мы обретем еще большую уверенность в нашем стандартном сценарии Большого взрыва, описывающем, как эволюционировала Вселенная. Конечно, если они будут отличаться, то в модель, возможно, придется внести изменения. Например, определенные расхождения, вероятно, могут указывать на существование во Вселенной новых экзотических частиц, таких как дополнительные виды нейтрино, которые могли бы влиять на процесс нуклеосинтеза.

Один из способов разрешить загадку разницы результатов «пучковых» и «бутылочных» экспериментов — проведение дополнительных экспериментов с использованием методов сравнимой

точности, которые не имеют предрасположенности к тем же самым потенциально искажающим результатам систематическим ошибкам. Помимо продолжения проектов «пучковых» и «бутылочных» экспериментов, ученые нескольких других научных групп во всем мире работают над альтернативными методами измерения времени жизни нейтрона. Одна из групп Японского исследовательского протонного ускорительного комплекса (*J-PARC*) в городе Токай разрабатывает новый «пучковый» эксперимент, который будет подсчитывать не протоны, образующиеся при β -распаде нейтрона, а электроны. В другом многообещающем направлении группы в Институте им. Лауэ — Ланжевена, в Институте ядерной физики в Санкт-Петербурге (Россия), в Лос-Аламосской национальной лаборатории (США), в Техническом университете Мюнхена и в Майнцском университете им. Иоганна Гутенберга (Германия) собираются использовать для удержания ультрахолодных нейтронов бутылки с магнитными стенками, а не со стенками из какого-нибудь вещества. Это возможно, потому что нейтроны, хотя они и электрически нейтральны, ведут себя как крошечные магниты. Число нейтронов, случайно прошедших сквозь стенки такой бутылки, должно значительно отличаться от числа нейтронов, утерянных в предыдущих экспериментах, и, таким образом, систематическая погрешность в них должна быть совершенно иной. Мы горячо надеемся, что общими усилиями, продолжая «бутылочные» и «пучковые» эксперименты, а также следующее поколение измерений, мы в конце концов разгадаем загадку времени жизни нейтрона. ■

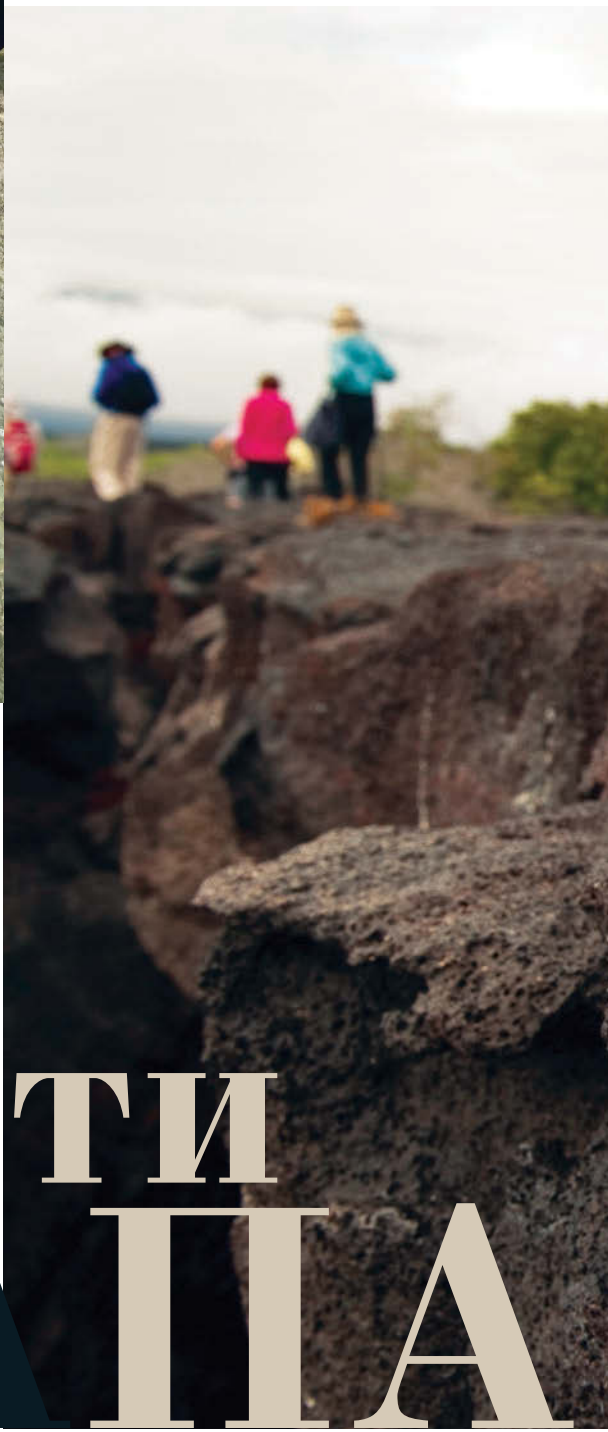
Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Серебров А.П. Измерение времени жизни нейтрона с использованием гравитационных ловушек ультрахолодных нейтронов // Успехи физических наук, т. 175, № 9, с. 705–924.
- Иванов И.П. Измерения времени жизни нейтрона, выполненные разными методами, по-прежнему расходятся // Элементы большой науки. 03.12.2013 (http://elementy.ru/novosti_nauki/432146/Izmereniya_vremeni_zhizni_neytrona_vypolnennye_raznymi_metodami_po_prezhnemu_raskhodysya)
- Measurement of the Neutron Lifetime Using a Gravitational Trap and a Low-Temperature Fomblin Coating. A. Serebrov et al. in Physics Letters B, Vol. 605, Nos. 1–2, pages 72–78; January 6, 2005.
- The Neutron Lifetime. Fred E. Wietfeldt and Geoffrey L. Greene in Reviews of Modern Physics, Vol. 83, No. 4, Article No. 1173; October–December 2011.
- Improved Determination of the Neutron Lifetime. A. T. Yue et al. in Physical Review Letters, Vol. 111, No. 22, Article No. 222501; November 27, 2013.



Туристов можно встретить повсюду на Галапагосских островах, это фактор беспокойства и нагрузка на среду обитания для редких видов: молодых морских львов (вверху), морской игуаны (справа вверху) и нежной растительности на острове Исабела (справа внизу)



ЭКОЛОГИЯ

ГЛАША

Спаси

Экосистема с большим количеством редких видов может погибнуть всего за несколько лет из-за постоянного увеличения числа туристов

Пол Таллис

На южной оконечности острова

Санта-Крус в ущелье Лас-Гриетас обитают рыбы-попугаи, яркие блестящие создания около 45 см в длину. Водоем, где они живут, возник давным-давно, когда большие волны перехлестывали через высокий берег острова и попадали в глубокую расщелину. Сейчас он пополняется

дождевой водой, которая просачивается через отвесные стены ущелья, образованные пористой вулканической породой. Небольшая популяция рыб-попугаев развивалась в этом водоеме, вода которого столь чиста, что в ней можно увидеть позвоночное животное, притаившееся на дне на глубине более 20 м.



ГОС

В августе 2014 г. я отправился туда вместе с натуралистом Андресом Вергарой (Andrés Vergara). Мы встретились в гостинице и не торопясь прошагали минут десять по неровной земле и песку. Затем вышли на последний участок пути — вверх через острые скалы, затем извилистой дорогой вниз по каменным стенам ущелья. Здесь было



ОБ АВТОРЕ

Пол Таллис (Paul Tullis) — редактор отдела в интернет-журнале новостей *TakePart*. Он писал статьи для *Scientific American Mind*, *New York Times Magazine*, *Slate* и других журналов.



достаточно опасно, чтобы отпугнуть случайных туристов, до водоема добралось только несколько отважных. Это чудесное место. Если человек смел, он может нырнуть в воду со скал, достигающих в высоту 10 м.

Нам повезло, что мы успели там побывать, поскольку вскоре Лас-Гриетас закрыли для реконструкции тропы. Ущелье было снова открыто для посетителей в декабре 2014 г. Вергара, который работает гидом в Национальном парке Галапагос, рассказал, что теперь оборудовали проход, сделали лестницу к воде и деревянную платформу, чтобы удобнее было купаться. По его словам, это часть плана по улучшению инфраструктуры национального парка, чтобы сделать его более удобным для посетителей. Естественно, это привело к резкому увеличению количества туристов по сравнению с июлем 2014 г. В июле 2015 г. число посетителей возросло в три раза и составило 7109 человек.

Как появление такого количества людей отразится на жизни рыб-попугаев, непонятно. Не приведет ли загрязнение их уникальной среды обитания остатками еды и неизбежными пластиковыми пакетами в итоге к гибели водоема, который так привлекает туристов?

С тех пор как в 1835 г. Чарльз Дарвин посетил эти острова и описал их как живую лабораторию для изучения естественного отбора, Галапагос считается одним из лучших мест в мире для наблюдения за дикой природой. На островах обитает 14 видов танагровых птиц (дарвиновы вьюрки) и 12 видов черепах. На расстоянии нескольких миль друг от друга здесь живут пингвины и фламинго. Избыток рыбы позволяет морским львам так хорошо питаться, что они даже не трогают пингвинов,



за которыми охотятся в других местах земного шара. Список природных достопримечательностей рекламировался с помощью глянцевого буклета и веб-сайтов, и состоятельные туристы готовились в течение десятилетий, чтобы отправиться в длительную поездку к архипелагу.

В последнее время, однако, ручеек туристов превратился в потоп. В начале 1990-х гг. 41 тыс. человек в год приезжали на Галапагос. В 2013 г. число туристов впервые превысило 200 тыс. В 2015 г. поставлен новый рекорд — более 224 тыс. Отчасти

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Резкий рост числа туристов на Галапагосских островах угрожает сохранению численности тех видов, ради которых люди туда приезжают. Эквадор поощряет увеличение числа посетителей, поскольку это приносит доход. Но прежний, уволенный сейчас директор Национального парка Галапагос и независимые эксперты в области охраны дикой природы утверждают, что нужно ограничить число туристов, иначе острова погибнут.
- В начале 2014 г. специалисты подготовили доклад, в котором рекомендовали ограничить ежегодное число посетителей цифрой 242 тыс., но администрация президента Рафаэля Корреа проигнорировала это.
- Тем временем в парке прокладывают мостки и создают другую инфраструктуру, облегчающую туристам доступ к экологически уязвимым местам, которые не выдержат такой нагрузки. Растет число малых, нелегально построенных гостиниц, чтобы вместить все большее количество туристов.



Новые тропы и лестницы, такие как на острове Бартоломе, облегчают многочисленным посетителям возможность добраться до нетронутых мест, что представляет угрозу для ландшафта и живущих здесь диких видов

такой прирост обусловлен бедностью страны. Эквадор находится в трудном финансовом положении. Его доходы от экспорта на 44% обеспечивались продажей нефти. Чтобы укрепить финансовое положение и компенсировать потери из-за недавнего падения цен на нефть, правительство обратило внимание на туризм, облегчив условия для развития этой отрасли на островах, и поддержало проекты вроде того, что осуществили в Лас-Гриетас.

«Нет сомнений, что правительство работает над тем, чтобы значительно увеличить масштабы туризма на Галапагосе», — утверждает Свен Лоренц (Sven Lorenz). Лоренц, финансист по образованию, в 2011–2015 гг. был исполнительным директором Фонда Чарлза Дарвина, который консультирует правительство по вопросам экологии.

Можно организовывать туризм таким образом, что он станет выгодным для местного населения, а также без нарушения природных территорий, с сохранением видов и их среды обитания. Но даже такой ответственный экологический туризм влияет на природу, и, кроме того, теперь это уже не единственная разновидность туризма на Галапагосе. Наплыв туристов грозит катастрофой тем, ради кого сюда они и едут, — диким животным. Среди 20 местных видов, находящихся на грани исчезновения, 16 обитают на четырех островах, где живут люди и больше всего туристов. Недавно проникшие сюда посторонние виды, большая часть которых завезена, уже занимают здесь

чужие экологические ниши. В августе прошлого года в Пуэрто-Айоре на острове Санта-Крус была поймана зеленая игуана, она могла перенести заболевания от рептилий на материке к местным видам. Никто не знает, ни как она сюда попала, ни сколько еще животных могло быть вместе с ней.

Галапагос — не первое экологически уязвимое место, которое может быть навсегда погублено туристами. Приезжие отламывают кораллы на сувениры от Большого Барьерного рифа. Туристические круизные суда ходят в легко разрушаемую Антарктику. Магазин сети *WalMart* построен в Тетиуакане, древнем бережно раскопанном и отреставрированном месоамериканском городе в Мексике. Позволив туристической индустрии развиваться прежними темпами, Эквадор, вероятно, возглавит уничтожение уникального биоразнообразия. Если это произойдет, острова могут потерять привлекательность для туристов и тот доход, который сейчас обеспечивают приезжие.

В 2013 г. Эквадор сделал шаг в сторону устойчивого развития Галапагоса. Президент Рафаэль Корреа распорядился провести исследование того, какое влияние повышение интенсивности туризма оказывает на острова. Полученный результат был мрачным: если Эквадор быстро не введет ограничения на число туристов в год, дальнейшее развитие поставит под угрозу биоразнообразие архипелага и привлекательность этого места для посетителей. Но до сих пор администрация президента не вняла этому предостережению.

Что мешает ограничить число туристов

История с оценкой воздействия туристов на экосистему началась в конце лета 2013 г., когда у Артуро Исурьеты (Arturo Izurieta) внезапно раздался звонок от Лорены Тапия (Lorena Tapia), которая тогда была министром охраны окружающей среды Эквадора. Исурьета, уроженец Эквадора, проживший более 25 лет на Галапагосе, работал тогда в Австралии, занимаясь охраной природы. Тапия предложила ему вернуться домой на архипелаг на ту должность, которую он занимал в начале 1990-х гг.: должность директора Национального парка Галапагос и морского заповедника.

Более того, по словам Исурьеты, Тапия хотела, чтобы он занялся вопросами устойчивого развития. (Тапия передала нам через пресс-секретаря, что отказывается дать интервью для *Scientific American*.) Она сказала, что президент Корреа просил изучить, какое количество туристов может вместить Галапагос. Какую часть территории

С помощью моделей ученые выявили критические значения для числа посетителей национального парка, при которых негативное влияние кардинально меняет экосистему и некоторые виды погибают. Модели предсказывали фатальные последствия при неконтролируемом росте туризма

можно сделать открытой для посетителей? Какое влияние присутствие людей оказывает на острова? И, наконец, по воспоминаниям Исурьеты, она задала самый важный вопрос: «Она спросила, как мы собираемся выяснять это». Коррера хотел получить ответы в течение года.

Исурьета начал работу в сентябре. Он быстро созвал комиссию из экспертов, куда вошли Стивен Уолш (Stephen Walsh), географ, возглавляющий Центр изучения Галапагоса в Университете Северной Каролины в Чапел-Хилле, и Карлос Мена (Carlos Mena) — как и Уолш, один из директоров Галапагосского научного центра, который находится в совместном ведении Университета Северной Каролины в Чапел-Хилле и Университета Сан-Франсиско-де-Кито в Эквадоре. В созданной им группе были биологи, географы и профессор из школы бизнеса.

Группа решила определить сценарии, по которым может развиваться туризм, и предоставить правительству решать, какой сценарий ему нужен

в зависимости от того, какие у него цели — получение доходов, сохранение природных территорий или же баланс между этими двумя целями. По словам Уолша, при выборе сценария правительство должно определить, на какой риск можно согласиться и какие цели важнее. Например, если правительство решает удвоить число туристов, оно должно понимать: есть большой риск, что территории будут вытоптаны и что будет больше разливов топлива и загрязнений от проходящих кораблей. «Каждый раз, когда решается, сколько человек приедет на острова, это влияет на то, каким Галапагос станет в будущем», — объясняет Уолш.

Уолш и Мена разработали математическую модель экосистемы островов, чтобы определить, как увеличение числа туристов разных типов повлияет на окружающую среду. На 19 островах примерно 145 охраняемых территорий, на которые по-разному влияет, например, то обстоятельство, что турист живет на берегу либо на судне, стоящем на якоре. Влияет даже национальность туриста: например, объем отходов растет быстрее, если туристы прибыли из США. Ученые собрали десятки данных и добавили их в модель, чтобы вычислить, как изменения одного фактора повлияют на остальные.

С помощью моделей Уолш и Мена выявили критические значения для числа посетителей — при таких значениях негативное влияние кардинально меняет экосистему и некоторые виды погибают. Модели предсказывали фатальные последствия при неконтролируемом росте туризма. Увеличение числа людей приводит

к росту частной застройки, при этом разрушаются места обитания диких видов, растения и животные вымирают. Спустя примерно десять лет снижение видового разнообразия станет настолько заметным, что интенсивность туризма спадет. Программы по восстановлению вымирающих видов оплачиваются из средств, получаемых от туризма, и при его спаде они не получают финансирования. «Если рост числа приезжих продолжится, — говорит Исурьета, — очень скоро мы пройдем точку невозврата».

Насколько скоро? В подготовленном Исурьетой докладе, который обычно называют «Сценарий устойчивого развития», указана дата — 2017 г. Если разрешить неограниченное увеличение числа туристов, на протяжении ближайших десяти лет это принесет Эквадору больший доход, чем при использовании других стратегий, однако прибыль от туризма достигнет своего пика в 2017 г., а затем пойдет на спад. Исурьета говорит, что число туристов упадет ниже того уровня, который имеется сейчас.



Эти гигантские черепахи смогли выжить благодаря усилиям, приложенным для их сохранения, которые были частично оплачены из средств, взимаемых за посещение национального парка. Хорошо контролируемый туризм может сочетаться с сохранением диких видов.

Другой, стабилизационный, сценарий, при котором число посетителей будет ограничено 242 тыс. в год, даст меньший доход до 2017 г., но можно будет гарантировать, что он сохранится на неизменном уровне и несколько десятилетий спустя. По словам Исурьеты, ограничение обусловлено пропускной способностью (т.е. числом посетителей за определенный период времени) охраняемых природных территорий. Это испортит бизнес крупным отелям и понизит спрос на небольшие нелегальные гостиницы, зато можно будет развивать более дорогой экотуризм, который минимально влияет на природу, и им можно будет беспрепятственно заниматься на этих островах на протяжении десятков лет.

Собранная Исурьетой комиссия представила свой доклад в феврале 2014 г. По словам Исурьеты и двух других специалистов в области охраны природы, с которыми я беседовал, на протяжении большей части 2014 г. Тапиа обсуждала доклад с нынешним министром туризма, руководителем государственного планирования, главой местного галапагосского правительства и директором национального парка. «Происходили многочисленные встречи, чтобы доработать доклад, который будет сделан для президента Корреа, — рассказывает Исурьета. — Все были согласны, что надо рекомендовать сценарий устойчивого развития».

Однако в начале 2015 г. группе было сложно добиться внимания политиков к проблемам окружающей среды. Законодательные органы в это время занимались пересмотром закона о специальном режиме Галапагоса, принятом еще в 1998 г.,

который определял такие вещи, как минимальная заработная плата и количество лицензий для судов. Группа решила отложить доклад президенту о результатах исследований, пока не принят новый закон. Это произошло в июне 2015 г.

Однако за два месяца до этого министр охраны окружающей среды уволила Исурьету. Он говорит, что это произошло без каких-либо объяснений. Тапиа через пресс-секретаря отказалась от комментариев. По словам разных людей, доклад с тех пор так и лежит на полке.

Нелегальные гостиницы, иностранные инвесторы

Исурьета твердо убежден, что необходимо ограничить количество туристов. «Галапагос — наиболее бережно управляемая туристическая достопримечательность в мире, — говорит Мэтт Кэреус (Matt Kareus), исполнительный директор Международной ассоциации галапагосских туроператоров. — Пока он [Исурьета] руководил [национальным парком], не было никакого роста негативных воздействий на охраняемые территории. Он очень хорошо управлял». Но любое количество туристов независимо от того, насколько они «экологические», — это риск. Даже в случае поездки, минимально влияющей на окружающую среду, может возникнуть утечка топлива, необходимого для ее обеспечения, произойдут выбросы углекислого газа и повреждение почвы. Любители экотуризма, как никто другие, могут случайно занести на острова посторонние виды организмов. Вероятно, именно так в 1960-х гг. сюда попали паразитические мухи, практически уничтожившие мангровых вьюрков. Сегодня число туристов возросло более чем в 12 раз по сравнению с теми временами.

«Мы еще успеем стабилизировать количество туристов, но надо начинать прямо сейчас, — говорит мне по телефону Исурьета в апреле 2015 г. — Если мы этого не сделаем, не знаю, что станет с островами». Лоренц, бывший директор Фонда Чарльза Дарвина, говорит, что белый песок пляжей, океан, температура воды в котором 27° С, великолепные виды, развлечения вроде подводного плавания и каякинга могут сделать из Галапагосских островов такое же место для отдыха, как и многие другие.

По-видимому, правительство Корреа не принимает никаких мер, чтобы замедлить рост числа туристов, надеясь, что изменения в законе

о специальном режиме притормозят туризм. Поскольку правительство Эквадора не сделало выбора, по умолчанию действует стратегия бесконтрольного роста. Они продолжают позволять авиакомпаниям совершать дополнительные полеты в аэропорт Симор, самый крупный аэропорт в архипелаге, расположенный на пустынном острове Бальтра. Они дают туристам разрешение на посещение парка, даже если нет документов, подтверждающих бронирование номера в легальной гостинице, хотя формально бронирование требуется (нелегальные гостиницы есть повсюду). Чиновники выдают разрешение на так называемое временное проживание без ограничения срока.

Те, кто наблюдают эту ситуацию вблизи, говорят, что ограничения числа туристов не ожидается, поскольку советники президента не хотят объявлять плохую новость о том, что необходимо замедлить рост интенсивности туризма. «Я не думаю, что это ограничение введут, — говорит Хуан Карлос Гар-

Охрана природы и туризм на Галапагосе не обязательно противоречат друг другу. Состояние дикой природы на необитаемых островах, где большую проблему создают привозные виды, такие как козы, значительно улучшается благодаря природоохранным программам, финансируемым с помощью туризма

сия (Juan Carlos Garcia), директор по охране природы в Эквадорском отделении Всемирного фонда дикой природы (WWF). — Все боятся назвать какую-то цифру».

