

СПЕЦИАЛЬНЫЙ  
РЕПОРТАЖ

КАК ГОРОДА МОГУТ СПАСТИ ВСЕХ НАС

# В мире наук

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Ежемесячный  
научно-информационный  
журнал

www.sci-ru.org

8/9 2017

12+

# ПАУТИНА ПАМЯТИ

Техническая революция объясняет,  
как мозг связует воспоминания  
и формирует наше  
мировосприятие

ПЛЮС

## ВЕЛИКАЯ МАГИЯ ФОРМУЛ И ЦИФР

Интервью с и.о.  
президента РАН

## ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ ПОРОЖДАЮТ ТЕМНУЮ МАТЕРИЮ?

Космическая мистерия



Выборы президента РАН



58



32

# СОДЕРЖАНИЕ

Август/сентябрь 2017

## Темы номера

### МАТЕМАТИКА

#### Великая магия формул и цифр

*Владимир Губарев*

Исполняющий обязанности президента РАН **Валерий Козлов** — о Математическом институте им. В.А. Стеклова и о тайнах царицы наук

### НЕЙРОБИОЛОГИЯ

#### Сложная паутина памяти

*Альсина Сильва*

Благодаря технической революции мы сможем узнать, как мозг связывает между собой воспоминания

### БИОЛОГИЯ

#### Эволюция танца

*Тea Сингер*

Люди танцуют просто ради удовольствия? Или же танец когда-то имел другие функции, а за тысячелетия превратился в нашу врожденную потребность?

### НЕЙРОНАУКИ

#### Мозг: навстречу неизведанному

*Владимир Губарев*

Академик **Михаил Пирадов** — о новом направлении в неврологии, развивающемся под его руководством, и о познании вселенной человеческого мозга

### МЕДИЦИНА

#### Лечебная «подводная лодка»

*Елена Кокурина*

Первый медицинский онкологический кластер в России работает на протонах. О российской установке для высокоточной радиотерапии рассказывает академик **Андрей Каприн**

### ГЕНЕТИКА

#### 4 Разгадка тайны БАС

50

*Эрон Гитлер и Леонард Петручелли*

Выявленные недавно мутации открывают путь к выяснению генетической природы страшного недуга, долгое время считавшегося неизлечимым



### МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

#### 14 Машина, будь человеком!

58

*Элисон Гопник*

Искусственный интеллект переживает второе рождение: теперь его создают на основе информации о том, как учатся дети

### ЗДОРОВЬЕ

24

#### Неприятная правда о снижении веса

66

*Саи Крупа Дас и Сьюзан Робертс*

Чтобы похудеть, надо сжигать больше калорий, чем потреблять, и то, что вы едите, намного важнее того, сколько вы занимаетесь физическими упражнениями

### ГЕРОНТОЛОГИЯ

#### 32 Лет до ста расти нам без старости

74

*Валерий Чумаков*

Директор Санкт-Петербургского института биорегуляции и геронтологии **Владимир Хавинсон** уверен: человек может прожить 110–120 лет, и у него есть тому веские доказательства



#### 40 МЕДИЦИНА

#### Операция «Диабет»

84

*Франческо Рубино*

Хирургическая операция может избавить от диабета, и из этого следует, что к его развитию причастен не только недостаток инсулина



**МОРСКАЯ БИОЛОГИЯ****Горе в море***Даниэль Диксон*

За кислородом Мирового океана оказывают пагубное влияние на поведение многих морских существ

**НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО****На перекрестке всех наук***Владимир Губарев*

Между Россией и Беларусью идет процесс создания единого научного пространства. Об этом наш корреспондент беседует с сопредседателем Межакадемического совета по проблемам развития Союзного государства академиком **Петром Витязем**

**ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА****Экспресс в CERN***Дмитрий Зыков*

Томский политехнический университет стал активным участником программ CERN. Как складывалось сотрудничество и каким оно планируется в будущем, нашему корреспонденту рассказали сотрудники ТПУ