Дополнительные проблемы могут принести два изменения, внесенные в закон о специальном режиме в апреле. Во-первых, теперь, чтобы жить на Галапагосе, не обязательно иметь собственность или капиталовложение на архипелаге, теперь достаточно «участвовать в развитии острова» — расплывчатый термин, допускающий различные толкования. Второе изменение позволяет перемещать границы парка. Вместе эти поправки могут привести к тому, что посторонние инвесторы ринутся на архипелаг осваивать территорию, отобранную у парка, при этом местное население получит мало выгоды при большом экологическом ущербе.

Если не будут введены ограничения, количество туристов, ночующих на островах, почти наверняка будет расти, говорит Кэреус из Международной ассоциации галапагосских туроператоров. Они потратят больше электроэнергии и оставят больше мусора, чем те, кто ночует на лодках у берега. Администрация Национального парка Галапагос ограничивает посещение особенно уязвимых территорий, например острова Северный Симор, где гнездятся и выращивают птенцов великопленные фрегаты и голубоногие олуши, или Тортуга-бей, где морские черепахи зарывают яйца в песок. Но система контроля численности посетителей была рассчитана на то, что соотношение числа ночующих на судах и на суше составляет от 1:1 до 1:2. Сейчас там примерно в пять раз больше ночующих на берегу, т.е. соотношение 1:5, согласно официальной статистике, которую приводит Исурьета, который после Лоренца занял пост директора Дарвиновского фонда. При этом

не учитывается, что стремительно развиваются нелегальные гостиницы, особенно на острове Санта-Крус. Мораторий на открытие новых гостиниц и расширение старых был введен около десяти лет назад, но он никогда строго не контролировался, рассказывает Фелипе Крус (Felipe Cruz), заместитель исполнительного директора фонда, проживший на островах 30 лет. В доме по соседству недавно достроили два этажа, а когда строительство было окончено, Крус с удивлением увидел вывеску «Гостиница».

По словам Круса и других его коллег, большей частью строятся дешевые номера для путешествующих студентов и отдыхающих из Южной Америки. В этом регионе растет число людей среднего класса, и \$300 за билет из Сантьяго или Буэнос-Айреса до Бальтры — теперь доступная цена для большего количества людей, чем раньше.

Исурьета одобрил недавнюю отмену запрета на строительство гостиниц, поскольку надеется, что в таком случае строительство новых зданий будет лучше контролироваться. Благодаря происходящей легализации эти отели окажутся в поле зрения властей. Хотя министерство туризма уверяет, что в новых гостиницах будет не более 35 номеров в каждой, по словам Исурьеты, бизнес будет продавливать другие варианты. Лоренц прислал мне документы, подготовленные финансовым консультантом компании под названием *Stock & Fund Managers*, в которых вкладчикам сообщают, что «приобретено два престижных участка» для строительства 39 «вилл» и двух отелей, общее число номеров в которых равно 95, где предполагается открытие «ресторанов, развлекательных центров, конференц-залов, спа-центров и бассейнов».

Лоренц говорит, что в 2014 г. международная гостиничная сеть *Kempinski* и *Waldorf Astoria Hotels & Resorts* представили президенту Корреа план масштабного развития. Представители компаний уверяют, что у них нет утвержденных проектов строительства на архипелаге, а министерство туризма Эквадора от комментариев отказалось. Но 9 сентября 2015 г. министерство опубликовало заявление, что правительство Галапагоса утвердило три проекта строительства гостиниц по 36 номеров каждая, «что в очередной раз подтверждает, что строительство крупных отелей на Галапагосе запрещено».

Государственная воля

Охрана природы и туризм на Галапагосе не обязательно противоречат друг другу. Доход, полученный от посетителей, может быть использован на защиту диких животных и среды их обитания. Я побывал в питомнике, занимающемся восстановлением вида гигантских черепах, которых почти полностью истребили крысы, поедающие черепахи яйца. Вскоре после моего посещения в *PLOS ONE* было опубликовано исследование, что аналогичная программа разведения в неволе гигантских черепах на острове Эспаньола в сочетании с искоренением коз на этой территории оказалась столь успешной, что эта популяция сейчас в безопасности. Помимо средств, полученных от природоохранных организаций, значительная часть финансирования этой работы обеспечивается из тех денег, которые посетители платят за вход в парк. Состояние дикой природы на необитаемых островах, где большую проблему создают привозные виды, такие как козы, значительно улучшается благодаря природоохранным программам, финансируемым с помощью туризма.

Элиесер Крус (Eliéser Cruz), бывший директор Национального парка Галапагос, которого президент Корреа в апреле 2015 г. назначил президентом местного правительства Галапагоса, рассказал мне в прошлом октябре, что работает над изменениями в иммиграционной системе, чтобы ограничить число приезжих. Кроме того, он сказал, что всего за день до нашего разговора он вместе с соответствующими министрами обсуждал, что надо наконец представить президенту «Сценарий устойчивого развития». Он подчеркнул, что ограничение числа туристов до 242 тыс. человек в год, приведенное в докладе, — это «действительно очень важно». Но в феврале этого года нынешний руководитель национального парка Вальтер Бустос (Walter Bustos) подтвердил, что доклад президенту все еще не представили.

Бустос рассказал мне, что новый министр охраны окружающей среды Даниэль Ортега (Daniel Ortega) решил «обновить информацию», содержащуюся в докладе Исурьеты. Когда я спросил

об этом Уолша, он написал мне по электронной почте, что «речь идет не об изменении результатов, полученных с помощью использованной ранее модели», а о том, чтобы «внимательно изучить экономику туризма на Галапагосе».

В любом случае, говорит Бустос, не так просто установить предел в 220 тыс. человек в год, и добавляет: «Я думаю, мы получим эти 220 тыс. другими методами». В качестве примера мер, которые должны «замедлить прирост числа туристов», он назвал ограничение для новых гостиниц — не более 35 номеров и необходимость запрашивать разрешение у правительства Галапагоса. Вопрос, удастся ли это сделать до того, как посетителей станет более 242 тыс., — а при нынешних темпах эта цифра будет достигнута в первой половине 2017 г.

Исурьета не сообщил нам для публикации, почему от него постарались избавиться. В апреле 2015 г., спустя несколько дней после увольнения, он написал в *Facebook*, что это было «политическое решение», и далее: «Я уважаю это решение, но это не значит, что я считаю его правильным».

В то же время туристическое строительство идет быстрыми темпами. Сейчас реализуется проект создания туристической инфраструктуры стоимостью \$2,5 млн. Часть средств будет потрачена на благоустройство бухты Тагус-Коув (на острове Исабела, где 29 сентября 1835 г. Дарвин увидел «огромных черных ящериц длиной от трех до четырех футов»). Из его дневника непонятно, прибыл ли он туда на шлюпке или проделал сложный спуск вниз с холмов, но в любом случае туда было трудно попасть. Теперь там планируется сделать ступеньки. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Стикс Г. Живое наследие Дарвина // ВМН, № 4, 2009.
- *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time*. Jonathan Weiner. Knopf, 1994.
- *Plundering Paradise: The Hand of Man on the Galápagos Islands*. Michael D'Orso. Harper, 2002.
- *Galapagos at the Crossroads: Pirates, Biologists, Tourists, and Creationists Battle for Darwin's Cradle of Evolution*. Carol Ann Bassett. National Geographic, 2009.
- *The Galápagos: A Natural History*. Henry Nicholls. Basic Books, 2014.
- Подробности о новом виде черепах, недавно обнаруженном на Галапагосских островах, см. по адресу: ScientificAmerican.com/apr2016/tullis



Гигантский угольный транспортер (вверху) на электростанции Кетрег в штате Миссисипи стоит без дела в ожидании начала работы станции по полному циклу

ЭНЕРГЕТИКА

Иллюзия улавливания

CO_2

В основе любого серьезного плана
уменьшения глобального потепления
должна лежать технология улавливания
углекислого газа, а это маловероятно

Дэвид Биелло

Photographs by Jeff Wilson

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Биелло (David Biello) — старший редактор журнала *Scientific American*.



Тим Пинкстон (Тим Pinkston) построил в сосновом лесу на востоке штата Миссисипи масштабную химическую установку. Теплым летним утром Тим отправился на электростанцию *Kemper*. «Я так счастлив, что наконец завершил ее!», — сказал он, стоя на обширной ровной площади, очищенной от леса и забетонированной.

Пинкстон указал на вздымающуюся к небу огромную систему изогнутых и переплетенных труб длиной в сотни километров. В центре этой путаницы между химической установкой и электростанцией стояли две колонны-газификатора высотой почти по 100 м и весом по 2550 т. В них могут создаваться такие температура и давление, как в вулкане, что необходимо для превращения лигнита — влажного бурого угля, залежи которого располагаются почти прямо под ногами Пинкстона, — в газообразное топливо для электростанции.

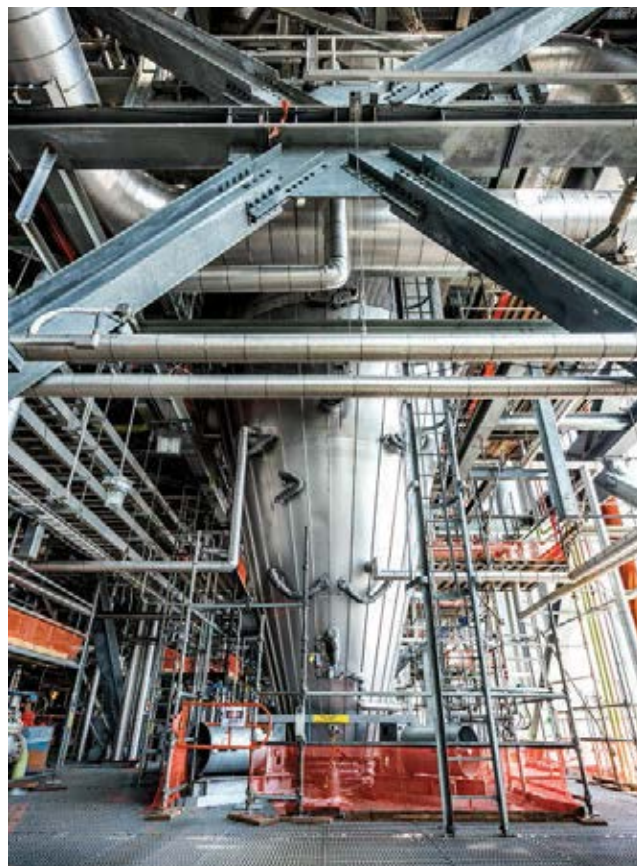
Уникальность этой установки не в топливе, которое она скоро начнет производить, а в том, что он будет делать с основным продуктом сжигания этого топлива — диоксидом углерода, парниковым газом, обуславливающим глобальное потепление. На электростанции *Kemper* углекислый газ будет не выбрасываться в атмосферу, а улавливаться.



Эта электростанция — самая передовая в США. Она позволит снизить выбросы парниковых газов в атмосферу, т.е. достичь давней цели 190 с лишним стран, участвовавших в переговорах по климату, проходивших в январе в Париже. Электростанции, работающие на угле, — главный источник выбросов CO_2 в атмосферу в мире, поскольку большинство выбрасывающих его стран

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Компания *Mississippi Power* строит «чистую» электростанцию *Kemper*, которая будет работать на грязнейшем угле и при этом не выбрасывать образующийся углекислый газ в атмосферу, а улавливать его.
- Уловленный CO_2 эта электростанция станет продавать компании, которая будет закачивать его в истощающиеся нефтеносные пласты для увеличения выхода нефти. Предполагается, что в итоге в этих подземных пластах будет удерживаться около трети всех выбросов диоксида углерода. Однако сжигание нефти будет выбрасывать в атмосферу новые его количества.
- Стоимость электростанции *Kemper* и нескольких других подобных очень высока, что вызывает сомнения в экономической оправданности этого подхода. На сегодня в мире заморожены или отменены 33 проекта строительства установок улавливания и захоронения двуокиси углерода.
- На прошедших в январе этого года в Париже переговорах по климату страны, обещавшие ограничить выбросы CO_2 , заявили, что не смогут выполнить свои обещания.



Для преобразования грязного угля в более чистое газообразное топливо и уменьшения выброса CO_2 в атмосферу электростанции Кетпер потребовались 277 км труб, 40 тыс. т стальных конструкций и два гигантских газификатора (один из них виден в центре правого снимка)

вырабатывают значительную долю необходимой им электроэнергии именно на угольных электростанциях. И прекратить сжигание угля хотят лишь немногие из них, в частности США, где от угольных электростанций получается 40% всей вырабатываемой в стране электроэнергии. Без закрытия этих электростанций единственная возможность сократить выброс углекислого газа — его улавливать.

Реального плана остановки глобального потепления, который не включал бы в себя технологию улавливания и хранения CO_2 (*carbon capture and storage, CCS*), нет ни у отдельных стран, ни у Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Даже сценарии широкого использования атомной энергии и возобновляемых источников энергии не исключают необходимости улавливания CO_2 , выделяемого при выплавке стали и производстве цемента. В одной только Северной Америке работают более 6 тыс. крупных промышленных источников выбросов диоксида углерода. Около 1 тыс. из них — это цементные печи и заводы, ежегодно выбрасывающие не меньше 100 тыс. т

CO_2 , а около 5 тыс. — электростанции, работающие на ископаемом топливе, которые выбрасывают еще больше углекислого газа. Плюс тысячи работающих на ископаемом топливе заводов в Китае, Индии и других странах, и на их долю приходится более 70% всего CO_2 , выбрасываемого в мире. Поэтому становится ясно, что *CCS* — ключевой фактор уменьшения загрязнения атмосферы.

Проблема в том, что дело это очень дорогое. Хотя технология как таковая представляется работоспособной, стоимость строительства и эксплуатации полномасштабной установки, как показывают близкое к завершению строительство электростанции *Kemper* и опыт работы других, меньших установок, чрезвычайно высока. Кроме того, встает вопрос, что делать с уловленным CO_2 . Захоронение его в глубоких подземных геологических формациях, способных удерживать газ тысячи лет, еще увеличивает стоимость. Правительства не хотят брать расходы на себя. Владельцы же электростанций, чтобы возместить затраты, вынуждены будут поднять цены на электроэнергию намного выше сегодняшних.

Стоимость CCS погубила многие перспективные усилия. В рамках демонстрационного проекта на угольной электростанции *Mountaineer* в Западной Виргинии было захоронено более 1 млн т CO_2 , после чего проект был закрыт из-за отсутствия денег на продолжение эксперимента. В 2015 г. Министерство энергетики США отменило свое рискованное сотрудничество с промышленностью в рамках проекта *FutureGen*, целью которого была модернизация старой угольной электростанции в Иллинойсе, успев потратить на него \$1,65 млрд. Китай тихо переименовал свой флагманский CCS-проект *GreenGen* (подобный проекту *Kemper*) и продолжает эксплуатировать электростанцию уже без улавливания CO_2 . Во всем мире сейчас работают всего 15 CCS-установок, и еще семь, включая *Kemper*, строятся. На исследования, проектирование и строительство их были потрачены миллиарды долларов.

Однако создатели *Kemper* нашли творческий подход к финансированию. Они планируют продавать углекислый газ. Этот подход известен как улавливание и утилизация CO_2 (*carbon capture and utilization, CCU*). Некоторые компании могут использовать CO_2 для производства газированных напитков, гипскартона, пластиков или топлива. Но даже выбросы всех тепловых электростанций — мелочь по сравнению с количеством сырья, идущим ежегодно на ежегодный выпуск более 4 млрд т цемента, одного из самых массовых продуктов, для производства которых может использоваться газ. «При том количестве диоксида углерода, с которым нам приходится иметь дело, мы

не собираемся превращать весь этот газ в полезные материалы», — говорит инженер-химик А-Юн (Ah-Hyung) из Колумбийского университета, занимающийся этой проблемой.

Есть один потребитель, способный использовать очень много CO_2 и достаточно состоятельный, чтобы платить за него, — это «большая нефть». Нефтедобывающим компаниям нужны огромные количества CO_2 , чтобы, закачивая его в нефтеносные пласты, выжать больше нефти из истощающихся скважин. Однако использование его для этой цели ставит вопрос: есть ли смысл улавливать углекислый газ в качестве меры противодействия изменению климата лишь для того, чтобы получить возможность сжигать больше ископаемого топлива?

Лабиринт

Осуществление проекта *Kemper* началось еще в 2006 г. в качестве реакции на последствия урагана «Катрина», вызвавшего резкий скачок цен на природный газ. Компания *Mississippi Power* была устремлена в будущее, где, по словам ее пресс-секретаря Ли Янгблада (Lee Youngblood), 80% своей энергии она намеревалась вырабатывать на электростанциях, работающих на природном газе. Атомная энергия была слишком дорогой, а возобновляемые источники энергии — ветер и Солнце — слишком ненадежными. Оставался местный бурый уголь. В недрах близлежащей сельской местности залегают почти 700 млн т этого самого грязного и самого влажного угля — более чем достаточно для питания электростанции такой мощности, как *Kemper*, в течение не менее 50 лет.

КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Улавливание CO_2

На электростанции *Kemper* существующие технологии объединены по-новому. Начинается все с самого грязного бурого угля. Этот уголь превращается в газ (1), который выделяет меньше загрязнений при сжигании (2) для выработки электроэнергии (3). При сжигании образуется углекислый газ, который легко уловить, а не выбрасывать в атмосферу. Затем этот CO_2 используется для увеличения добычи нефти из истощающихся нефтеносных пластов (4). Часть газа остается погребенной в недрах (5), так что в атмосферу не поступает и потепления климата не увеличивает. Во всем мире построена всего горстка электростанций, подобных *Kemper*, и они оказались чрезвычайно дорогими. Многие были закрыты, а строительство других было отменено из-за задержек строительных работ и перерасхода средств.

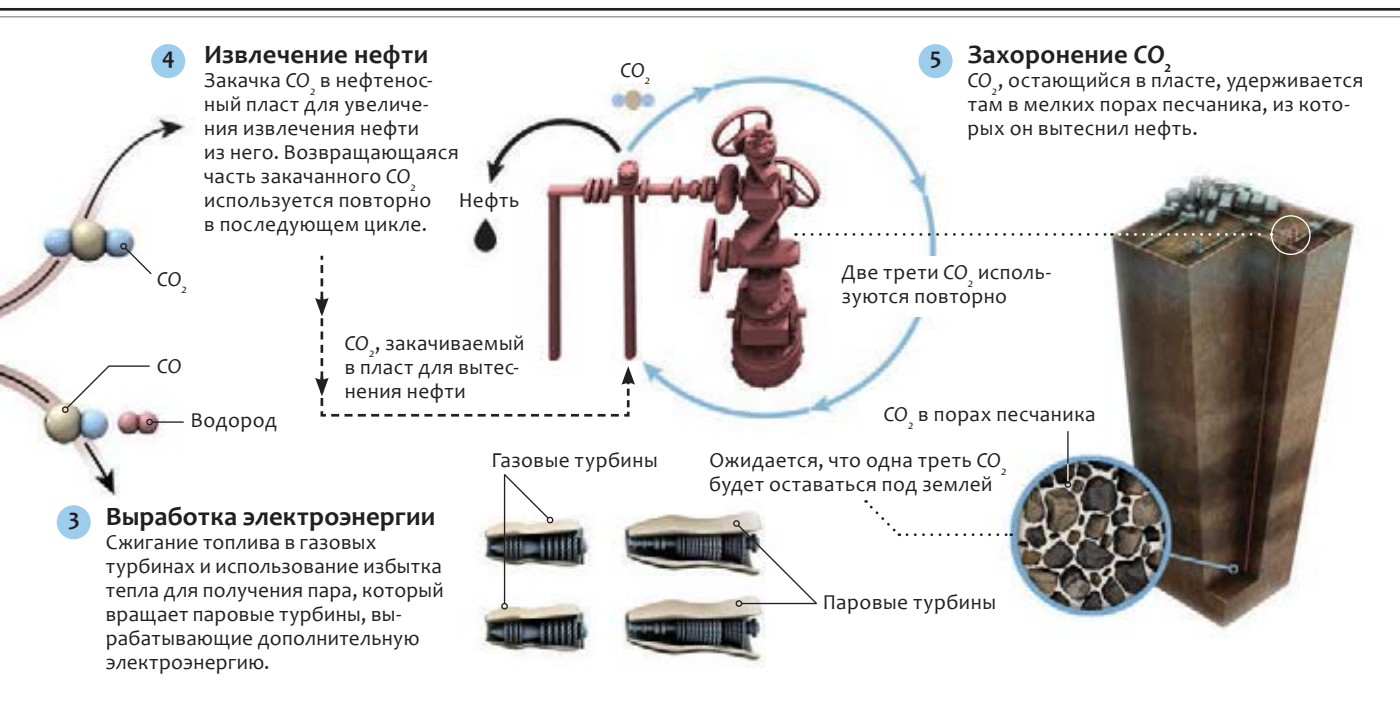




Экскаватор-драглайн «Красотка Либерти» мощностью 19 тыс. лошадиных сил стоит на грунте, обнажившемся после сведения леса, в ожидании начала разработки следующего карьера для добычи влажного бурого угля (справа)

Использовать бурый уголь на электростанциях, как правило, избегают, поскольку удалять создаваемые им загрязнения, не говоря уже о CO_2 , слишком сложно. Пинкстон и его партнеры поняли, что использовать бурый уголь и при этом укладываться в заданные федеральным законом пределы выбросов загрязнений позволит создание электростанции рядом с двумя башнями-газификаторами. Они пришли к заключению, что добавление

некоторого другого оборудования позволит им улавливать и двуокись углерода, что придавало их плану стратегический смысл, поскольку конгресс активно рассматривал законодательство по ограничению выбросов парниковых газов. В 2009 г. правительство штата Миссисипи выдало компании *Mississippi Power* разрешение на строительство электростанции *Kemper*, ограничив затраты пределом в \$2,88 млрд.



Учредитель компании *Mississippi Power*, компания *Southern Company* еще в 1990-х гг. разработала газификатор в рамках эксперимента по превращению бурого угля в более чистое топливо. Для удаления CO_2 из газа, образующегося при нагреве грязного бурого угля под высоким давлением, группа Пинкстона выбрала промышленный растворитель *Selexol*. При последующем сбросе давления углекислый газ будет легко выделяться из раствора, как при открывании бутылки газированного напитка. Этот подход позволяет уменьшить долю выработанной энергии, которую приходится отбирать для удаления загрязнений, а это означает снижение себестоимости электроэнергии. При этом казалось, что все можно будет сделать с использованием технологий, уже годами применяющихся некоторыми организациями для иных целей. «В этом не было ничего нового, кроме интеграции», — сказал заместитель главного управляющего электростанцией *Kemper* Брюс Харрингтон (Bruce Harrington). Однако интеграция оказалась более сложной, чем ожидалось. Из-за бракованных деталей часть установки, предназначенную для сушки угля, пришлось разобрать и смонтировать заново. По мере строительства станции лабиринт труб все разрастался, растянувшись до 277 км, на 122 км больше, чем планировалось. Внутри сплетения труб некоторые элементы оборудования окрасили специальной синей краской, меняющей цвет, если аппаратура слишком нагревается или слишком охлаждается, — это был единственный способ контролировать правильность работы всей системы даже при наличии измерительных приборов более чем в 30 тыс. точек. Опытных инженеров-петрохимиков пришлось приглашать со стороны. Кроме того, пришлось проложить 3,7 тыс. км кабелей. Все это вынудило удвоить численность рабочей силы на стройке.

Эти сложности привели к увеличению затрат. С запланированных в 2009 г. \$2,4 млрд они выросли до \$6,3 млрд, т.е. на \$3,9 млрд. Задержки с монтажом привели к отодвиганию срока сдачи электростанции в эксплуатацию, запланированной на май 2014 г., по крайней мере до апреля 2016 г. При этом, согласно отчетам *Southern Company* Комиссии США по ценным бумагам и биржам, каждый месяц задержки обходился как минимум в \$25 млн. При этом компании приходилось возвращать миллионы долларов по федеральному налоговому кредиту за несоблюдение сроков работ.

А компании *Mississippi Power* пришлось во избежание банкротства обратиться к потребителям ее электроэнергии, поскольку стоимость сооружаемой станции превысила стоимость всех остальных ее активов. В августе 2015 г. компания повысила на 18% цену электроэнергии. Однако стратегическим решением станет продажа чистого сухого CO_2 нефтедобывающим компаниям.

Нефть во спасение

Нефтедобывающие компании уже десятки лет используют диоксид углерода, чтобы выжать больше нефти из недр, покупая этот газ у других компаний, которые уже закончили бурение. Над залежью нефти они строят мини-завод, который сжимает газ и закачивает его в нефтеносный пласт. Там CO_2 смешивается с нефтью, уменьшая ее вязкость, и восстанавливает давление в пласте, вытесняя на поверхность больше нефти. До двух третей газа, закачанного в пласт, возвращается с нефтью. Здесь к этому газу добавляется «свежий», и полученная смесь снова закачивается в пласт для извлечения еще большего количества нефти. При каждом таком цикле около трети газа остается в недрах, удерживаясь в порах песчаника, где раньше была нефть. Это полезно для климата, поскольку такое захоронение газа удаляет его из атмосферы.

Со времени открытия нефтяного месторождения Тинсли вблизи электростанции *Kemper* из него было добыто больше 220 млн баррелей нефти. Столь крупное месторождение вполне оправдывает большие затраты на покупку CO_2 из такого места, как *Kemper*, на автомобильные перевозки углекислого газа и строительство трубопроводов для него ради добычи еще 100 млн баррелей. Компания *Denbury Resources* начала закачку CO_2 из природных отложений в месторождение Тинсли в 2008 г. На сегодня она ежегодно закачивает в него 90 млн кубометров рециклируемого газа, добавляя к нему 9 млн кубометров закупаемого. Это позволило увеличить выход нефти с 50 баррелей в сутки до 5 тыс. с лишним. При выходе электростанции *Kemper* на полную мощность она станет ежегодно передавать по новому 97-километровому трубопроводу по 5,4 тыс. млн. м³ на месторождение Тинсли и другие месторождения в регионе.

К сожалению, если дополнительно добытая нефть будет потом сжигаться в виде бензина и других изготовленных из нее видов топлива, в атмосферу станет поступать еще больше CO_2 . Идея борьбы с глобальным потеплением с помощью технологии, основанной на использовании двуокиси углерода для увеличения добычи нефти, которая потом будет сжигаться с выделением еще большего количества того же газа, наверняка рассмешит нефтяников.

В США в целом из примерно 140 нефтяных месторождений добывается с использованием CO_2 около 300 тыс. баррелей нефти в сутки. Ожидается, что в случае возвращения высоких цен на нефть эта цифра удвоится. По оценкам Министерства энергетики США, в целом по стране (включая Аляску) с использованием углекислого газа можно будет ежедневно добывать до 72 млн баррелей нефти. Сегодня уже 8 тыс. км трубопроводов передают CO_2 из природных месторождений



Для удаления CO_2 и других загрязнений на электростанции Kemper понадобился этот обширный лабиринт труб и башен. Две самые большие башни — газификаторы. Газовые турбины, вращающие генераторы, находятся справа, за пределами снимка.

вроде Купола Джексон в штате Миссисипи на старые нефтяные месторождения, образуя нечто вроде подземной паутины, местами выходящей на поверхность в виде задвижки или насоса.

Дорогое предложение

Закачка диоксида углерода в пласт обходится примерно в \$0,5 за тонну. Однако CO_2 из сложной системы электростанции Kemper может оказаться раза в три дороже.

Сведения о цене приходят из ряда мест. Особенно поучительны данные из первого CCS-проекта — на электростанции Boundary Dam в провинции Саскачеван в Канаде. Эта электростанция, работающая на «чистом» угле, начала подавать энергию в электросеть в октябре 2014 г. На модернизацию одного из трех ее котлов с целью улавливания CO_2 компания SaskPower потратила почти \$1 млрд. Затраты составили около \$11 тыс. на киловатт мощности — в три с лишним раза больше, чем для типичного котла. По оценке компании Mississippi Power, на электростанции Kemper затраты будут примерно такими же: не меньше \$10 тыс. за киловатт.

По оценке Министерства энергетики, при таких уровнях затрат улавливание углекислого

газа повысит цену электроэнергии для потребителей как минимум на \$0,04 за киловатт-час, т.е. на треть средней цены электроэнергии в США (\$0,12 за киловатт-час). Если не будет закона, требующего улавливания CO_2 , или налога на выброс его в атмосферу, введению которого энергетические компании противятся, у них не будет экономического стимула внедрять эту технологию. Не лучше экономика и в Китае, который потребляет вчетверо больше угля, чем США, и в Индии, которая в своем сообщении на парижских переговорах по климату заявила, что намерена построить гораздо больше угольных электростанций. Из-за дороговизны систем улавливания диоксида углерода эти электростанции вряд ли будут оснащены ими.

Даже если стоимость улавливания CO_2 удастся понизить, стоимость его захоронения останется очень высокой. Многие из 600 с лишним угольных электростанций в США расположены далеко от геологических структур, способных надежно удерживать углекислый газ, закачиваемый просто для захоронения. Многие из них далеки и от 1,6 тыс. нефтяных месторождений США, где CO_2 мог бы использоваться для увеличения выхода нефти. Это означает, что нужны будут дорогие длинные газопроводы и насосные станции. А ученые не берутся

с уверенностью сказать, насколько полезным для климата будет использование CO_2 в целях увеличения выхода нефти. «Мы не знаем истинной доли двуокиси углерода, остающейся захороненной в недрах», — говорит инженер-химик Камиль Пети (Camille Petit) из Имперского колледжа Лондона.

Расчеты откладываются

Как показывает пример электростанции *Kemper*, улавливание CO_2 делает электростанцию почти такими же дорогими, как атомные. В результате список отмененных проектов вроде *SummitGen* оказался длинным. Согласно данным Всемирного института улавливания и хранения двуокиси углерода, всего в мире с 2010 г. было закрыто 33 CCS-проекта. В рамках большинства из них уже были потрачены сотни миллионов долларов. Те же, которые еще действуют, как *Texas Clean Energy Project* компании *Summit Power*, испытывают большие трудности. В частности, *Boundary Dam* никак не может добиться запланированного уровня улавливания углекислого газа.

И все же CCS-проекты продолжают существовать: этого требует острая необходимость бороться с изменениями климата. Так, компания *NRG Carbon* строит в Техасе угольную электростанцию *Petra Nova*. Планируется, что зарабатывать деньги она будет продажей электроэнергии и нефти, добытой с использованием ежегодной закачки 1,6 млн т CO_2 в нефтяное месторождение Уэст-Ранч вблизи Хьюстона. Однако *Petra Nova*, ввод которой в эксплуатацию состоится не раньше конца 2016 г., будет улавливать диоксид углерода только из 10% своих котлов, а улавливающая установка обойдется ей в \$1 млрд.

«Очистка выбросов угольных электростанций — это важная цель, — говорит Аль Армендарис (Al Armandariz), активист клуба *Sierra Club* и бывший работник Управления защиты окружающей среды. — Но стоимость проекта *Petra Nova*, особенно в сопоставлении с дешевой электроэнергией от возобновляемых источников (солнца и ветра) в Техасе, вызывает сомнения в том, что CCS — самый эффективный способ уменьшения выбросов углекислого газа».

Здесь-то и находится камень преткновения. Если США не начнут закрывать тепловые электростанции (не только угольные, но и газовые), то придется найти способ превратить CCS из дорогой роскоши в практичное средство. Без этого страна не сможет решить поставленную задачу уменьшения к 2050 г. выбросов парниковых газов на 80%.

Kemper не дает больших надежд на то, что улавливание CO_2 может быть дешевым и простым делом. Рядом с огромной установкой растут два конуса темного угля, жарящегося под знойным солнцем Миссисипи в ожидании того, когда начнут

работать газификаторы. Выкопавший этот уголь 4000-тонный карьерный экскаватор, доставленный из Англии и прозванный «Красоткой Либерти», стоит без дела. Так же праздно стоят и большие карьерные самосвалы, каждый из которых при работе будет сжигать по 106 л дизельного топлива в час, выделяя двуокись углерода, которая едва ли будет улавливаться в сколько-нибудь обозримом будущем.

Когда электростанция *Kemper* наконец заработает, как запланировано, она будет улавливать 65% образующегося CO_2 . Она будет работать не на чистом угле, а просто на угле XXI в., который чище своих предшественников. Передовая электростанция будет выбрасывать в атмосферу формальдегид, толуол и множество тяжелых металлов, не считая тонн сернистого ангидрида (SO_2), вызывающего кислотные дожди, окислов азота, образующих смог, и других загрязнений. Помимо диоксида углерода она будет ежегодно выпускать в окружающую среду 91 тыс. т других парниковых газов. И еще появится токсичная угольная зола, с которой тоже придется что-то делать. Наконец, на каждый мегаватт-час выработанной электроэнергии она будет выбрасывать в атмосферу не меньше 360 кг CO_2 . Это примерно столько же, сколько выбрасывает электростанция, работающая на природном газе, но меньше половины того, что выбрасывает типичная угольная электростанция.

Предстоит решить вопросы с длинным списком других видов отходов. Как нашим предкам пришлось платить за вывоз мусора на свалки и за очистку сточных вод, так нам придется начать платить за минимизацию использования атмосферы в качестве свалки. На сегодня *Kemper* — лучший образец мер по очистке угля, хотя, возможно, недостаточно хороший. «Мы хотели бы добиться большего и более динамичного развития», — говорит первый заместитель руководителя управления ископаемого топлива Министерства энергетики США Хулио Фридманн (Julio Friedmann).

Строгие расчеты показывают, что CCS стоит дороже простого сжигания угля. Поэтому внедрение необходимых технологий во всем мире невозможно без введения платы за загрязнение атмосферы.

Для получения требуемого дохода электростанция *Kemper* уже больше года вырабатывает энергию, хотя и без использования газификаторов: она работает на природном газе, доставляемом по трубопроводу из подземных залежей, и без улавливания CO_2 , который просто выбрасывается через дымовые трубы, уплотняя невидимое одеяло, вбирающее все больше тепла, ненужного ни в штате Миссисипи, ни в остальном мире. ■

Перевод: И.Е. Сацевич



ИЮНЬ 1966

Здоровье нации. Как повлияет на здоровье нации рост концентрации населения в городах и больших городских агломерациях? Несмотря на такие хорошо известные факторы, отрицательно влияющие на здоровье населения горо-

дов, как загрязнение воздуха и нехватка воды, перенаселенность, плохие жилищные условия, стрессы в транспорте и ускоряющийся темп городской жизни, опросы населения не выявили существенных подтверждений того, что здоровье горожан хуже здоровья сельских жителей. Действительно, большинство свидетельств говорят о том, что общее состояние здоровья, а также медицинское обслуживание последних уступают качеству жизни обитателей мегаполисов.

Структура ферментов. В первой половине нашего века главной заботой биохимиков было выяснение метаболических и структурных взаимоотношений между малыми молекулами в живых клетках. Химические реакции этих молекул изучались очень интенсивно. Катализаторами таких реакций были большие белковые молекулы, называемые ферментами (или энзимами), многие из которых удалось выделить, очистить и тоже подвергнуть исследованиям. Но только в последние годы метод рентгеноструктурного анализа позволил определить структуру этих белковых молекул. На эти гигантские молекулы, содержащие от тысяч до десятков тысяч атомов, приходится больше половины сухой массы клеток.



ИЮНЬ 1916

Шеклтон спасен. «Шеклтон сумел добраться на шлюпке через льды и море до острова Южная Георгия, что позволяет заняться спасением основной части экспедиции, оставшейся на острове Мордвинова. Очевидно, вскоре будет послана спасательная экспеди-

ция с Фолклендских островов или из Аргентины, и остается надеяться, что она поспеет вовремя, чтобы избавить этих храбрецов от лишних страданий. И это будет заслуга именно Шеклтона.



Операция с использованием рентгеновских лучей, 1916 г.

Я рискну предположить, что в истории исследования Антарктики трудно найти другой пример того, чтобы экспедиция выполнила столь малую часть запланированного. Очевидно, Шеклтон слишком полагался на удачу и уделил недостаточно внимания рассмотрению возможности неблагоприятных ледовых условий». — Хенрик Арктовский (Henrik Arctowski).

Рентгеновские лучи в хирургии.

Чтобы извлечь пулю из тела человека, нужно точно знать, где она находится. Метод определения глубины ее местоположения разработал доктор Фредерик Вульямоз (Frédéric Wullyamoz) из Лозанны. Он использовал рентгеновскую трубку, излучение которой отбрасывает тень пули на люминесцентный экран. При перемещении трубки перемещается и тень. Трубка установлена на полке под операционным столом, а хирург постоянно видит тень пули и анатомические детали на флуороскопе, закрепленном на его голове (на илл.).

Примечание: другие иллюстрации успехов медицины в 1916 г. см. по адресу: www.ScientificAmerican.com/jun2016/medical



ИЮНЬ 1866

Зажгли море. Бостонская газета *Commercial* пишет: «Корабль *S.T. Joseph*, недавно прибывший из Ливерпуля, едва не погиб в пути. Видимо, среди груза был ящик с пометкой "Натрий", к которому была приложена инструкция, где говорилось, что в случае попадания на него

воды нужно выбросить его за борт. Ящик находился на палубе и вскоре после выхода корабля в море стал раздражать капитана. Тот вызвал двух бывалых матросов и приказал им осторожно поднять этот ящик и выбросить его за корму. Едва ящик коснулся морской поверхности, раздался мощный взрыв и в воздух взлетел огромный столб воды». Натрий очень бурно реагирует с водой, и грузоотправители, которые знают об этом, не хотят иметь с ним дела.

Запахи болезней. «Запах черной оспы сравнивали с запахом козла, запах кори — с запахом свежесочиненного гуся, запах скарлатины — с запахом майских цветов, а запах тифа — с запахом казака». — Профессор Джон Бэнкс (John Banks), *Medical Press and Circular*. ■

ИЗМЕНЕН



В 1860 г. естествоиспытатель по имени Уильям Брюэр (William Brewer) приступил к первым геологическим изысканиям, раскрывающим раннее развитие штата Калифорния. 2 декабря он прибыл в Лос-Анджелес (тогда еще городок из глинобитных построек), где записал в своем дневнике, что все, что необходимо сделать, чтобы превратить этот уголок в настоящий рай, — это дать ему воды и еще раз воды. Три недели спустя бурлящий поток, самый сильный ливень за последние 11 лет, разрушил множество глинобитных домов. Такова и поныне погода в Калифорнии.

Древние события, запечатленные в годичных кольцах деревьев, свидетельствуют о типах погоды, аналогичных тем, что мы видим сегодня: длинные сухие периоды чередуются с быстро пролетающими влажными годами. В 1130 г. количество дождевых осадков сошло на нет и затем не возобновлялось в полном объеме в течение 40 лет. За всю историю развития Калифорнии, отраженную в древесных спилах, наблюдались засухи протяженностью в несколько десятков лет.

Надо отметить, что просто отсутствие дождевых осадков, выявленное дендрохронологически,

ИЕ ШТАТА

Поиски утраченной влаги в Калифорнии

Дэн Баум



После трех лет засухи в Калифорнии, тяжелойшей из отмеченных в историческом прошлом, водохранилище Оровилл, сфотографированное в июле 2011 г. (слева) и в августе 2014 г. (справа), обмелело до 32%

больше не служит практическим целям определения засухи. Ближе к истине, как представляется, разница между количеством влаги, которое нам требуется, и тем, что мы имеем. По этому показателю сегодняшняя засуха беспрецедентна. Действительно, Калифорния сейчас суше, чем когда бы то ни было, начиная с 1895 г., когда было положено начало наблюдениям за погодой. К тому же в Калифорнии стало необыкновенно жарко, 2014 г. был теплее почти на 2° по Фаренгейту, чем предыдущий самый знойный год. А люди надеются на эту землю как никогда. Почти 40 млн человек населяют этот

штат, а жители остальной части страны и большей части всего мира зависят от продукции, что производится на его территории.

Калифорнийцы не перестают обсуждать засухи, которые они выдержали: 1977, 1986–1991, 2001–2002, 2006–2007 гг. и последнюю, что началась в 2011 г. Вполне вероятно, что дендрологи в будущем увидят все это не как цепочку отдельных событий, а как одну мегазасуху, похожую на средневековые: ведь и они прерывались влажными годами. Если перенаселенная многонациональная Калифорния на самом деле будет

в течение десятилетий пребывать во власти малого числа осадков в эру беспрецедентной жары, «золотой штат» может закончить свое существование и обрести совершенно другое лицо. В худшем случае он может лишиться своего процветающего сельского хозяйства и величественных лесов; в лучшем же случае жители Калифорнии могли бы внедрить нововведения, которыми они славятся, и превратить свой штат в мировую лабораторию охраны водных ресурсов и их многократного использования. В любом случае совершается болезненная адаптация к новым условиям жизни.

Чтобы понять, как происходят засухи в Калифорнии, надо проследить путь поступления воды. Он полон неожиданностей, и первая из них заключается в том, что начинается он в 10 тыс. км отсюда, среди покрытых зеленью архипелагов Тихого океана — Фиджи, Новых Гебрид и Соломоновых островов.

В основном солнце обогрывает Тихий океан вдоль экватора, а преобладающие приземные ветры, дующие с востока на запад, гонят теплые воды в зону скопления островов, расположенную к западу от линии перемены дат. Здесь воды буквально вздымаются, образуя огромный вал, температура которого не только выше на несколько градусов, чем воды у берегов Южной Америки, но и возвышается он почти на 122 см. Все это тепло подогревает грозовые облака, которые поднимают влагу выше в атмосферу, где струйное течение (высотные ветры, устремляющиеся на восток, а не на запад) подхватывает ее и несет в сторону Северной Америки.

Если экваториальный вал подогретой воды установится где-то к западу от линии перемены даты, то наступает Ла-Нинья, которой соответствуют засухи в юго-западной части США. Если приэкваториальные ветры у поверхности океана ослабевают или меняют направление движения, а вал сдвигается к востоку от линии смены дат, и это проявится в достаточной мере, то наступает Эль-Ниньо, и на запад страны приходят дополнительные дожди. То, что происходит в действительности сегодня, не соответствует ни Эль-Ниньо, ни Ла-Нинье.

Последние несколько лет к западу от линии перемены даты зимы были на полградуса теплее, чем

ОБ АВТОРЕ

Дэн Баум (Dan Baum) — автор книг, одна из последних под названием «Парни с пушками: путешествие» (*Gun Guys: A Road Trip*) посвящена истории ношения оружия в Америке. Раньше как штатный корреспондент писал для *New Yorker* обо всех частях света.



в среднем 30 лет назад, что оценивается климатологами как много. Зимой 2013–2014 гг. здесь так же выпало около 300 мм дополнительных осадков, а также разразился ураган пятой категории, который поднял в верхние слои атмосферы огромное количество тепла, взятого из необыкновенно разогретого океана. В начале 2015 г. в этом регионе действовали подобным образом еще два более мощных урагана.

Ученые с неохотой говорят о том, что и как именно происходит в цепи изменения климата, но общаются что-то о теплом вале вод в западной части Тихого океана, который, скорее всего вкупе с сокращающейся разницей температур на экваторе и полюсах, кажется, смещает показания метеорологических приборов. Гребень повышенного атмосферного давления установился над восточной частью Тихого океана на пути влажного струйного течения, и, подобно булыжнику, скатившемуся в устье речушки, он вытесняет этот поток и направляет струйное течение к северу. Таким образом, предназначенная для Калифорнии влага могла выпасть в большом количестве на Аляске и северо-западе Канады, а также могла добавить силы историческим снегопадам, прошедшим от Чикаго до Бостона, прошлой зиме и наводнению в Великобритании.

Подобные гребни высокого давления, блокирующие струйное течение, характерны у берегов Калифорнии, но обычно под действием ураганов они рассеиваются в течение нескольких недель. Действующий в настоящее время гребень высокого давления установился зимой 2013–2014 гг., он только слегка снижался время от времени, но затем вновь неистово набирал силу, чтобы отогнать пришедшую влагу. Дэниел Суэйн (Daniel Swain),

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В Калифорнии установилась небывалая засуха. Изучение годичных колец деревьев показывает, что и раньше бывали засушливые периоды, длящиеся десятки лет, но никогда так много людей не предъявляли такого большого спроса на землю.
- В результате штат подвергается изменениям. В Сьерра-Неваде происходит смена лесов; огромные старые деревья вымирают, их замещают значительно меньшие. Даже знаменитые секвойи в опасности.
- Водоносные слои в Калифорнийской долине разрушаются в результате бесконтрольной откачки грунтовых вод. Поля остаются необработанными, плодовые деревья подвергаются сожжению, а из кранов в домах не течет вода.
- Штат может стать таким же, как Аризона. Но еще есть надежда. Творческие разработки вступают в действие, и многие рассматривают засуху как благоприятную возможность спасти Калифорнию, да еще и выручить деньги в процессе.



Фермеры Калифорнийской долины в Файербо обходят свои поля (слева сверху); поблизости сохнут миндальные деревья (справа сверху); знаки протеста против сокращения водоснабжения фермеров (справа внизу); в Портервилле сотни домов остались без воды (слева внизу)

25-летний аспирант из Стэнфордского университета, назвал эту аномалию возмутительно жизнеспособным гребнем (*Ridiculously Resilient Ridge*, или тройная R). Несколько небольших бурь провалились сквозь этот гребень прошлой зимой, в том числе сильный ливень в феврале, но вместо того чтобы рассеяться, гребень с таинственной силой возродился. Как долго он будет стоять, никто сказать не может.

Большая часть влаги, принесенная из западной части Тихого океана, прежде всего выпадает на землю высоко в горах Сьерра-Невада, которые протянулись на 650 км вдоль восточной границы штата. Я начал свои исследования утраты воды в Калифорнии как раз в этих местах, у озера Эхо, что расположено выше озера Тахо. Во влажные годы осадки приносятся сюда струйным течением и выпадают в огромном количестве. Мой знакомый однажды приехал сюда на лыжах и хотел отыскать свою хижину на берегу озера; он прокопал весь склон в поисках своего дома, но так и не нашел его; с наступлением темноты он вынужден был уехать. А в этом году снег на озере почти не выпадал. Под

защитой аномального гребня зимой 2013–2014 гг. наблюдался исторически низкий снежный покров в Сьерра-Неваде, последняя же зима оказалась еще хуже — он составил только 5% от среднего уровня. В апреле на озере Эхо сугробы обычно достигают человеческого роста, но когда я приехал сюда в День уплаты налогов (15 апреля), то увидел только несколько крошечных клочков снега, белеющих под деревьями.

С озера Эхо я отправился на 320 км к югу мимо Йосемитского национального парка к Натану Стивенсону (Nathan Stephenson), геоботанику Геологического управления США, который занимается гигантскими деревьями Калифорнии в Национальном парке «Секвойя». Парк возвышается над округом Туларе в Калифорнийской долине, это нулевая точка отсчета для засух. Река Кавиа вытекает с территории парка и направляется к сильно обмелевшему озеру Кавиа, а затем выходит в долину. Стивенсон за 35 лет работы в парке наблюдал много разных засух, но такой, как эта, еще не видел. «Я мог бы оценить на глаз, что треть дубов на склонах либо уже погибла, либо только погибает», — поясняет он, просматривая изображение лесов

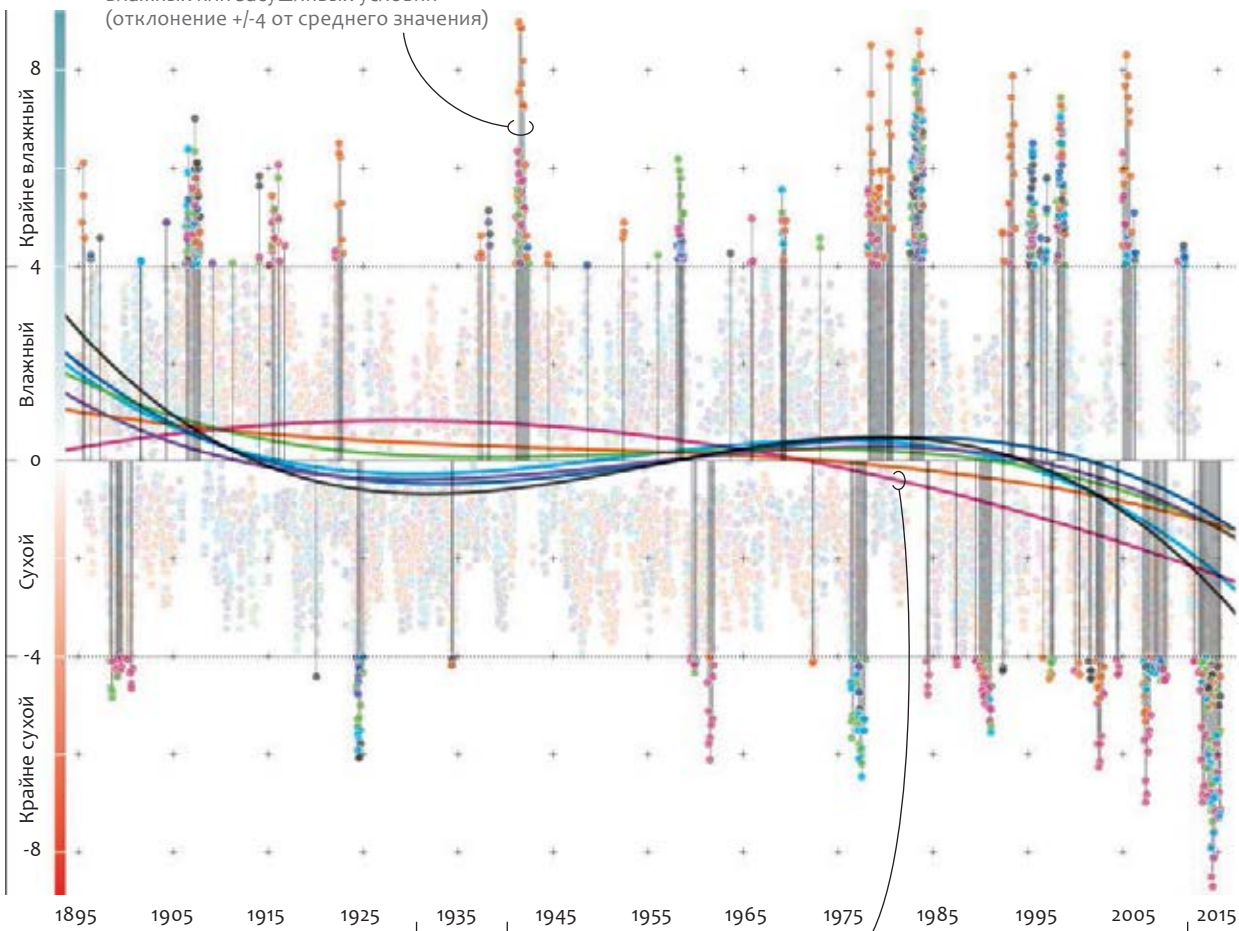
Невиданная засуха

По любым оценкам продолжающаяся в настоящее время засуха в Калифорнии имеет историческое значение. Схема внизу создана на основе расчетов гидрологического индекса засушливости Палмера, показателей влажности почвы, отражающих длительное воздействие засух, при этом были учтены уровни воды в водоемах, подземные воды, другие показатели медленных изменений. Различные данные показывают, что, несмотря на то что с 70-х гг. XX столетия участились экстремальные режимы погоды, как влажные, так и засушливые, во всех районах Калифорнии в последние десятилетия господствовала засушливая тенденция.

Влажные промежутки

В недавнюю полосу сухих лет включивались крайне дождливые годы, но это не изменило общей тенденции к засушливости. Аналогичные режимы наблюдались столетия назад. Как показывают дендрохронологические исследования в Калифорнии, длившиеся десятилетиями суровые засухи Средневековья также включали случайные дождливые годы.

Вертикальные черные линии на графике указывают на случаи необычайно влажных или засушливых условий (отклонение +/-4 от среднего значения)



Гидрологический индекс Палмера

Каждая точка выше на графике обозначает гидрологический индекс Палмера для семи районов. Значения в пределах нормы (+4/-4) создают фон из бледных точек.

- Северный прибрежный бассейн
- Бассейн Сакраменто
- Северо-восточный внутренний бассейн
- Центральный прибрежный бассейн
- Бассейн Сан-Хоакин
- Южный прибрежный бассейн
- Юго-восточные пустынные бассейны

Годы пыльных бурь

В Калифорнии в основном избавились от пагубных последствий пыльных бурь, заставивших фермеров бежать сюда с Великих равнин в поисках работы.



Засушливая тенденция

Сплошные многоступенчатые линии показывают повсеместные колебания тенденций в семи районах Калифорнии. Увеличивающаяся интенсивность серых вертикальных линий после 1975 г. означает рост повторения экстремальных условий, как влажных, так и засушливых. Однако за этот период линии, обозначающие тенденцию, повсюду идут вниз, указывая на то, что во всех районах прослеживается тенденция к засушливости.

Повсеместная длительная засуха

Необычная и неприятная черта нынешней засухи — то, что очень много районов такого большого, географически разнообразного штата страдают от засухи на крайне высоком уровне.

на склонах гор, но даже нетренированным глазом видно, что они поблекли и увяли, испещренные ржавыми пятнами отдельных деревьев. Высокий, тощий, седобородый, Стивенсон благодарен судьбе за то, что ему довелось работать в национальном парке. Но он приходит в дурное расположение духа, когда оглядывает склоны из-под своей шляпы с эмблемой Геологического управления. «И это только апрель», — сокрушается он.

Мы усаживаемся в его автомобиль и едем вверх в горы к рощице благоухающих кедров, где резко отливают золотисто-коричневым цветом отдельные экземпляры. «Им сотни лет, и они очень выносливые, мало кто из насекомых на них нападает, и мы в шутку зовем их бессмертными, поскольку кажется, что они никогда не погибнут, — рассказывает Стивенсон, останавливается и протягивает руку, чтобы пощупать бурые иголки кедра. — Я полагаю, что сейчас они при смерти». Наконец, мы поднялись к самым секвойям, многие из которых стояли в кучах своих собственных мертвых игл — свидетельство того, как засуха обглаживала деревья в жестоком порыве.

За 33 года работы Геологическим управлением было посажено здесь 20 тыс. деревьев разных видов на 30 просторных участках. Деревья на них, включая секвойю, вымирают как по предвиденным, так и неизвестным причинам. В нормальных условиях непрерывный ток воды поступает от корней дерева к каждому листочку или иголочке, просачиваясь вверх по капиллярам, в то время как дерево испаряет влагу в воздух. Сейчас, однако, все виды деревьев погибают от нарушения сплошного тока воды: ее тонкая ниточка разрывается, пузырьки воздуха попадают в капилляры, и с этим ничего не поделаешь. Некоторые деревья закрывают поры на своих листьях в сухой период, чтобы удержать влагу. Однако в этом случае они не могут усваивать двуокись углерода. Обычно влажный период возвращается, и поры вновь открываются до тяжелых последствий, но нынешняя засуха такая длинная, сухая и жаркая, что многие деревья смертельно застряли между удержанием своей воды и газообменом. Кроме того, существуют еще жуки: привлекаемые пораженными засухой деревьями, они опустошают огромные массивы сосен по всей западной территории страны. Как только дерево умирает, жуки перелетают на следующее. Иногда во время продолжающейся поныне засухи они летят такими большими тучами, что их можно ловить с помощью бейсболки. Прошедшей весной аэрофото съемка больших полос в лесах калифорнийской части Сьерра-Невады, в том числе в парке «Секвойя», выявила более 10 млн погибших деревьев, т.е. 10% от всех деревьев на исследованных участках, большинство из них засохли в прошлом году. Если засуха продлится достаточно долго, она может выжечь величавые высокогорные леса Калифорнии

и уничтожить гигантские секвойи, в том числе экземпляр, именуемый «Генерал Шерман», высотой в 84 м и 11 м в толщину у комля, по объему самое большое дерево в мире.

Массовое вымирание деревьев может стать огромной потерей для штата, но также и катастрофой для всей нашей планеты — и не только потому, что возможен выпуск несметного числа тонн двуокиси углерода в уже теплеющую атмосферу. В прошлом году Стивенсон возглавлял внушительное исследование 673 046 деревьев 403 видов на шести материках, которое потрясло ботаников мира тем выводом, что в противоположность общему мнению деревья растут быстрее, чем больше и старше они становятся. Если продолжится вымирание лесов в Сьерра-Неваде, то на смену придут очень молодые, которые не смогут поглощать из атмосферы столько углекислого газа, способствующего потеплению климата, как это делают в настоящее время взрослые леса.

Во влажные годы в снежном покрове Сьерра-Невады достаточно запасов влаги, чтобы поддерживать водные ресурсы штата. Каждые весну и лето снег, тая, стекает по западному склону, предоставляя всему идти своим ходом, его проявление мы обнаружили на следующей остановке нашего пути в поисках исчезающей воды в Калифорнии — перед нами на 2850 км² открылась дельта рек Сакраменто и Сан-Хоакин, гигантская панорама этого густонаселенного штата.

Дельта расположена к востоку от залива Сан-Франциско. До заселения она была прибрежным пресноводным болотом с каналами, топиями и островами, а ныне она в основном занята под зерновыми и здесь проживает более полумиллиона человек в таких городах, как Антиох и Рио-Виста. Однако большие участки поймы остаются еще не возделанными: призрачные абсолютно плоские пустынные места, покрытые зарослями, недоступны человеку, здесь паутина из водных путей протянулась на 1100 км. Это самый большой эстуарий западного побережья, где происходит слияние рек, которые несут воды из долин рек Сакраменто и Сан-Хоакин, и это координационный распределительный центр зарегулированных поверхностных вод. Спущенные из северных водохранилищ на нужды южных сельских хозяйств и городов воды должны пройти через него. Надо часами крутиться по грязным дорогам и мостикам, чтобы отыскать небольшой уголок дельты — водохранилище Клифтон-корт, где вырисовываются здания насосной станции, которая направляет воду по забетонированному широкому желобу, или Калифорнийскому акведуку, в направлении Лос-Анджелеса на 547 км, и по каналу Дельта-Мендота до разбросанных на большом расстоянии фермерских хозяйств Калифорнийской долины.

Поверхностный сток в Калифорнии управляется столь тщательно, что воду скорее можно назвать продуктом производства, чем природным ресурсом. Сеть водохранилищ федерального и местного значения, сложная сеть каналов и акведуков, невообразимое хитросплетение водных законов, прав, природоохранных нормативных актов, распоряжений судов, экспертных заключений может привести в бешенство любого, кто столкнется с вопросом раздела воды. Около половины поверхностных вод сохраняется на местах для поддержания водно-болотных угодий и мест обитания рыб в соответствии с Законом об исчезающих видах и для удержания соленых вод от проникновения через дельту в каналы и акведуки. Вторая половина поверхностных вод Калифорнии распределяется на нужды населения: 20% идет в города (в апреле по распоряжению губернатора Джерри Брауна (Jerry Brown) потребление воды было снижено в среднем на четверть), 80% — фермерам. Это теоретически. В прошлом году и настоящем поверхностные воды использовались так мало, что фермерам не досталось ничего.

Если учитывать чрезмерную регламентацию использования поверхностных вод в Калифорнии, совершенно возмутительно, что забор подземных вод, без сомнения основной запас воды в этом штате, практически бесконтролен. Калифорния — единственный штат, где можно выкачивать столько подземных вод, сколько захочешь, и так долго, пока ты не изведешь их или не начнешь ими торговать. При нынешней засухе в Калифорнийской долине началась своего рода гонка вооружений: каждый из фермеров возжелал внедриться глубже, чем его соседи, так что, как образно сказал один экономист, специалист по сельскому хозяйству, они стали похожи на кучку четырехлеток, набросившихся на один молочный коктейль со множеством соломок. Никто не знает, как много откачивается воды, но уровень подземных вод достиг исторического минимума.

Достают воду фермеры с самыми глубокими колодцами в данном районе, и если это означает, что соседские колодцы иссушаются, то так и происходит. Некоторые проходят на глубину 460 м, чтобы добраться до воды, которая могла выпасть дождем 10 тыс. лет назад. Такая ископаемая вода контактирует с геологическими пластами столь долго, что часто засорена мышьяком, хромом, солью и другими загрязняющими примесями. Столь глубокое бурение стоит дорого. Фермеры, которые могут найти соответствующего буровика (в очереди надо стоять около года), вероятно, потратят на осуществление своих планов полмиллиона долларов, и это без учета высоких затрат на откачку воды на поверхность земли с невероятной глубины.

Около 300 км к югу от дельты у города Висейлия я увидел в поле столб дыма, поднимающийся над

грудой засохших апельсиновых деревьев величинной с большой дом, их выкорчевали и подожгли. Хозяин, мрачно следивший за этим, сказал мне, что он сдал в аренду 32 га с 10 600 здоровыми деревьями на них, а фермер прошлой весной незаконно установил трубы и продал колодезную воду соседу, оставив деревья погибать.

Страдают не только землевладельцы. Сельский работник Иоланда Серрато (Yolanda Serrato) из бедного фермерского городка Восточный Портервилл, округ Туларе, в декабре прошлого года как раз успела полить свою маленькую лужайку, когда шланг зашипел, кончилась вода — и, как оказалось, навсегда. Неглубокие колодцы 400 ее соседей остались без воды в то же самое время, и теперь они могут рассчитывать лишь на общественную помощь и благотворительные акции. Когда я встретился с Серрато, она стояла, облокотившись на свой забор, вглядываясь, не покажется ли пикап на дороге, в надежде получить несколько бутылок воды. Недалек тот день, когда калифорнийцы в Восточном Портервилле будут вынуждены покинуть свои дома из-за нехватки воды.

Первый закон гидродинамики гласит, что вода течет к деньгам. Скорее всего, пройдет еще немало времени, прежде чем большинство калифорнийцев, особенно жителей прибрежных городов, столкнутся с пустыми кранами. В Сан-Франциско вода поступает из чистого водохранилища Хетч-Хетчи, расположенного в 269 км в Йосемитском национальном парке. Тот, кто смотрел кинофильм «Китайский квартал», знает, что в 20-х гг. XX в. Лос-Анджелес иссушил долину Оуэнс в 320 км от города и сейчас получает большую часть воды из озер, расположенных значительно севернее. Пока в Калифорнии остается хотя бы капля воды, она, без всякого сомнения, будет направлена в сторону богатого побережья.

Надо отметить, что в Калифорнийской долине неприятности только начинаются. Чтобы понять почему, следует рассмотреть подземные воды поглубже. По сути, Калифорнийская долина — это котловина площадью около 52 тыс. км², выложенная слоями глины, гравия, песка и ила и зажатая между цепями гор из твердых горных пород. Вода с легкостью течет в слоях из гравия и песка, вот почему фермеры могут через свои скважины откачать воду соседей. Влага в первую очередь накапливается в слоях глины, потом медленно стекает в гравий и песок. Именно тот факт, что в глине скапливается вода, и вызывает беспокойство с учетом современной иступленной откачки воды.

Катастрофическое развитие событий неожиданно вывело на путь славы неизвестных ученых. Мишель Снид (Michelle Sneed), молодой геолог из Геологического управления, годы трудилась в малоизвестной области оседания пород — и вдруг стала

крайне важной для будущего штата. У нее голубые глаза и длинные вьющиеся волосы, и она, кажется, счастлива стать научной звездой. Когда мы сидели в ее офисе в Сакраменто, на северо-восточной окраине дельты, она повернула руки кверху ладонями и переплела пальцы, пояснив, что структура глины под микроскопом выглядит как беспорядочно задранные крошечные пластинки. «Представьте, сколько воды вы могли бы добыть в вашей кухонной раковине, если бы сложили в кучу как попало обеденные тарелки, — сказала она, затем повернула ладони, чтобы сжать их вместе. — А теперь представьте эти тарелки, сложенные аккуратно. Как найти место для воды между ними?» Фактически так происходит, когда откачивается слишком много грунтовых вод — и делается это слишком быстро: видимые под микроскопом пластинки как бы складываются в стопку. Другими словами, слой глины сжимается.

А на сотни метров выше грунт разрушается. Большие участки Калифорнийской долины испытывают проседание, начиная с 20-х гг. XX столетия они опустились на 9 м. За два года (с 2008 по 2010 г.) более одной десятой территории долины опустилось на 5 см. Дорожным бригадам приходится чинить мосты и автострады, а железнодорожным рабочим — восстанавливать горизонтальность путей. Осложняется также и подача воды внутри штата. Каналы и акведуки протянулись на сотни километров без насосов, т.к. у них очень маленький уклон. Нужно небольшое проседание, чтобы помешать потоку, — так и случилось (как и на других участках) в прошлом году в месте соединения большого канала и водохранилища Сан-Луис в центральной части Калифорнии. Но перебои в снабжении водой — еще не самое плохое. Если однажды подпочвенный слой глины разрушился, то он никогда более не соберет воды. Таким образом, калифорнийские фермеры, неистово откачивающие воду, не просто опустошают водоносные слои, от которых зависит их жизнь, они выводят их из строя навеки.

Единственное, что можно сделать, — это подпитать оставшиеся водоносные горизонты как можно быстрее. Проблема заключается в том, что не все грунты одинаково этому поддаются. Почти половина поверхности Калифорнийской долины подстелена коркоранскими глинами, оставшимися от древнего озера, которые могут быть пробиты колодцами, но в отличие от большинства глин в значительной степени остаются непроницаемыми для воды. Геологи могут найти участки без этих глин, т.е. пропускающие воду и, следовательно, по своим геологическим свойствам подходящие для заполнения водой. Но некоторые из них заняты под микрорайоны, торговые центры или фермерские хозяйства; определение проницаемых горизонтов почв и получение разрешения на их затопление — это очень трудная задача.

Ученые из Калифорнийского университета в Дэвисе совместно с Советом по вопросам миндальных хозяйств Калифорнии проводят экспериментальные работы, чтобы выяснить, могут ли высаженные на соответствующих почвогрунтах миндальные сады, будучи в зимней спячке, быть подтоплены с целью пополнения водоносных горизонтов.

Здесь поднимаются вопросы не только геологического порядка, но и правового: по закону штата фермеры в Калифорнии могут использовать получаемую воду только для личной выгоды, а пополнение грунтовых вод может юридически быть запрещено как перерасход воды. Кроме того, встает вопрос, а не запросит ли фермер, который делает запруду, равное количество воды позднее. И, наконец, для подтопления садов и полей нужны не только разрешения и законные права, но и сама вода. Ее не хватает для получения урожая сегодня, что уж говорить о накоплении живительной влаги для будущего. Любые серьезные планы восполнения воды могут быть осуществлены во влажные годы, а их надо подождать.

Наступивший кризис дал губернатору Джеральду Брауну (Gerald Brown) и законодательным органам серьезные основания изменить законы 150-летней давности и сделать первые шаги на пути регулирования расхода подземных вод. Согласно принятому в ноябре закону, местные водохозяйственные органы в каждом из 515 районов штата накопления грунтовых вод должны в течение пяти лет составить планы устойчивого развития и далее за 25 лет добиться их воплощения. С политической точки зрения это потрясение, поскольку органы управления городским водоснабжением, сельскими районами орошения, окружные водохозяйственные комиссии и другие службы водостроительства все говорят на разных языках, имеют собственные информационные системы и конкурентные интересы. Но все они должны объединиться в государственные учреждения по устойчивому развитию подземных вод (GSA), чтобы поделить свой самый ценный ресурс. В скромно отделанном здании временной конторы городского водного хозяйства округа Туларе, расположенного посередине долины реки Сан-Хоакин, я встретился с Бенджамином Сигелем (Benjamin Siegel), молодым человеком, назначенным на неблагодарную работу по созданию GSA, объединяющего город Висейлию и прилегающий ирригационный район. Он говорит, что это похоже на изобретение нового языка.

В 25 км вверх по дороге Дениз Аткинс (Denise Atkins), окружной правительственный консультант по водным ресурсам, сказала мне, что получить общее согласие по вопросу, кто будет иметь право голоса в местном GSA, — это просто кошмар, не говоря уже о согласии поделить исходными

данными. Потом она добавила, что если бы пять лет назад вы захотели спросить садовода, что он думает по поводу глубины его колодца, то лучше бы вам было перед этим надеть бронезилет, сегодня же фермеры все больше интересуются, сколько воды они потребляют. Дениз перегнулась через заваленный документами стол, закатила глаза и прибавила вполголоса, что ее сосед откачивает слишком много.

Ученые расходятся во мнении по такому животрепещущему вопросу, как то, вызвана ли засуха антропогенным изменением климата. В Национальном управлении океанических и атмосферных исследований (NOAA) в прошлом году пришли к выводу, что нет, в Межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК) сказали, что это возможно, а климатологи из Стэнфорда, в том числе Суэйн, окрестивший гребень повышенного давления тройным *R*, утверждают, что да. Группа стэнфордских ученых построила климатические модели для настоящего времени и доиндустриального периода; они определили, что состояние погоды сегодня наиболее вероятно связано с этой областью повышенного давления. В отношении связи общих климатических изменений и настоящей засухой все, кажется, сошлись на том, что дополнительная жара обостряет пагубное воздействие недостатка влаги на всей территории от лесов Сьерра-Невады до фермерских хозяйств в Калифорнийской долине.

После ряда лет воздействия, похожего на Ланинья, NOAA объявило о начале слабого Эль-Ниньо, но предупредило, что, вероятно, погода в Калифорнии не скоро изменится. Возможно, в Калифорнии настанут влажные годы в ближайшем будущем, но почвы от вершин Сьерра-Невады до низин Калифорнийской долины так пересохли, что уйдут годы на соответствующее увлажнение земли и еще больше на переход к пополнению запасов грунтовых вод. Руководство может рассматривать современное положение штата как аномальное и принимать решения как при чрезвычайных обстоятельствах, но, по словам Ноа Диффенбо (Noah Diffenbaugh), старшего научного сотрудника Вудсовского института окружающей среды Стэнфордского университета, это было бы непростительной ошибкой, так как очевидно, что Калифорния находится сейчас в условиях уже совсем другого климата.

Допустим, что наступил другой климат, и засуха длится до 30 лет, сродни одной из тех, что были в Средние века. Тогда горные леса погибнут, поскольку их водообеспечение не регулируется, следующие потери коснутся фермерских хозяйств и садов Калифорнийской долины, которыми все прошлое столетие так гордился штат.



Жители Портервилла, из кранов которых не течет вода, наполняют цистерны питьевой водой близ пожарной части в округе Дойл

Одна из возможных линий размышлений о конце сельского хозяйства в Калифорнии выглядит примерно так: «Ну и что? Сельское хозяйство составляет только 2% экономики Калифорнии, и подтопление ради получения недорогой водоемкой продукции, которой восхищался весь мир, всегда было несбыточной мечтой людей, не умеющих просчитывать на тысячу лет вперед». Ричард Хоуитт (Richard Howitt), экономист, специалист по сельскому хозяйству, уроженец Великобритании, со сдержанным юмором сказал мне в университете в Дэвисе: «С Калифорнией все было бы в порядке без сельского хозяйства. Нам лучше пойти по пути экономики Аризоны. Мы бы постепенно сократили мелиорацию и перешли на кино (2,1% ВВП Калифорнии), информационные технологии (8%) и что-нибудь еще». Фрукты, орехи и овощи будут обходиться все дороже для каждого, а сама Калифорния смогла бы легко выжить на обрабатывающей промышленности, здравоохранении, финансовой сфере и образовании, благодаря которым она занимает седьмое место в мировой экономике, особенно если четыре пятых ее эксплуатируемых вод не пойдут на нужды орошения.

Это действительно реалистичный подход, хотя трудно представить, что такой прогрессивный штат, как Калифорния, позволит себе остаться без предмета ее гордости — полей и садов. Более трети сельского хозяйства Калифорнийской долины представлено виноградарством и древесными культурами — миндалем, грецкими орехами, фисташками, цитрусами, которые требуют больших вложений, начинающих окупаться только через семь лет после посадок. Фермеры уже внедряют высокие технологии в свои хозяйства — такие как, например, оросительные установки со встроенными приборами GPS, устройства, управляющие

орошением в зависимости от погодных условий, датчики влажности почвогрунтов, а также различные электронные приборы, специально разработанные для снижения потребления воды. Еще более радикальные шаги были предприняты в июне, тогда были введены непредсказуемые ограничения на права на воду для калифорнийской сельскохозяйственной знати — тех, кто со времен золотой лихорадки владел прибрежной землей в долинах Сакраменто и Сан-Хоакин и чьи права казались непоколебимыми. Путешествуя по Калифорнии, легко понять, что неприятности — как, впрочем, и творческое мышление — еще только начинаются.

Засуха преобразует Калифорнию во всех направлениях — метеорологическом, геологическом, биологическом, сельскохозяйственном, социальном, экономическом и политическом. Наиболее вероятно, что сочетание низкой влажности и высокой температуры станут основными погодными условиями в будущем. Даже когда случайно выпадут влажные годы, неотвратимо теплеющий климат вселяет уверенность, что осадки окажутся не в виде добротного снежного покрова, медленно отдающего свою воду, а сокрушительных дождевых ливней. Вот почему в ноябре прошлого года Калифорния проголосовала за Предложение 1: выделение более \$7 млрд на инфраструктуру водоснабжения, почти половина из них пойдет на строительство новых дамб и водохранилищ — грандиозную программу общественной деятельности. Здесь кроется луч надежды в отношении калифорнийской засухи: затраты одного человека открывают перспективы другого.

Инженерный корпус вооруженных сил хочет убрать бетонное основание на участке реки Лос-Анджелес длиной около 18 км. Сейчас это безобразный ливнеотводный канал, через который всего лишь сливаются в океан 784 млн л воды в день. Выполнение данного проекта по крайней мере позволит восполнить некоторый запас воды в водоносном горизонте и вложить более \$1 млрд в экономическое развитие.

В плане обеспечения водой прибрежных районов практически неограниченные запасы может дать опреснение, но это безумно дорогое мероприятие, оно требует больших затрат энергии, отягчено последствиями большого загрязнения двуокисью углерода, сильного засоления океана, что совсем не безопасно. Настоящая перспектива в управлении засухой видится в охране водных ресурсов и их повторном использовании. В Тихоокеанском институте, центре научных исследований в области окружающей среды, находящемся в Окленде, подсчитали, что лишь более рациональное использование домовладельцами воды на участках и в домах может сэкономить в Калифорнии 3,7 км³ в год, т.е. почти треть городского водопользования.

Согласно Предложению 1, на рециркуляцию воды выделено \$725 млн — и это в семь раз больше, чем когда-либо ассигновал штат. Но это лишь одна пятая из того, что калифорнийское отделение Ассоциации по повторному использованию вод, отраслевого объединения, намеревается пустить на оптимизацию оборота воды в штате. Предполагается также привлечь средства городов, округов и частных лиц на выполнение проектов повторного водоснабжения. Модернизация городских парков, площадок для игры в гольф, заводских и служебных зданий и даже жилых домов с «фиолетовыми трубами», которая позволит получить достаточно чистую воду, пригодную для благоустройства и озеленения, туалетов и других видов непитьевого использования, может стать многомиллионной сферой экономики.

Преобразования уже начались в округе Ориндж: там начиная с 2008 г. более трети сточных вод доведено до стандарта питьевой воды и сброшено в водоносные горизонты. В этом же округе еще 17% сточных вод очищается до пригодности использования в промышленном производстве, благоустройстве и озеленении территории, для сантехнических нужд. Затраты на инфраструктуру велики, но большая часть очищенной воды стоит округу чуть больше половины того, что он заплатил бы за водоотведение из быстро мелеющей реки Колорадо. В ноябре прошлого года городской совет Сан-Диего проголосовал за выделение почти \$3 млрд на водоочистное оборудование, которое понадобится на обеспечение нужд трети граждан города. Ассоциация по повторному использованию вод утверждает, что очистка сточных вод может обеспечить все коммунальные потребности 8 млн человек, что составляет одну пятую населения Калифорнии, а также предоставить несчетное число рабочих мест.

Новые ориентиры слегка пугают, но такова Калифорния. Проблемы существуют, но в них зарыто золото решения проблемы засухи. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Мастерс Д. Струйное течение становится фатальным // ВМН, № 2, 2015.
- Explaining Extreme Events of 2013 from a Climate Perspective. Edited by Stephanie C. Herring et al. in Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 95, No. 9, pages S1–S104; September 2014.
- Unprecedented 21st Century Drought Risk in the American Southwest and Central Plains. Benjamin I. Cook, Toby R. Ault and Jason E. Smerdon in Science Advances, Vol. 1, No. 1, Article No. e1400082; February 1, 2015.
- Climate Change and California Drought in the 21st Century. Michael E. Mann and Peter H. Gleick in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 112, No. 13, pages 3858–3859; March 31, 2015.





Погода

по согласию сторон

«В редакции:

— Тут вот сообщение, что найдено средство против бубонной чумы. Вы не знаете — наша партия за чуму или против?»

Карел Чапек

Вы за дождь или против? А как насчет ветра, града, тумана и молний? Ответ, конечно же, зависит от того, где вы сейчас находитесь, чем занимаетесь и какие у вас планы. Как часто в отношении погоды возможности не совпадают с желаниями! Но есть люди, которые способны разрешить наши недоразумения с метеорологическими явлениями почти в любой момент. Можно ли управлять погодой? Что возможно, а что нет? Насколько это безопасно? За подробными разъяснениями мы обратились к директору Института экспериментальной метеорологии, первому заместителю генерального директора НПО «Тайфун» по научной работе **Владимиру Николаевичу Иванову**.

Пульт управления погодой

— **Владимир Николаевич, вы помните свой первый опыт управления погодой?**

— Мы не только исследуем механизмы зарождения, эволюции и рассеяния таких глобальных явлений погоды, как тайфуны и циклоны, но и ищем методы воздействия на локальные метеорологические процессы. И это захватывает, потому что мы видим, как происходит управление погодой: воздействовали на облако — выпал дождь; рассеяли туман — обеспечили проводку судов или взлет-посадку самолета. Мой первый эксперимент по рассеянию тумана меня просто поразило, хотя мы, разумеется, в лабораторных условиях все отработали до мельчайших деталей. Это было в 1989 г. на Кольском полуострове. Там образуются плотнейшие туманы высотой 50–70 м, и никакие суда в таких условиях не могут выйти из мест своей

дислокации. Туманами парения в тот период кроме нас занимался только один ученый — Федор Семенович Терзиев. К сожалению, его метод был экологически вредным и не слишком эффективным.

Мы пошли другим путем — предложили способ, который оказался экономически более выгодным, экологически более чистым, эффективным с точки зрения рассеяния тумана и с продолжительным эффектом. Дело было зимой, туман стоял стеной. Такие туманы состоят из мельчайших капелек, не замерзающих даже при сильном морозе. Ни один прибор не видел ни света от фонарей, ни лазерных лучей, которые нами ставились для контроля видимости. Мы начали воздействовать на туман и увидели, как появляются оптические эффекты — вертикальные световые столбы. Они возникают, как правило, на фоне огней. Вы, наверное, видели такие в Москве, когда от фонаря

идет белый светящийся столб — отражение света от маленьких кристалликов льда, плавающих в морозном воздухе. То есть мы «заморозили» туман — превратили в те самые ледяные кристаллики. И вот у нас на глазах меняется видимость, воздух становится более прозрачным. А потом просто падает крупный снег. Появился просвет — стали видны огни на другом берегу залива, а залив был в том месте шириной примерно 3 км.

— Сегодня молодые специалисты часто приходят к вам в научно-производственное объединение?

— С 2008 по 2015 г. у нас в Институте экспериментальной метеорологии конкурс среди претендентов поступить к нам на работу. Выбирают лучших из лучших. Приходят молодые ребята, приводят с собой таких же талантливых, как они. Постепенно мы создали мощный коллектив. Думаю, им уже можно будет передать бразды правления, нужно только немного подготовить их в части управления... В экспедиции они едут с удовольствием, там на них ложится ответственность по проведению эксперимента. Начальники экспедиций — молодые ребята.

Есть в институте и носители знаний — люди, которым за 50 и даже за 60. А вот среднее звено — с сильным провалом. Очень мало! Мы передаем знания от пожилого поколения сразу молодежи. Это трудно.

Из нашего института после развала СССР за границу уехали немногие. Были экспедиции по тропической метеорологии на Кубе и во Вьетнаме, после которых уехали несколько человек. Некоторые вернулись, не всем там сладко.

Самые большие потери были от того, что ехали работать в Москву или уходили в бизнес. Мы потеряли больше половины коллектива. У нас в лучшие годы было чуть меньше 2 тыс. специалистов, а в 1990-е гг. стало 700. Не удержал бы институт специалистов, некому было бы обслуживать приборы.

— О каких приборах идет речь?

— Установки, которые строили еще академик Евгений Константинович Федоров и член-корреспондент РАН Борис Вульфович Левин (крупнейший аэрозольщик), не устарели до сих пор. Мы их, конечно, модернизировали. В совокупности у нас шесть различных климатических установок: большая облачная камера (кстати, самая большая в мире), термобарокамеры, аэродинамические трубы, гидрофизический стенд и т.д. Для чего они нужны? Возьмем, например, большую облачную камеру. Объем — 3,2 тыс. м, особенность камеры — можно ночью и днем, зимой и летом создать одни и те же погодные условия, например облако. Экспериментатор может в любой момент воспроизвести среду с идентичными характеристиками. В природе же облака не повторяются. У американцев была

такая камера с объемом около 3 тыс. м, но они не смогли ее сохранить. Видимо, коммерческие интересы перевесили чисто научные.

— А у нас этого не произошло?

— Мне говорили: «Зачем это все? Давайте сдадим в металлолом». Кое-кто предлагал огурцы в ней солить. Ну, это уже шутка была, конечно.

— Что вы отвечали?

— Я говорил: «Будет время — вы еще передо мной извинитесь». Так и случилось. Сейчас мы работаем с китайскими и кубинскими учеными, к нам приезжают болгарские и израильские специалисты. И все говорят: «Такого в мире больше нигде нет».

Помимо облачной камеры, как я говорил, у нас есть еще пять климатических установок, которые сосредоточены в специально построенном здании. Его назвали аэрозольным корпусом — специализированный комплекс модельных установок для геофизических исследований.

Есть еще один уникальный научный объект — высотная метеорологическая мачта. Она позволяет непрерывно изучать пограничный слой атмо-

Ионосфера — слой низкотемпературной плазмы с низкой концентрацией электронов — очень сильно влияет на распространение радиоволн

сферы до 300 м. Исследуются процессы в приземном слое, которые сильно влияют и на авиацию, и на перенос загрязняющих веществ, и на многое другое. Там очень много датчиков — на каждом балконе. А балконов 13.

У нас есть лидарные станции. Лидар — это оптический локатор, который мы сами создали. Он измеряет вертикальное распределение озона, температуры и аэрозоля. Мы измеряем эти параметры атмосферы до высоты примерно 60–65 км. Мощнейший инструмент! Мы его поставили на семи станциях по всей России. Геофизический полигон с метеорным радиолокатором. Мы же еще метеоры ловим! Они горят максимум секунду. Нам достаточно 0,3 с (это среднее время горения метеора), чтобы поймать метеорный след, сопроводить чуть-чуть и определить скорость ветра на той высоте.

— Для чего?

— Это высоты примерно 80–105 км. Ветер нужно мерить от приземного слоя, от нуля метров, до 100–150 и даже до 300 км. На высоте примерно 80–105 км мы измеряем ветер с помощью метеорных следов. Выше — с помощью

метеорологических или геофизических ракет. Это важно для прогноза погоды, авиации, космической деятельности.

Мы создали новый метеорологический ракетный комплекс. Провели государственные испытания, с его помощью обеспечили научный эксперимент в Тикси — показали, что комплекс работает. Сейчас готовим очередной уникальный эксперимент с академией наук — изучение ионосферы. Ионосфера — это, по сути, слой плазмы, низкотемпературная плазма, где электронная концентрация не очень большая. Еще называется холодной плазмой. Она сильно влияет на распространение излу-



Фрагмент сетчатого электрического фильтра для рассеяния теплых туманов на автодорогах, в аэропортах, в морских и речных акваториях

чения радиоволн. В частности, коротковолновая связь очень зависит от ионосферы. Наша задача — максимально изучить ионосферу. Такие знания позволят иметь устойчивую связь. Наши коллеги пошли дальше. Кстати, мы тоже причастны к этому. Специалисты Института прикладной геофизики им. Е.К. Федорова (к слову, он создал наш институт) разработали сети приемников, которые ловят сигналы навигационных спутников — GPS, ГЛОНАСС. Этот сигнал задерживается ионосферой. Задержка позволяет определять ее характеристики. За рубежом подобная сеть радиотомографии работает, а в России ее только создали. Сейчас если ионосфера возмущена, например, магнитными бурями, точность позиционирования ухудшается до 50–60 м. Мы хотим прийти к 1–3 м.

— У вас в институте есть возможность заниматься фундаментальными исследованиями — или только прикладной наукой?

— Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды «Росгидромет» финансирует прикладные научные исследования. Фундаментальные исследования — все же прерогатива академии наук. Такие научные

исследования, как разработка новых методик, реагентов, приборов, где не требуется больших вложений, финансируются «Росгидрометом». И я считаю, что это большое достижение. В 1990-е гг. и этого не было. У нас финансирование «Росгидромета» было примерно 30% от необходимого, по минимальной зарплате. Мы поставили себе задачу найти внебюджетное финансирование, хозяйственные договоры. Пока получается.

— Какие отрасли чаще всего прибегают к вашей помощи на сегодня?

— Коммунальщикам нужна погода. Обращается сельское хозяйство. Сейчас готовим эксперимент в Ставропольском крае. Они нуждаются в управлении осадками. Их очень не хватает в этом регионе. Раньше умели воздействовать только на холодные облака (их температура отрицательная), используя в качестве реагента йодистое серебро. Мы с нашими коллегами придумали способ воздействовать на теплые облака. Их в мире гораздо больше. К нашей разработке проявляют интерес и китайцы, и израильтяне. Сейчас мы подали заявку на конкурс, объявленный Арабскими Эмиратами. Они будут финансировать примерно три проекта. На-

деемся, конечно, что выиграем.

— Какие существуют направления разработок и исследований в области управления погодой в России и в мире?

— Есть несколько таких направлений. Вызывание осадков — нужная и реальная возможность. Рассеивать туманы — очень актуально для многих стран, в том числе для России. В частности, интерес связан с безопасностью на автомобильных дорогах. Например, в Италии автомобили бьются десятками и сотнями там, где в горных местах образуются туманы. Холодные туманы научились рассеивать, но с теплыми до сих пор ничего не получается. Сейчас мы в наших облачных камерах отработываем новый способ. В прошлом году испытали метод в аэропорту Нальчика.

С помощью специальных электрофильтров мы создаем ионный ветер, когда ионы из одного электрода летят к другому. Ионы сталкиваются с молекулами воздуха, увлекают их за собой, образуется ветер. Капельки тумана тоже им увлекаются, заряжаясь, осаждаются на другой электрод, противоположно заряженный, и стекают в виде воды. Так, к слову, получают воду «из ничего».



Стенд на базе самой большой облачной камеры в мире для испытания методов, технических средств и реагентов для управления погодой

Высотный стенд на базе двух 100-кубовых термобарокамер для моделирования тропосферы и нижней стратосферы



Подозрительная погода или атмосфера?
 — В 2011 г. «Аргументы и факты» писали о том, что причиной ужасающей жары в Москве летом 2010 г. могло стать применение американской климатической установки под названием **HAARP**. Здесь может быть хоть доля правды?

— Конечно нет! Жара 2010 г. в Москве — обычное метеорологическое явление. Вариантов, почему так произошло, много. Все правдоподобные. Одни объясняют происшедшее чисто физически,

другие — математически. Вовлекают солнечно-земные и лунные связи. Но метеорологические установки... Во-первых, такие воздействия запрещены. Во-вторых, это очень трудно. А уж с использованием таких установок, как **HAARP**, — попросту невозможно.

— В 2014 г. **ВВС** сообщило, что во время войны во Вьетнаме США использовали засевание облаков для продления сезона муссонных дождей над территорией противника. Технологии того времени позволяли подобное?

— Если вспомнить Вьетнам, это, конечно, преднамеренное воздействие. То есть на локальные процессы воздействовать можно.

— А возможно, чтобы одна страна испытала у себя некую метеорологическую установку, а это значительно повлияло бы на погоду в другой?

— Мы занимаемся локальными воздействиями. Но давайте рассуждать. Например, воздействие на тайфун — это глобальное воздействие. Тут могут быть две задачи — снижение интенсивности и изменение траектории. Попытки были. Американцы работали. Мы думали. Опасно? Да. Могут быть предъявлены претензии любой страной — вы воздействовали на тайфун, подвергли нашу страну и причинили ущерб. Это чревато скорее большими проблемами из-за того, что каждый будет безосновательно обвинять другого, что может привести к конфликтам.

— **Взаимная подозрительность способна далеко завест!**

— В 1998 г. мы начали работать с американским заказчиком из города Логана — Лабораторией космической динамики. Когда они приехали

HAARP — американская установка, созданная для изучения природы ионосферы, а также совершенствования систем противовоздушной и противоракетной обороны. Комплекс просуществовал до 2014 г. Он находился в тайге на полигоне Гакона (штат Аляска). Аналоги по сей день существуют как в США, так и в Европе. **HAARP** отличало от них наличие инструментов, которые, в частности, позволяли управлять излучением. В художественной литературе и кинематографе установка несколько раз фигурировала как апокалиптическое оружие. Со временем в таком же контексте она стала упоминаться в Интернете и в некоторых СМИ. В реальности мощность излучения **HAARP** составляла 3,6 МВт — потенциал, недостаточный даже для незначительного атмосферного воздействия.

к нам, были поражены нашими возможностями. Замглавы делегации высказал мысль: хорошо, что в свое время они не получили денег на создание собственных метеорологических установок в США. Его руководитель возмутился: «Почему?!» Тот ответил, что они построили бы не то, что нужно. А то, что им нужно, — здесь. Через три месяца мы получили от них финансирование для проведения работ, по тем временам огромное. Мы работали с ними пять-шесть лет. Наши, видя, что американцы с нами сотрудничают, тоже стали вкладывать средства. Очень интересная и важная была работа.

И у американской стороны, и у российской есть система предупреждения о ракетном нападении. Если ракета взлетела, космические аппараты, которые наблюдают за Землей, могут увидеть ее старт по вспышкам, по выхлопу огня. Инцидент был в 1983 г. Советская система наблюдений обнаружила многочисленные вспышки на американской стороне. Чуть не разразилась Третья мировая война, потому что наши приняли это за массовый старт американских ракет. Была дана команда рассмотреть возможность ответного удара. Подполковник С.Е. Петров сумел вовремя доказать, что происходящее не связано с ракетными стартами, речь скорее идет о метеорологическом явлении. За это он впоследствии получил много наград как от нашего государства, так и от зарубежных.

Речь шла не о старте ракет, а о солнечных зайчиках, которые образуются на облаках верхнего яруса на высоте примерно 12 км. Они состоят из кристалликов льда. Если они определенной формы и определенным образом ориентированы, могут давать блики. Была начата работа, в том числе в нашем институте, чтобы уйти от субъективных факторов при интерпретации данных систем предупреждения о ракетном нападении и избежать опасных инцидентов. Конечно, мы касались только метеорологических аспектов.

— В кои-то веки человек получил награду за то, что война не началась, а не за участие в боевых действиях!

— Да. Правда, недавно был сюжет на телевидении о том, как плохо подполковник Петров сейчас живет, где-то под Москвой. Но это уже другой вопрос...

Мы провели серьезную работу, показали, при каких условиях образуются солнечные блики и как они зависят от формы кристаллов, их размеров и ориентации в пространстве.

— Дают ли научные знания на данном этапе возможность безошибочно отличить начало военных действий от природных явлений?

— Я считаю, что определенные наработки сейчас есть и у нас, и у американцев.

Станислав Евграфович Петров —

советский подполковник в отставке.

В сентябре 1983 г. он был оперативным дежурным командного пункта Серпухов-15, куда поступил сигнал космической системы раннего предупреждения ракетного нападения «Око». Ее компьютер сообщал о запуске ракет с американской базы. Поставленное в известность руководство страны принимало решение об ответных действиях. С.Е. Петров обратил внимание, что все «запуски» почему-то производились из одной точки. Благодаря этому наблюдению было проведено оперативное расследование. Оно показало, что речь шла о метеорологическом явлении.

Как поделить дождь?

— С учетом вьетнамского опыта и современных экспериментов в области управления направлением ударов молний ждут ли нас в будущем еще и погодные войны?

— Наверное, все может быть. Вьетнам — хороший пример. Но, скорее всего, он единственный. Это все сложно осуществить.

Управление молниями — мы работаем над этой проблемой. Вопрос очень важный для Юго-Восточной Азии, там бывает много молний. Компьютерные сети выходят из строя. Хотя меры принимают, проблема существует. Мы работаем над тем, чтобы вызвать молнию в нужном месте или разрядить облако с помощью лазерной искры.

— В мирных целях, надеюсь?!

— Да, молния молнией, но вначале мы разработали прибор, который позволяет изучать элементный состав веществ: почвы, например, или ткани. Интенсивный луч лазера падает на пробу почвы, получается мощный плазменный разряд. Испаряется почва, возникает светящаяся плазма. Измеряем спектр излучения и говорим: есть, условно, мышьяк, свинец, олово и сколько. Мы сегодня производим прибор, который дает оперативно, примерно за две-три минуты, практически всю таблицу Менделеева — 90 элементов за раз — без сложной подготовки. Началось с него. Потом услышали, что лазерной искрой занимаются с целью вызывания молнии в нужном месте. Мы проработали этот вопрос. Дороговато, но если очень надо будет уйти от проблем, связанных с поражением молнией, этот лазер решает вопрос.

— Насколько трудно получить разрешение испытать что-то новое в полевых условиях?

— Не трудно. Но не все хотят. Наше учреждение имеет бессрочные лицензии, потому что мы доказали своими действиями, что не пойдем на недобросовестные эксперименты.

— **Те же «Аргументы и факты» сообщали об успешном проведении в 2010 г. в Арабских Эмиратах испытаний первой в мире установки, искусственно вызывающей грозовой фронт. Что вы об этом знаете?**

— Они сами не понимают, на что воздействуют. Речь идет о влиянии на атмосферные процессы с помощью электричества. И в Москве применяли такие способы. Но ни один из методов не испытан — не проверен так, как требует «Росгидромет». Нужно проведение испытаний на идентичных контрольных площадках в течение многих лет, чтобы подтвердить, что метод безвреден и эффективен. Этого сделано не было. Мы предлагали провести у нас испытания всем, кто занимается методом электрического воздействия в России, — это три, четыре или пять групп. Никто не пришел. То ли боятся, то ли не хотят.

В 1990-е гг. мы тоже предлагали Министерству промышленности и науки вместе с нами испытать методы воздействия на туманы. Отказывались авторы. Потом передумали. В результате устройство для воздействия на теплый туман мы довели до ума.

— **А чего больше в жизни «управляющего погодой» — расчетов, экспериментов или согласований?**

— Я полагаю, опыт — критерий истины. Поэтому мы много считаем и все равно приходим к эксперименту. Сейчас расчеты начинают немного преобладать. Четыре учреждения «Росгидромета» объединились и создали трехмерную численную модель конвективного облака. У нас появился инструмент, и теперь мы можем считать. Мы отвечаем за так называемый микрофизический блок (микроструктура капель, их концентрация и размеры) и за блок воздействия на теплые облака соевым порошком. В целом получилась прекрасная модель.

«Запасы пресной воды

не используются рационально, в соответствии с существующим спросом и потребностями. Мы по-прежнему не обладаем всей полнотой информации по этому вопросу, а управление водными ресурсами дезорганизовано. В этой связи будущее представляется все более неопределенным, а риски становятся более значимыми» (из доклада генерального директора ЮНЕСКО Ирины Боковой).

— **Как быстро новые разработки находят реальное применение? Каковы сейчас главные препятствия?**

— В 1989 г. мы разработали метод борьбы с заморозками. Мы показали его в Молдавии — продемонстрировали на примере абрикосового сада, как можно защищать фрукты и овощи от весенних и осенних заморозков. У нас были тепловыделяющие реагенты, они взаимодействуют с влажной атмосферой и выделяют тепло. Их достаточно бросить в междурядье. Колхозы готовы были сразу внедрять технологию, приспособив для распыления реагентов сельскохозяйственную технику. Но началась война в Дубоссарах (на месте проведения работ), и Молдавия больше не возвращалась к вопросу о реагентах. Используем для борьбы с заморозками и искусственные туманы. Теперь наша технология применяется в южных регионах нашей страны. Но сейчас не колхозы, а фермеры, которые не способны в одиночку содержать и эксплуатировать такой метод воздействия.

— **А если они объединятся?**

— Звонит фермер, просит вызвать осадки на его поле. Я объясняю, что мы не промышленное предприятие, которое этим занимается, а ученые. Он настаивает: «Но только так, чтобы моему соседу не досталось ничего!» У этого фермера поле — километров пять на пять. Если бы 20 на 40, еще можно было бы как-то подгадать. За 20 минут облако пролетает это поле элементарно, а время жизни облака — примерно 20–30 минут. Но никто не хочет объединяться! И не только у нас. Наш специалист Алексей Шилин был в Бразилии и в Аргентине. Там тоже одни платят за эти воздействия, а другие думают: если я не плачу, но сосед борется с градом — и мне достанется. Нет рычагов управления.

В Ставропольском крае местные органы власти финансируют подразделения «Росгидромета», которые называются «военизированные службы по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы». По-моему, в Казахстане об этом задумались...

— **Не представляется ли опасным внесение собственных изменений в планы природы? Разве это не нарушает некое равновесие?**

— На первый взгляд, такая проблема есть. Но вот пример Китая. Нет претензий одних провинций к другим. Все они обеспечены средствами воздействия. Они между собой взаимодействуют. Тем более процессы воздействия — локальные. Мы воздействуем на одно облако, другое все равно образуется. Теоретически можно отнять осадки у соседа, но практически — нереально.

— **Можно ли решить проблему распределения ресурсов пресной воды, которых, как говорят, скоро будет не хватать, при помощи манипуляций с погодой?**

Кандидат физико-математических наук В.Н. Иванов



Аэрозольный корпус НПО «Тайфун»

— Есть такое понятие — облачные ресурсы. Осадки из чистого неба не вызываются. Их вызывают из конвективных или из слоистых облаков. На определенные облака можно воздействовать, на другие нельзя. И выжать из облака больше, чем уже доказано, невозможно. Способ с помощью со-

Если на всей Земле, будет происходить сильное потепление и адаптироваться к нему станет невозможно, может быть, тогда мировое сообщество придет к согласию

левого порошка дает хорошие перспективы. Тем не менее нельзя одним способом решить глобальную проблему нехватки пресной воды. Их много, мы над ними работаем. Опреснение воды — технология экологически опасная и очень дорогая.

— Можно ли спровоцировать появление облаков?

— Можно. Это непростая задача. В прошлом веке в Советском Союзе и за рубежом много занимались созданием облаков. В том числе это делалось для того, чтобы восстанавливать обмелевшие озера. Подобные эксперименты проводились, насколько я помню, на озере Севан.

— А если сначала создать облака, а потом уже вызвать осадки?

— Это труднее. Теоретически можно, если конвективное облако создать и вовремя на него воздействовать. Конвективное облако существует

30 плюс-минус 10 минут. Введешь реагент рано — эффект падает в разы. Чуть опоздаешь — то же самое. Мы сами разработали реагент, изготавливаем его здесь. Сейчас 400 кг заказали кубинцы для эксперимента.

— Все эти реагенты безопасны для окружающей среды?

— Первое условие при разработках новых реагентов: они должны быть безопасными. Был период, когда много работали в Молдавии и воздействовали на процессы с помощью йодистого свинца. Свинец — вредное вещество. Тем не менее ученые в Советском Союзе проводили многолетние эксперименты по заданию «Росгидромета» и показали, что дозы, которые вносились, очень малы и не привели к загрязнению почв. Следов йодистого свинца не было обнаружено ни в почве, ни в виноградниках.

Сейчас йодистый свинец перестали использовать. Йодистое серебро почти безвредно, но дорого. А вот жидкий азот — вообще не вредный. В атмосфере 79% газообразного азота. И специалисты доказали, что, применяя его, мы не перенасытим атмосферу азотом. Или солевой порошок. Теоретически он может привести к засолению земли. Но мы в облако огромных размеров — километр в диаметре и пять-шесть в высоту — вводим около 10–20 кг порошка. Это мизер.

Осталось договориться о климате

— В одном интервью вы говорили, что уже сейчас можете предложить сценарий решения проблемы на случай как глобального потепления, так и глобального похолодания?

— Управлять климатом можно. Но эта проблема должна решаться мировым сообществом

Михаил Иванович Будыка — советский геофизик, академик. Его называли одним из самых авторитетных климатологов XX в. Внес фундаментальный вклад в развитие знаний о глобальных изменениях климата на Земле, в том числе под влиянием человеческой деятельности. Почти в любом современном учебнике по климатологии содержатся многочисленные ссылки на труды этого ученого. Всего им было опубликовано 24 монографии, две научно-популярные книги по всемирной истории и истории литературы и более 200 научных статей.

согласованно. Если на всей Земле, например, будет происходить сильное потепление и адаптироваться к нему станет невозможно, останется клочок Земли с более или менее нормальной погодой, может быть, мировое сообщество придет к согласию. А вот способы... Первый способ, если речь идет о потеплении, — часть солнечного излучения просто отразить в космос, чтобы оно не попадало на Землю. Мы изучаем такой способ. А предложил его в 1972 г. член-корреспондент АН СССР Михаил Иванович Будыка.

Если в атмосфере на высоте 12–17 км создать аэрозольный слой, он отразит полпроцента солнечного излучения назад в космос. Так можно приостановить потепление. Другие ученые предлагают поставить между Солнцем и Землей в точке Лагранжа — это на одной линии с Солнцем, где уравниваются гравитация его и Земли, — управляемый экран. Дороговато, но реально. Потеплеет, значит, закрываем солнышко. Проект трудно реализуемый, хотя в точке Лагранжа уже есть спутники, поэтому осталось только сделать экран. Еще можно делать облака или туманы, которые тоже способны отразить часть солнечного излучения...

— **То есть технически это уже возможно?**

— Мы с покойным академиком Юрием Антониевичем Израэлем занимались этим способом. Он подхватил идею Михаила Ивановича Будыки, и мы этот способ испытывали в специальных установках, где можно создать условия, характерные для стратосферы. Мы изучали, как образуются стратосферные аэрозоли. А это, по сути дела, H_2SO_4 — серная кислота. Как она образуется? Извергается где-нибудь вулкан, дает сернистый газ SO_2 . Сернистый газ под действием жесткого ультрафиолета окисляется и превращается в SO_3 . SO_3 взаимодействует с влагой атмосферы — получается H_2SO_4 (кислота).

Нас с Ю.А. Израэлем ругали за то, что мы хотим загрязнить атмосферу серой. Но когда мы посчитали, сколько надо ввести вещества, выяснилось, что это на пять порядков меньше, чем вырабатывает промышленность. Конечно, вопросов еще много. Этими исследованиями занимаются и в США, и в Англии. Понятно, что одной стране это не потянуть. Осуществление подобных мер требует согласованной работы с международным научным сообществом и общественностью. Мы изучаем физику процесса, готовим для будущих поколений возможные варианты сценария. Может, они не будут использованы. Мы не тратим больших денег. Провели локальный натурный эксперимент на высоте 2,5 км, думаем о высотном эксперименте. Но есть проблемы с финансированием.

— **А каково решение на случай глобального похолодания?**

— Реагент должен не отражать часть солнечного излучения, а поглощать. Потребуется подобрать высоту. Мы в камерах убедились, что оба типа реагентов работают. Да сама природа провела эксперимент! За самолетом образуется конденсационный след. При сжигании грамма керосина образуется примерно полтора грамма воды. Она конденсируется, замерзает, получаются кристаллы. И это влияет на климат. Облака — один из серьезнейших факторов, влияющих на климатические процессы.

— **Правильно я понимаю, что в конечном итоге спасение мира не в технологиях, а в способности людей договориться?**

— Безусловно! ■

Беседовала Ксения Чернявская

СПРАВКА

Владимир Николаевич Иванов

- Директор Института экспериментальной метеорологии, первый заместитель генерального директора НПО «Тайфун» по научной работе, кандидат физико-математических наук.
- Сфера научных интересов: физика атмосферы и активные воздействия на метеорологические и геофизические процессы.
- Лично и в соавторстве опубликовано пять монографий и свыше 150 научных статей в отечественных и зарубежных изданиях.
- Соавтор 20 изобретений, многие из которых внедрены в созданную систему геофизического мониторинга.
- Награжден медалями «За заслуги перед Отечеством» I и II степеней.

Цикл телепрограмм

ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



Автор и ведущая —
Эвелина Закамская



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

Ноам Хомский:
интеллектуал
Западного полушария

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



Стивен Шор:
аутист, разрушивший
стену своего заболевания

Михаил Ковальчук:
НБИКС-конвергенция —
цивилизационный взрыв

Бертран Пикар:
вокруг света
на энергии Солнца

Адриано Агуцци:
прионы — наслед-
ственность без ДНК

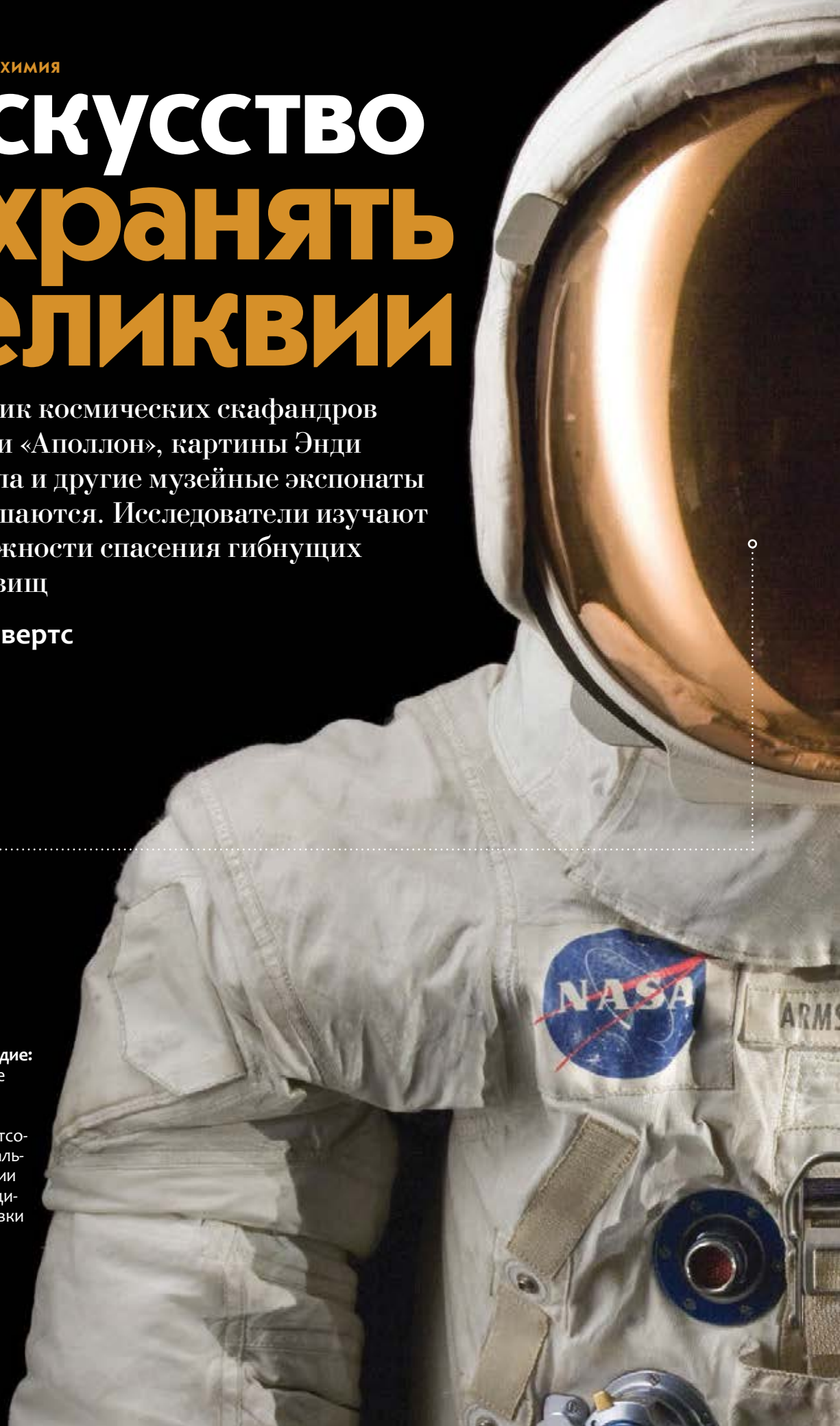
ХИМИЯ

Искусство сохранять реликвии

Пластик космических скафандров миссии «Аполлон», картины Энди Уорхола и другие музейные экспонаты разрушаются. Исследователи изучают возможности спасения гбнущих сокровищ

Сара Эвертс

Нестойкое наследие:
поликарбонатное
окно шлема ска-
фандра миссии
«Аполлон» в Смитсо-
новском националь-
ном музее авиации
и космоса дегради-
рует, теряя добавки
к полимеру





Эти белоснежные 82-килограммовые скафандры были сделаны на совесть. Они изготовлены вручную из 20 с лишним слоев самых передовых материалов и защищают владельцев от воздействия температур в диапазоне от -185 до $+150^{\circ}$ С и от настолько низкого давления среды, что оно вызвало бы закипание крови.

В июле 1969 г. мир с пристальным вниманием наблюдал, как астронавт Нил Армстронг, одетый в один из таких скафандров, ступил с трапа на пыльную поверхность другого небесного тела, навсегда изменив ландшафт Луны и оставив неизгладимый след в истории человечества. Лишь очень немногие символы прозорливости и успеха производят большее впечатление, чем эти скафандры. →

ОБ АВТОРЕ

Сара Эвертс (Sara Everts) — берлинский корреспондент журнала *Chemical & Engineering News*. Регулярно пишет о науке и искусстве сохранения ценностей.



На Земле эти исторические скафандры стали экспонатами Национального музея авиации и космонавтики в Вашингтоне, привлекающими миллионы посетителей. А члены лунной экспедиции с удивлением обнаружили, что скафандры разрушаются и требуют реставрации и обеспечения долговечности.

В прошлом году хранительница музея Лайза Янг (Lisa Young) заметила, что поверхность прозрачных шлемов скафандров начинает трескаться и на ней появляется мутный белый налет. «Очень жаль, — говорит Янг. — Мы думали, что они долговечнее». Однако это были тревожные признаки разрушения. Неопреновые пневмокамеры скафандров, защищающие астронавтов от космического вакуума, начали крошиться еще несколько лет назад, выделяя кислотообразующие газы. «Все, кто работал с этими скафандрами, знают их запах, — говорит Янг. — Я бы описала его как приторный, напоминающий хлор». А на белом внешнем слое ткани стал появляться буроватый липкий налет.

Винной всему материал скафандров — пластик. Большинство людей полагают, что пластик вечен и поэтому губителен для окружающей среды. Но, хотя повторяющиеся группы атомов углерода, кислорода, водорода и других элементов долговечны, век полимеров, цепей этих групп, не так долговечен. Совокупное воздействие света, кислорода и температуры ослабляет связи между блоками полимера, а химикаты, добавляемые в пластик для повышения его гибкости или для окрашивания, мигрируют к поверхности, делая ее липкой, из-за чего на ней очень хорошо оседает грязь. Янг полагает, что из поликарбонатных скафандров выделяется вещество, добавляемое в пластик для облегчения его формования.

Эти же беды угрожают и бесценным произведениям искусства XX в. Энди Уорхол, Дэвид Хокни и Марк Ротко писали акриловыми красками — полимером, пропагандировавшимся в 1940-х гг. в качестве замены традиционным масляным краскам.

Пластик служит основой многих современных объектов культурного наследия, включая дизайнерскую мебель, старые киноплёнки, манекены для краш-тестов, первые в мире элементы конструктора *Lego*, бакелитовую бижутерию и скульптуры в стиле поп-арт. «Сегодня мы знаем, что изделия из пластика — одни из самых уязвимых экспонатов в музеях и галереях», — говорит Ивонн Шашуа (Yvonne Shashoua), ученый-хранитель Национального музея Дании и одна из первых исследователей культурного наследия, начавших изучать разрушение пластика.

Область охраны культурного наследия сегодня стремительно развивается, стремясь поспеть за неожиданно быстрым разрушением материалов. Хранители идентифицировали пластики, наиболее склонные к деградации. Ученые разрабатывают новые средства выявления повреждения пластиков до того, как эти дефекты станут видимыми невооруженным глазом, например путем измерения выделения молекул из пластиковых изделий. Кроме того, специалисты разрабатывают новые стратегии «освежения» ценных пластиковых произведений искусства без ущерба для них, используя для этого самые разные средства — от моющих растворов (микроэмульсий) до полиэфирных микроволокон, деликатно удаляющих грязь.

Губительное непризнание

Понимание того, что пластики создают проблемы, приходило медленно. По словам Шашуа, в течение большей части XX в. музейный мир страдал «синдромом непризнания недолговечности пластиков»: «Никто не предполагал, что пластиковые объекты в их собраниях будут разрушаться». В период наибольшей популярности пластиков (с 1950-х до 1970-х гг.) некоторые хранители были настолько увлечены ими, что сами использовали их в своей работе. Так, в целях защиты древнейшего бельгийского пергамента *Codex Bezae Cantabrigiae* (VIII в.) хранители ламинировали его в поливинилхлорид (ПВХ). Спустя десятилетия этот ПВХ пришлось тщательно

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Многие из современных объектов культурного наследия — от живописи акриловыми красками до конструкторов *Lego* и космических скафандров — сделаны из пластика.
- Пластики недолговечны и распадаются на различные молекулярные фрагменты, и это грозит разрушением картин и других важных объектов.
- У реставраторов появились новые методы выявления ранних признаков разрушения произведений искусства и их восстановления, связанные с химизмом этих объектов.



удалить, поскольку его изменения начали ускорять порчу древнего документа.

На мысль о том, что пластики не вечны, Шашуа натолкнули манекены для краш-тестов. В юности она посещала Лондонский музей науки, где были выставлены эти манекены, изготовленные в 1970-х гг. для лучшего понимания того, во что обходятся человеку столкновения автомобилей. Манекены имели металлический скелет, окруженный медицинским желатином, в который была заделана красная краска, а самому желатину была придана форма человеческого тела, и он был затем покрыт защитным слоем ПВХ. В тех местах, где при краш-тестах манекен ударялся об элементы конструкции автомобиля, эта краска должна была вытекать из желатина и захватываться под защитным слоем ПВХ, образуя красные «раны», обозначающие наиболее уязвимые места тела.

По прошествии нескольких десятилетий эти музейные манекены «потекли». Шошуа была поражена, когда увидела, что покрывающий манекены ПВХ пришел в такой упадок, что совершенно промок, и в витрине пришлось установить чашки Петри для сбора стекающей массы. Когда в 2011 г. Шошуа занялась очисткой манекенов, она заметила, что с деградацией ПВХ их формы потеряли четкость. Местами красная краска смешалась с поврежденным ПВХ, придав слизи, капающей с манекенов, пугающе реалистичный буро-красный оттенок.



Грязная картина. Энди Уорхол написал портрет Брук Хейуорд (слева) полимерными (акриловыми) красками. Чтобы удостовериться в том, что очистка не повредила непрочную поверхность картины, музей использовал атомно-силовую микроскопию (справа).

Эта капающая слизь, а в сущности и все виды разрушения пластиков, имеет первопричиной своего появления кислород. В сочетании с воздействием света и температуры этот газ отрывает электроны от длинных полимерных цепей, переплетение которых определяет форму пластиковых изделий. Потеря электронов может ослаблять химические связи в пластике, подрывая его структуру. Длинные полимерные цепи распадаются на меньшие молекулы, называемые мономерами. В случае манекенов для краш-тестов эта дестабилизация пластика позволяет пластификаторам, добавляемым в пластик для придания ему большей пластичности, вытекать.

Когда музейщики начали осознавать, что пластики неспособны противостоять времени, тем, чья задача — сохранение пластиковых артефактов, пришлось начать детальное исследование причин разрушения своих собраний с нуля, говорит Матия Стрлич (Matija Strlič), ученый-хранитель Института долгосрочного хранения культурного наследия Университетского колледжа Лондона. Хотя по производству полимеров существует обширная литература, временной период всех исследований заканчивался там, где кончается ожидаемый срок службы изделия из пластика, т.е. как раз там, где начинается интерес хранителей, говорит Стрлич. Вероятно, изготовители полимеров рассчитывали, что старые пластмассовые вещи будут выбрасывать, а не передавать в музеи.

Опасная четверка

Ученые-хранители выяснили, что больше всего проблем создают четыре вида полимеров: ПВХ, используемый повсюду, от шлангов системы жизнеобеспечения в космических скафандрах до манекенов для краш-тестов; полиуретан, основной компонент таких разных изделий, как колготки, упаковочные пенопласты и скульптуры; и, наконец, нитрат и ацетат целлюлозы (нитроцеллюлоза и ацетилцеллюлоза) — два из первых в мире синтетических полимеров, пошедших в массовое производство. Они использовались в производстве первых кино- и фотопленок, а также искусственных «черепаховых» гребней и мундштуков.

Ацетат и нитрат целлюлозы не только недолговечны, но и часто воспринимаются хранителями как вредные, говорит Шашуа. Дело в том, что они несут разрушение соседствующим с ними

предметам. При распаде полимерных цепей выделяются газы, образующие азотную и уксусную кислоты. (Именно уксусная кислота придает уксусу его характерный аромат, а разрушающейся пленке — запах, напоминающий запах приправы для салата.) Кислоты разъедают предметы, сделанные из этих пластиков. Хуже того, они вызывают коррозию металлов и повреждение текстильных изделий, хранящихся в одной витрине с изделиями из этих пластиков или на соседних стендах. Запах уксуса служит тревожным звонком, извещающим о том, что изделия из этих пластиков не только разрушают себя, но и несут угрозу близлежащим предметам.

Шашуа доводилось видеть на демонстрациях мод витрины, где кислоты от пластиковых гребней начали разъедать одежду, выставленную с этими гребнями, или где пластиковые очковые оправы выделяли кислоту, вызывающую коррозию металлических петель дужек этих оправ. По ее словам, в собственном рабочем помещении она обнаружила, что хранящиеся в ящике ножи с ручками из нитроцеллюлозы начали выделять азотную кислоту, вызывающую коррозию как лезвий самих этих ножей, так и дверных петель шкафчика, где хранились столовые приборы. Чтобы остановить эти химические атаки, можно хранить предметы из ацетилцеллюлозы в хорошо вентилируемых пространствах либо улавливать опасные газы в микропорах фильтров из активированного угля и цеолита, подобно тому, как они улавливаются в противоязгах.

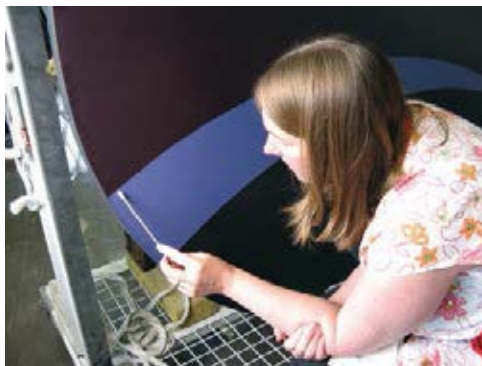
Вентиляция и улавливание газов — хорошие стратегии для сохранения предметов из нитрата и ацетата целлюлозы, но они применимы не ко всем пластикам, говорит Шашуа. Например, в случае ПВХ удаление продуктов его разрушения только усиливает их выделение. Поэтому, чтобы замедлить разрушение ПВХ, необходимо хранить изделия из него в газонепроницаемых контейнерах. Когда хранители заметили, что безупречно белые нейлоновые внешние оболочки скафандров

«Аполлона» стали покрываться буроватым налетом, они поняли, что это вызвано выделением пластификатора из вшитых в ткань ПВХ-трубок системы жизнеобеспечения. Эти трубки предназначены для защиты астронавтов от перегрева путем прокачки по ним холодной воды. «Нам пришлось тщательно удалить все эти трубки из скафандров и хранить их отдельно в герметичных контейнерах, — говорит Янг. — Это была очень трудоемкая работа».

Противоположность этих подходов — вентиляции и герметизации — ясно показывает, почему универсального решения быть не может. «Нет двух похожих объектов», — говорит Стрлич. Поэтому в каждом изделии из пластика хранители стараются идентифицировать основной полимер, применяя для этого обычно аналитические машины, например инфракрасный фурье-спектрометр, позволяющий выявить молекулярный «отпечаток пальца» объекта. Хранители Музея Соломона Гугенхайма в Нью-Йорке использовали этот метод для выявления скрытой опасности в работах Ласло Мохой-Надя, одного из пионеров Баухауза. Они считали, что основным материалом его картины *Tr2* был бакелит (фенол-формальдегидная смола), говорит главный хранитель музея Кэрол Стрингари (Carol Stringary). Однако недавний анализ с помощью ИК-спектроскопии, выполненный учеными из Института искусств в Чикаго, показал, что

это была нитроцеллюлоза, один из материалов, выделяющих вредоносные кислоты.

Использование спектроскопии полезно, но ее возможности не беспредельны. Она позволяет идентифицировать многие ингредиенты, но не всегда способна выявить всю совокупность красок, стабилизаторов, поверхностно-активных веществ, пластификаторов и антиоксидантов, входящих в состав пластика. Промышленные производители часто держат свои рецепты в секрете как часть своей интеллектуальной собственности. А поскольку состав пластиков не публикуется, для его определения требуется очень сложный анализ.



Мокрое дело. Картина «Андромеда» (внизу) написана акриловыми красками с добавками, которые вызвали образование светлого налета на ее поверхности. Но хранители смыли этот налет водой с измененными концентрациями ионов и соли, не повредив темные краски (вверху).

Добавки в пластик определяют то, как будет стареть и разрушаться изделие. Некоторые варианты ПВХ, например использованные в трубках системы жизнеобеспечения космических скафандров, при разрушении выделяют клейкий пластификатор ди(2-этилгексил)фталат. При разрушении изделий из других вариантов ПВХ на их поверхностях образуется белый порошкообразный налет. В этом случае виновником становится стеариновая кислота, которая служит смазкой, добавляемой в пластик для того, чтобы он не прилипал к форме при изготовлении изделий.

Вынюхивание распада

Определение ингредиентов пластика перед выбором стратегии сохранения изделия настолько важно, что исследователи буквально вынюхивают их. В рамках проекта, метко названного «Наследие пахнет» (*Heritage Smells*), Кэтрин Карран (Katherine Curran) из Университетского колледжа Лондона воспользовалась тем, что многие разлагающиеся пластики выделяют пахучие молекулы. Так, ацетилцеллюлоза при разложении пахнет уксусом, неопрен — приторным хлором, ПВХ — новым автомобилем, а полиуретан может пахнуть малиновым джемом, корицей или горячей резиной. Но это всего лишь запахи, воспринимаемые носом человека. Карран разработала масс-спектрометрическую методику анализа всех выделяемых пластиковыми изделиями летучих молекул для выявления разрушающихся в пластике добавок и стабилизаторов. Это позволит определять, что происходит в пластике еще до появления видимых признаков распада, говорит Карран.

Свою методику она применила в Бирмингемском музее и художественной галерее, где брала пробы воздуха вокруг огромной инсталляции *ARTicle 14, Débrouille-Toi, Toi-Même!* («АРТикул 14, распрямись!»), выполненной в 2005 г. художником из Бенина Ромуальдом Азуме (Romuald Azoumé). Она представляет собой рыночную тележку, до краев заполненную спортивной обувью, катушками киноплёнки, клюшками для гольфа, старыми мобильниками, игрушками, посудой, изысканными туфлями на высоких каблуках, пылесосами и прочим хламом, который художник собирал в 1990-х и 2000-х гг. Среди этого хаоса группа Карран выявила присутствие уксусной кислоты, агрессивные пары которой могут разъедать близлежащие материалы. «Мы нашли, что катушки с киноплёнкой, в частности разрушающийся полиэфир подложки, выделяют кислоту», — говорит Карран. Сегодня штат музея решает, то ли хранить катушки с плёнкой отдельно, то ли использовать поглотители кислоты, чтобы она не причиняла вреда другим компонентам инсталляции.

На собрании винтажных кошельков из кожаных имитаций черепахового панциря или

скрученного телефонного шнура в Музее Лондона Карран испробовала методику «канарейки в шахте». В случае кошелька из белого телефонного шнура она «унюхала» присутствие пластификаторов, какие обычно выделяются из разлагающегося ПВХ, — полезный сигнал для персонала музея, который может захотеть хранить этот кошелек в герметичном контейнере.

Исследователи обратились также к новым технологиям отображения, позволяющим составлять пиксель за пикселем подробные двумерные карты химического состава объекта хранения. Так, Стрлич объединила спектроскопию ближней инфракрасной области с цифровой камерой для получения двумерных цветных карт, с помощью которых хранители смогут определять молекулярный состав изделий, содержащих несколько видов пластика, а также выявлять миграцию разрушающихся химикатов. Группа Стрлич заглянула внутрь популярной в 1950-х гг. «леди в кринолине» — щетки для волос с ручкой в виде женского бюста. С помощью этой методики группа установила, что ручка сделана из ацетилцеллюлозы, а «волос» щетки — из нейлона, используя переходы цвета для определения того, где какой из пластиков находится. Выявление потенциальных опасностей, например ацетатов, может позволить персоналу музея принимать надлежащие меры до того, как повреждения станут видимыми невооруженным глазом.

Хотя исследователи стали лучше диагностировать разрушение изделий и произведений искусства из пластиков, они стараются определить и то, каким образом правильнее остановить разрушение и восстановить повреждения. Одной из проблем посвящен проект *POPART (Preservation of Plastic ARTefacts in Museum Collections* — «сохранение изделий из пластиков в музейных собраниях»), начатый в 2008 г., в рамках которого были объединены усилия ряда организаций со всего мира. Очистка может придать объекту лучший вид, но в итоге ускорить общую деградацию. Белая корка на поверхности объекта может быть неприглядной, но при этом служить защитной патиной, как зеленый слой оксидов, формирующийся на старых изделиях из меди, который представляет собой продукт разрушения изделия, но служит при этом защитным покрытием.

Очистка

Даже если удаление патины — правильное решение, участники проекта *POPART* хотят, чтобы методы ее удаления были безопасными для объекта. Хранители очень осторожны, а это ценное качество для тех, кто заботится о произведениях искусства стоимостью в миллионы долларов. Под воздействием неподходящих чистящих средств пластики могут растрескиваться, растворяться или

обесцвечиваться. В рамках проекта *POPART* исследовались самые разные подходы: от использования современных микроволокон и ультразвука до применения «поднимающих» грязь тщательно подобранных микроэмульсий из воды, масла и поверхностно-активных веществ, а также гелей. Ученые установили, что очистка изделий из полистирола ацетоном, часто применяемым для снятия лака с ногтей, может сделать пластик из прозрачного матовым, а в итоге даже растворить его. Однако изопропанол, другой растворитель на основе спирта, для большинства пластиков безопасен.

При очистке картин, написанных акриловыми красками, опасной может быть даже такая простая вещь, как вода, говорит ученый-хранитель Галереи Тейта Бронвин Ормсби (Bronwin Ormsby). Она столкнулась с этой проблемой при работе с абстрактной картиной «Андромеда» русско-американского художника Александра Либермана, написавшего ее в 1962 г., — старейшей из картин этой галереи, написанных акриловыми красками. Ее четыре однородных цвета — черный, сиреневый, темно-пурпурный и темно-зеленый — вызывают ассоциацию с чернотой космоса. Но в акриловых красках содержатся добавки — поверхностно-активные вещества, которые не дают пигментам оседать на дно тюбика. Для художника это важно. Но по высыхании полотна эти добавки мигрируют к поверхности и создают на ней липкий слой, притягивающий грязь. К 2007 г. на картине накопился такой слой поверхностно-активного вещества, что образовался «белый налет, крайне мешающий на картине с преобладанием темных тонов», — говорит Ормсби. Можно было бы обратиться к воде как мощному средству. «Вода часто удаляет грязь лучше любого другого растворителя», — говорит она. Однако вода вызывает разбухание акриловых красок, и это ведет к потере краски в процессе очистки.

Но воду можно сделать безопаснее. Группа Ричарда Волберса (Richard Wolbers) из Университета штата Делавэр установила, что если подкислить воду до *pH* около 6 и умеренно подсолить, то это может ограничить разбухание акриловых красок. Ормсби применила эту методику к картине Либермана, которая сегодня выглядит такой же темной и мрачной, как 50 лет назад. А для проверки состояния написанного акриловыми красками портрета Брук Хейуорд работы Уорхола после его очистки, дабы убедиться, что удалена была только грязь, а не краска, исследователи из Галереи Тейта использовали атомно-силовой микроскоп.

Долговечные произведения искусства

Ормсби и другие исследователи сотрудничают с учеными из компании *Dow Chemical* в целях использования возможностей ее оборудования промышленного масштаба для быстрого проведения большого числа химических реакций, чтобы

проверить разнообразные микроэмульсии на образцах акриловых красок. Их задача — проверка различных комбинаций чистящих химических соединений ради подбора наилучшего состава для очистки поверхностей картин без их повреждения.

Кроме того, исследователи пластиков обращаются к художникам, чтобы предупредить их о возможных опасностях использования пластиков для создания произведений искусства. «Наша цель не в том, чтобы вмешиваться в творческий процесс, а в том, чтобы дать им возможность использовать полученные сведения, если они этого захотят», — говорит ученый-хранитель Кэролайн Кун (Caroline Coon) из Института долговечного наследия Университетского колледжа Лондона, сама художница. Она говорит, что хотела бы знать, что стало со скульптурой из силиконовой резины, литой бронзы, круглого аквариума и детского масла, которую она продала несколько лет назад. «Я представления не имею, как она сегодня выглядит. Надеюсь, что она не залила весь стол в столовой».

Сообщество специалистов по сохранению культурного наследия очень надеется, что реставрация произведений искусства прошлого поможет им подготовиться к будущему, когда в музеи начнут поступать сегодняшние изделия из пластика, в том числе изготовленные методом трехмерной печати. Одним из этих объектов может стать первая «печатная» акустическая гитара или скафандр с Международной космической станции. Со временем все станет прошлым, и хранители хотят располагать средствами поддержания этих памятников культуры в хорошем состоянии. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Science of Saving Art: Can Microbes Protect Masterpieces? Katherine Harmon in *ScientificAmerican.com*. Опубликовано онлайн 9.02.2009, см. по адресу: www.scientificamerican.com/article/the-science-of-saving-art
- Plastic: Has the Dream Material of the 20th Century Become the Nightmare of the 21st? Yvonne Shashoua in *Incredible Industry: Preserving Evidence of Industrial Society*. Edited by Morten Ryhl-Svendsen, Karen Borchersen and Winnie Odder. Proceedings of the Nordic Association of Conservators' 18th Conference, Denmark, May 25–27, 2009.
- Assessment of the Degradation of Polyurethane Foams after Artificial and Natural Ageing by Using Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry and Headspace-Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. A. Lattuati-Derieux in *Journal of Chromatography A*, Vol. 1218, No. 28, pages 4498–4508; July 15, 2011.
- Thermal Quasi-Reflectography: A New Imaging Tool in Art Conservation. Claudia Daffara et al. in *Optics Express*, Vol. 20, No. 3, pages 14,746–14,753; June 18, 2012



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия



Научное общество ИМ. С.П. Капицы

КРАСОТА
ПОЗНАНИЯ



В Москве, недалеко от улицы Беговой, на территории красивого ухоженного парка с беседками и фонтанами расположено уникальное учебное заведение, в котором учатся только девочки, — своего рода женский кадетский корпус, который удивительным образом сочетает в себе традиции института благородных девиц и абсолютно современного образовательного центра XXI в. Название этого учебного заведения — Пансион воспитанниц Министерства обороны Российской Федерации. А его герб — роза в раскрытой книге — символизирует любовь к красоте и знаниям.

Воспитанницы пансиона с ректором
МГУ В.А. Садовничим



Будущие студентки МГУ



Есть время для учебы,
есть время для веселья



Роза в раскрытой
книге на гербе
пансиона — символ
любви к красоте
и знаниям

Знания в пансионе представлены высоким уровнем обучения, научными кружками, возможностью общения с известными учеными, посещениями ведущих научно-образовательных центров столицы, а также передовыми технологиями, которыми оснащен пансион, — от интерактивных школьных досок до электронных дневников. Выпускниц пансиона после его окончания с удовольствием принимают в лучшие вузы страны — МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИУ ВШЭ, РУДН, МГИМО, МГУ им. М.В. Ломоносова и т.д. А красота выражена в танцах, пении, декламации, которым девочек обучают высококлассные профессионалы, в разнообразном художественном творчестве, походах в музеи, театры и, конечно, балах и прекрасных нарядах от Валентина Юдашкина и Киры Пластининой, которые специально создают их для воспитанниц пансиона.



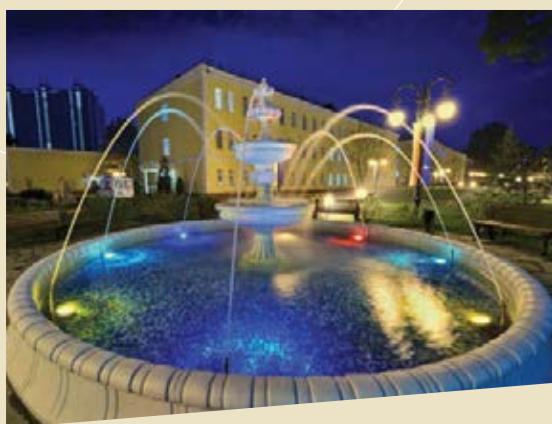
С академиком К.Г. Скрыбиным



Основы химии даются нелегко



Залог здоровья — это спорт



Красивый парк —
отличное место для отдыха



Нейролингвист Т.В. Черниговская
в гостях у воспитанниц



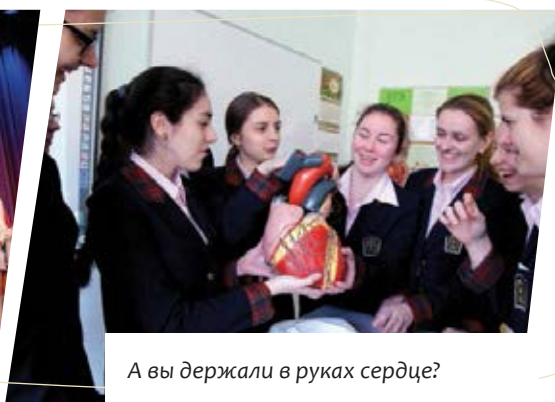
С летчиком-космонавтом А.А. Леоновым



С главным продюсером и директором телекомпании «Очевидное — невероятное» С.В. Поповой



Прекрасные барабанищицы



А вы держали в руках сердце?



Будущие биологи



Несколько лет назад в пансионе появилось Научное общество им. С.П. Капицы. Его участницы изучают творческое наследие ученого и телеведущего, читают его книги и статьи, стараются как можно больше узнать о его жизни и деятельности. Смотрят «Очевидное — невероятное», приглашают в гости ученых, которые были героями его программ. В творческой гостиной пансиона побывали известный биолог, академик К.Г. Скрябин, нейролингвист, профессор Санкт-Петербургского университета Т.В. Черниговская, президент СПбГУ академик Л.А. Вербицкая и другие ученые.

Недавно гостем пансиона стала С.В. Попова, директор и главный продюсер телекомпании «Очевидное — невероятное» и журнала «В мире науки / *Scientific American*», коллега и соратница С.П. Капицы. Светлана Владимировна рассказала, что долгие годы работала и дружила

Президент СПбГУ Л.А. Вербицкая



Концертный номер

Выпускниц пансиона с удовольствием принимают в лучшие вузы страны



Девочки могут за себя постоять

с Сергеем Петровичем и что многому у него научилась. Вспомнила, как вместе с ним в свое время возрождала программу, организовав ее выход на российском телевидении после закрытия в конце 1990-х гг. Рассказала, каким талантливым и интересным человеком он был, к какой знаменитой научной династии принадлежал, как и почему он пришел работать на телевидение, будучи уже состоявшимся ученым. Воспитанницы предложили Светлане Владимировне возглавить специальную секцию научного общества «Наследие С.П. Капицы». Команда телекомпании «Очевидное — невероятное» с удовольствием и энтузиазмом будет участвовать в организации работы Научного общества им. С.П. Капицы.

Подготовила Ольга Беленицкая



С президентом РФ В.В. Путиным



Когда учиться интересно...



Фотографии из архива Пансиона воспитанниц Министерства обороны РФ



Научное общество
ИМ. С.П. Капицы



ОБ АВТОРЕ

Дэвид Поуг (David Pogue) — колумнист сайта *Yahoo Tech*, ведущий научно-популярного документального телесериала *NOVA* на некоммерческом телеканале *PBS*.



Отвязавшиеся

Может ли универсальный кабель навеки покончить с войной между производителями аксессуаров к электронным устройствам?



Лучшим технологическим решением минувшего года стал не какой-то новый телефон или программное приложение. Как ни удивительно, им стал новый тип *USB*-кабеля.

А теперь, прежде чем заподозрить меня в том, что я слишком надыхался запахом нового планшета, подумайте вот о чем.

Новый кабель, который называется *USB Type-C* (или *USB-C*), имеет одинаковые разъемы на обоих концах, так что их невозможно перепутать. На самом коннекторе нет «верха» и «низа» — его нельзя вставить «не той стороной».

USB-C может заменить четыре разных разъема на вашем устройстве: для передачи данных, для видео, для зарядки аккумулятора, а вскоре и для перекачки аудиоинформации. Вот здорово: один и тот же разъем может работать с флеш-накопителями, внешними жесткими дисками, экранами, проекторами, подойдет к зарядным устройствам и наушникам (и все

это — одновременно при наличии разветвителя). У телефонов и планшетов этот разъем совсем крошечный, но у персональных компьютеров и ноутбуков — довольно крупный.

Любое устройство от любого производителя сможет использовать один и тот же кабель. Вы можете взять зарядник от телефонов, выпускаемых компанией *Google*, чтобы подзарядить ноутбук от фирмы *Apple* или планшет от *Microsoft*. Больше нет нужды загромождать ящики стола массивными адаптерами питания от разных устройств, которые не подходят друг другу.

Другими словами, *USB-C* представляет собой прототип универсального кабеля.

То, что *USB-C* вообще существует, похоже на чудо, если учесть, что производство и торговля сопутствующими товарами превратились в большой бизнес. *Apple*, например, делает огромные деньги на продаже соединительных кабелей. Циничные обозреватели обвиняют компанию в том, что она намеренно меняет типы соединений, лишь бы увеличить продажи аксессуаров. Например, шнур питания 2009 г. выпуска не подойдет к модели *MacBook 2013 г.* И фирма *Apple* тут не одинока. Обычное зарядное устройство для ноутбука от компании *Windows* стоит от \$60 до \$80.

Несколько крупных фирм вместе работали над созданием стандарта *USB Type-C*, еще больше компаний присоединились к этому стандарту. Вопрос: зачем? С чего бы заклятым соперникам заниматься совместной разработкой зарядного устройства, подходящего ко множеству гаджетов от разных производителей, одним махом уничтожая целую индустрию по производству фирменных зарядников?

Брэд Сондерс (Brad Saunders) из компании *Intel* возглавляет группу по продвижению стандарта *USB 3.0 (USB 3.0 Promoter Group)*, куда входят представители шести компаний, участвовавших в разработке *USB Type-C* (включая *Intel*, *Hewlett-Packard* и *Microsoft*). Он поясняет, что сначала причиной этого была необходимость увеличить скорость обмена данными: обычное *USB*-соединение, разработанное 20 лет назад, уже нельзя было заставить работать быстрее.

«В то же время, — говорит он, — переносные компьютеры менялись, становились тоньше и легче. Тогда USB-разъем был слишком велик. К тому же он был не слишком удобен в использовании: его можно было неправильно подключить».

Но ведь наверняка, спросил я его, эти компании знали, что, сделав единый кабель общего стандарта, они потеряют огромные деньги на продажах фирменных зарядных устройств.

«Что ж, зарабатывать деньги для компании — наша главная работа, — признает он. — Но со временем включается другая мотивация: мы можем помочь миру стать более экологически чистым. Стандартизовав разнообразные блоки питания, можно было бы снизить количество отходов. Мы начали понимать, что можем реально повлиять на ситуацию».

Даже трудно представить себе, как эти извечные противники сидят рядышком и изобретают новый стандарт ко всеобщей взаимной выгоде. Часто ли такое бывает?

«Единые стандарты — вещь несколько странная, — говорит президент Форума разработчиков стандарта USB Джефф Рейвенкрафт (Jeff Ravencraft). — Сначала компании работают совместно, чтобы "испечь пирог побольше", т.е. расширить

рынок сбыта своей продукции. Но когда эта работа завершена, они начинают соревноваться друг с другом — как отхватить побольше кусок от пирога, который у них получится. Сначала вы сотрудничаете, зато потом конкурируете не на жизнь, а на смерть».

А кабель — вот он. Некоторые из последних моделей телефонов, планшетов и ноутбуков компаний *Google, Apple, Microsoft, Samsung* и других продаются со встроенными USB-C-разъемами.

Можно подумать, что лишь самые отпетые фанаты технологий способны прийти в восторг по поводу появления USB-C. Однако в ближайшие годы это изобретение может сэкономить вам при покупке запасных шнуров, адаптеров и зарядных устройств. Благодаря ему наши гаджеты уменьшатся в размерах и будут работать быстрее. Появится больше места в ящиках стола, упаковках, дамских сумочках и сумках для ноутбуков. Свалки не пополнятся тоннами отходов электронной промышленности. Если все это не позволяет признать USB-C изобретением года, то я не знаю, что еще дает такие основания. ■

Перевод: С.В. Гогин



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

К юбилею Академика Н.Л. Добрецова: Научно-мемуарная композиция «Идеи и люди» содержит несколько иллюстраций простой мысли: «всякие идеи всегда связаны с конкретными людьми, они зарождаются в спорах и столкновении характеров и продолжают жить до тех пор, пока есть ученики, поддерживающие и развивающие идею»

А.Э. Конторович: «Работа советской нефтяной и газовой промышленности на 95% велась на собственном оборудовании, СССР самостоятельно осваивал собственные гиганты, и делал это достаточно эффективно. Но за 25 лет мы растеряли все...»

Препарат на основе популярного среди женщин нейротоксина – ботокса или ботулотоксина – поможет предотвратить фибрилляцию предсердий во время операций на открытом сердце и в послеоперационный период

Не исключено, что в недалеком будущем каждый из нас станет обладателем «флешки», на которой будет записана расшифровка не только нашего генома, но и самой нашей личности

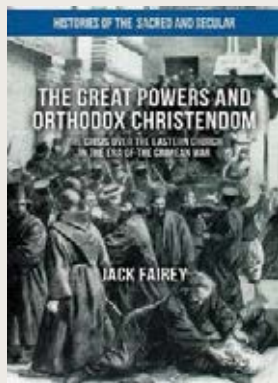
www.scfh.ru



Альф Хорнборг. Волшебство глобализации: технологии ассигнования от древнего Рима до Уолл-стрит (Alf Hornborg. *Global Magic: Technologies of Appropriation from Ancient Rome to Wall Street*)

Книга известного антрополога, профессора Лундского университета Альфа Хорнборга показывает пло-

дотворность мультидисциплинарного подхода к одной из традиционных областей экономической науки. Написанная в жанре научно-популярного эссе, она представляет собой увлекательный рассказ о том, как возникли и менялись денежные отношения на протяжении последних двух тысячелетий. Метод Хорнборга представляет собой синтез экологической и экономической антропологии, что позволяет создать систематический и оригинальный труд по всемирной истории, показывающий, как возникло, сложилось и работает денежное обращение, которое и сегодня представляет собой движущую силу глобальной экономики.

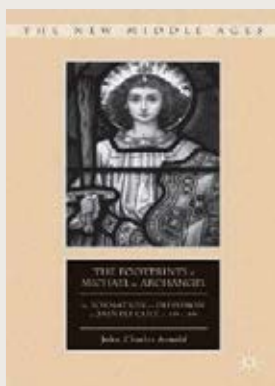


Джек Фейри. Великие державы и православная церковь: кризис в восточно-христианских церквях и Крымская война (Jack Fairey. *The Great Powers and Orthodox Christendom: The Crisis Over the Eastern Church in the Era of the Crimean War*)

Книга британского историка Джека Фейри представляет собой взгляд на Крым-

скую войну 1853–1856 гг. с точки зрения истории восточнохристианской церкви. Для этого он восстанавливает малоизвестные страницы политической истории православной церкви в Османской империи. Он считает, что именно политика православных иерархов лежала в основе острого политического соперничества между великими державами в середине XIX в. в этом регионе. Иерархи

православной и римско-католической церковью издавна соперничали и даже враждовали между собой на Востоке по поводу различных льгот и преимуществ христиан, посещающих святые места. Решение этих споров нередко ставило в затруднительное положение Турцию, навлекавшую на себя неудовольствие одной, а иногда и обеих сторон. Так, в 1850 г., основываясь на договоре 1740 г., французский посланник домогался возвращения католическому духовенству некоторых святых мест в Иерусалиме и его окрестностях. Русское правительство предъявило со своей стороны требования, несовместимые с французскими. Так острая конкуренция между разными конфессиями привела, с одной стороны, к ряду положительных реформ, реализованных турецкими властями, а с другой — превратила борьбу вокруг святынь в кровопролитную войну. Игнорируя очевидные экономические причины произошедшего, Джек Фейри считает, что Крымская война стала последней религиозной войной в Европе.



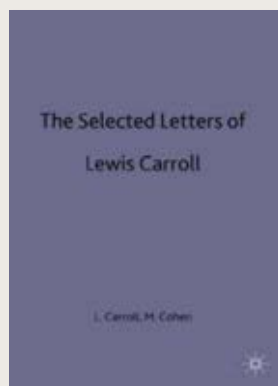
Джон Чарлз Арнольд. Следы Михаила Архангела: становление и распространение культа святого с 300 до 800 г. н.э. (John Charles Arnold. *The Footprints of Michael the Archangel: The Formation and Diffusion of a Sainly Cult, c. 300 — c. 800*)

Книга доцента Государственного университета Нью-Йорка во Фредонии Джона

Арнольда стала итогом более чем 20-летних научных и экспедиционных исследований. Автор посетил все основные центры культа святого, провел много времени в крупнейших архивах и библиотеках.

Святой Михаил — главный архангел, один из самых почитаемых ангелов в таких религиях, как христианство, иудаизм и ислам. В православии его именуют Архистратигом, что означает «глава святого воинства ангелов и архангелов». Арнольд рассматривает его как первого «экуменического персонажа», что и привело к широкому распространению его культа по всему христианскому миру. Он показывает, что широкой популярности святого способствовала его функция стража-привратника, а не только предводителя воинов. Именно она послужила причиной

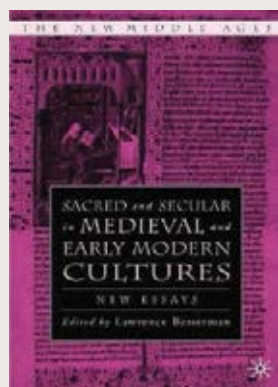
использования его образа в качестве ангела-хранителя множества городов. В то же время такая трактовка привела к переосмыслению его традиционной функции ангела-вестника. Арнольд показывает, как на протяжении полутора тысячелетия постепенно менялась трактовка данного образа агиографами, художниками, а также в фольклоре. Важно, что автор не обходит дискуссионные вопросы ангелологии, последовательно знакомя читателей со всем разнообразием точек зрения.



Мортон Коэн. Избранные письма Льюиса Кэрролла (Morton Cohen. The Selected Letters of Lewis Carroll)

Предлагаемая книга заслуженного профессора английской литературы Нью-Йоркского университета Мортон Коэна представляет собой результат современного осмысления академического издания писем Льюиса

Кэрролла, подготовленного более 60 лет назад крупнейшим британским ученым — профессором Оксфордского университета Роджером Грином (1918–1987). Его книга, результат многолетнего изучения эпистолярного наследия Кэрролла, предназначена для тех, кто только начинает знакомство с творчеством и жизнью великого писателя. Мортон не просто отобрал наиболее интересные письма, но составил из них цельное повествование, в котором звучит рассказ самого писателя о себе и своем творчестве. Письма разным людям, взрослым и детям, дополняют друг друга, составляя своеобразное отражение внутреннего мира писателя. Книга читается как увлекательная биография Кэрролла, созданная им самим. Комментарии к письмам написаны в доступной форме, автор адаптировал их к особенностям восприятия текста современным читателем.

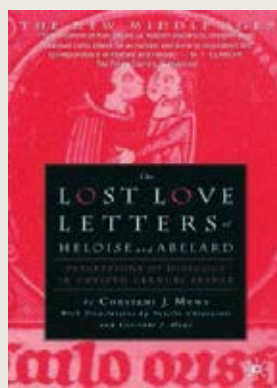


Священное и светское в культуре Средневековья и раннего Нового времени: новые эссе (Sacred and Secular in Medieval and Early Modern Cultures: New Essays)

Сборник эссе, составленный профессором английской литературы Еврейского университета в Иерусалиме и известным специалистом по творчеству Джеффри Чосера

Лоуренсом Бессерманом, содержит работы участников его семинара «Светский и священный компоненты в средневековых и современных культурах». В данном томе рассматривается период от «их появления в древней Греции и у израильских племен, а затем еврейских горожан, изображенных

в Ветхом, а затем и Новом Завете, трудах отцов церкви времен, мыслителей европейского Средневековья и раннего Нового времени». Бессерман показывает, что процессы секуляризации и десекуляризации на самом деле проходили в европейской культуре одновременно, оказывая постоянное влияние друг на друга, так что их границы не всегда поддаются точному определению, хотя это отнюдь не значит, что их не было. Главный вывод, к которому приходит Бессерман: эти два процесса нельзя рассматривать изолированно, поскольку они теснейшим образом связаны и взаимообусловлены.



Констант Мьюз и Невилл Чаваролли. Потерянные любовные письма Элоизы и Абеляра (Constant Mews, Neville Chiavarolli. The Lost Love Letters of Heloise and Abelard)

Книга профессора австралийского Университета Монаша Константа Мьюза и докторанта Невилла Чаваролли — это первое полное

комментированное издание малоизвестной части переписки Пьера Абеляра и Элоизы. Основой книги стали 113 писем, обнаруженных немецким ученым Эвальдом Кенсгеном в рукописном сборнике XV в., хранившемся в одном из монастырей восточной Франции. Кенсген опубликовал их как любовную переписку неустановленных лиц, отнес к середине XV в. Вскоре появились и первые отклики, связавшие адресатов с Абеляром и Элоизой. Одновременно высказались и скептики, защищавшие точку зрения Кенсгена. Компромиссной точки зрения придерживается крупнейший французский специалист по творчеству Абеляра профессор Сорбонны Моник Гулле. Она считает, что письма были написаны неизвестным автором, который смог блестяще воспроизвести стиль Абеляра. Через 30 лет появилась первая статья Мьюза, в которой он доказал, что переписка — часть наследия Пьера Абеляра и его супруги Элоизы. Однако его выводы так горячо оспаривались многими учеными, что стала ясна необходимость настоящей работы. Уже первое издание настоящей книги, основанной на солидной текстологической базе, показало, что это действительно письма названных адресатов. Для настоящего издания была обновлена текстологическая база, письма были переведены с латинского на английский язык и снабжены обстоятельным рецензентским и биографическим комментарием, который Мьюз подготовил вместе с Невиллом Чаваролли. Проведя подробный текстологический анализ писем и известной переписки Абеляра, исследователь доказал, что они составляют единое целое. Разделение объясняется тем, что найденные письма насыщены чувственностью и эротическим мотивами. Книга предназначена не только для специалистов, но и для всех, кто интересуется шедеврами французской литературы. ■

Подготовила Татьяна Колядич

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 2016 г. составит:

Для физических лиц: **1380 руб.** — доставка заказной бандеролью*.

Для юридических лиц: **1500 руб.**

Стоимость одного номера журнала: за 2014 г. — **100 руб.**, за 2015 г. — **120 руб.**, за 2016 г. — **130 руб.**

(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
2016 г.	объединенный выпуск				объединенный выпуск			объединенный выпуск				
2015 г.					объединенный выпуск			объединенный выпуск				
2014 г.								объединенный выпуск				

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют.

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

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 физических лиц, 19559 — для юридических лиц; «Почта России», подписной индекс: 16575 — для физических лиц, 11406 — для юридических лиц; каталог «Пресса России», подписной индекс: 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

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

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		

© 2016 by Scientific American, Inc.

Читайте в следующем номере:

Рождение из хаоса

Структура Солнечной системы с ее небольшими каменными внутренними телами и внешними гигантами аномальна в сравнении с большинством других планетных систем, имеющих совершенно иную архитектуру. Новые свидетельства, полученные как путем создания компьютерных моделей, так и посредством наблюдений за планетами нашей Галактики, открывают новые детали динамичной и бурной истории формирования Солнечной системы.

Языковые войны

Откуда происходит самая успешная в мире семья языков — индоевропейская? В лингвистике уже давно существуют две конкурирующие гипотезы: центральноазиатская и анатолийская (т.е. подразумевающая территорию современной Турции). Попытка внести ясность в вопрос с помощью данных эволюционной биологии и анализа древних образцов ДНК лишь обострила дискуссию.

Квантовые связи

Построить квантовый компьютер достаточно больших размеров не так-то просто, поскольку крупные скопления частиц обычно прекращают вести себя по законам квантовой механики. Выход из положения видится следующий: создать множество маленьких квантовых компьютеров и объединить их в сеть.

Пловцы под давлением

Медуза прогибает под себя физику, в итоге оказываясь самым успешным из всех животных, движущихся в морской воде.

Спасти Эдем

Защитники природы выступают за то, чтобы дикая природа Мьянмы в целях ее сохранения была доступна только для экотуризма, однако для развития подобных программ в этой стране существует немало препятствий.

Зуд, сводящий с ума

Острое ощущение зуда призвано сигнализировать нам о том, что мы вступили в контакт с насекомым или ядовитым растением. Однако хронические формы зуда часто



развиваются без всякой видимой причины. В науке только сейчас начинает возникать понимание того, откуда берется зуд и как с ним бороться.

Лекарство для земель Африки

Выращивая деревья, кустарники и другие многолетние растения на полях с сельхозкультурами, африканские фермеры могут вдохнуть новую жизнь в сильно истощенную почву, при этом не теряя урожай.

ФИЗИКА ЧАСТИЦ

Нейтронная
тайна

СПЕЦРЕПОРТАЖ

Будущее медицины:
победа над раком

БИОИНЖЕНЕРИЯ

Что могут
живые клетки

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci.ru.org

5/6 2016

12+

Мозг наших предков

Изготовление орудий
труда древним человеком
обусловило то, как мы
мыслим сегодня

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

К ГРАНИЦАМ

МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА

Академик Юрий Оганесян
об открытии новых элементов,
островах стабильности
и будущих исследованиях

ISSN 0208-0621



16005



9 770208 062001

>