**БИОТЕХНОЛОГИИ****Зеленая химия Сибири***Дмитрий Зыков*

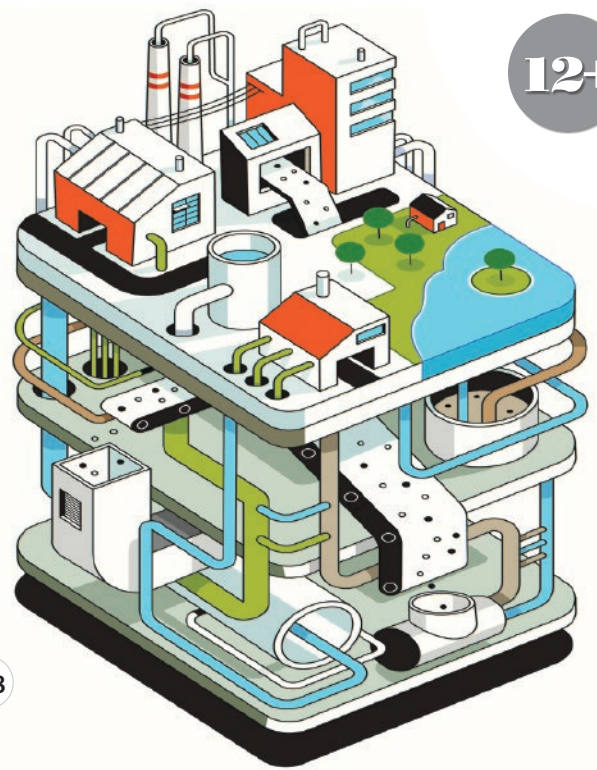
Химические исследования всегда были сильной стороной Томского политеха. С начала 1990-х гг. ученые ТПУ активно работают в области зеленой химии

**КОСМОЛОГИЯ****Квантовый мультимир***Ясутори Номура*

Удивительная связь космологии и квантовой механики смогла бы раскрыть тайны пространства и времени

**Черные дыры в начале времен***Хуан Гарсиа-Бейидо и Себастьян Клесс*

Скрытая популяция черных дыр, родившаяся менее чем одну секунду спустя после Большого взрыва, могла бы разрешить загадку темной материи

**СПЕЦРЕПОРТАЖ: ЭКОУСТОЙЧИВОСТЬ ГОРОДОВ****Как города могут спасти нас***Уильям Макдонаф*

Города могут улучшить планету и нашу жизнь, если их проектировать с прицелом на максимум таких ресурсов, как энергия, вода, пища и минералы

**Заставить отходы работать***Майкл Уэббер*

Правильное отношение к отходам может сделать города высокоэффективными

**Парки вместо парковок***Ассаф Бидерман и Карло Ратти*

Движущаяся паутина оснащенных датчиками транспортных средств и «умные» перекрестки изменят дорожную обстановку в городе

**ИНТЕРВЬЮ****Рыцарь дикой природы***Ричард Шиффман*

Палеонтолог Ричард Лики, ставший политиком, возглавляет борьбу с браконьерством в Кении

**БИОЛОГИЯ****Кто такие лишайники?***Эрика Гиз*

Натуралист-самоучка обнаружил новый тип симбиотических отношений у лишайников, значительно пополнив наши знания об этих организмах

**Разделы****От редакции****50, 100, 150 лет тому назад****Наука в графиках****3****65, 176****165**

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

## Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



РОСАТОМ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



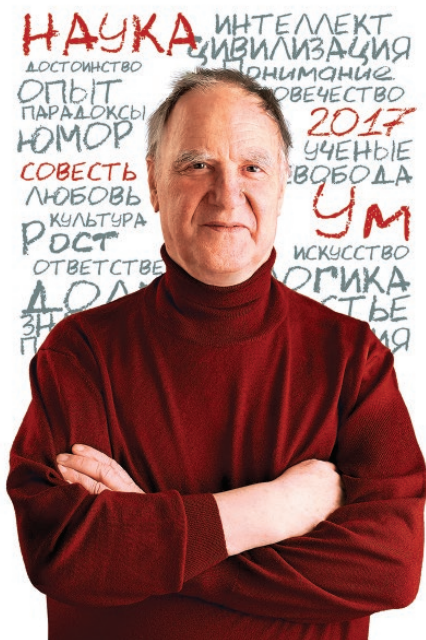
очевидное  
невероятное



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

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



## Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство  
распространения научных знаний»

## Главный редактор:

В.Е. Фортв

## Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

## Заместитель главного редактора:

С.В. Попова

## Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

## Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

## Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

## Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

## Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

## Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

## Администратор редакции:

О.М. Горлова

## Научные консультанты:

акад. С.М. Алдошин; к.т.н. С.А. Байдали; к.ф.-м.н. А.Р. Вагнер; акад. П.А. Витязь;  
акад. А.Д. Каприн; к.т.н. П.В. Каратаев; акад. В.В. Козлов; акад. М.А. Пирадов;  
член-корр. РАН В.Х. Хавинсон; д.х.н. М.С. Юсубов

## Над номером работали:

М.С. Багоцкая, Д.В. Золотухина, Д.К. Зыков, Е.В. Кокурина, С.М. Левензон, И.В. Ногаев,  
А.И. Прокопенко, О.С. Сажина, И.Е. Сацевич, Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский,  
А.В. Щеглов

## Дизайнер:

Д.А. Гранков

## Верстка:

А.Р. Гукасян

## Корректур:

Я.Т. Лебедева

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

В.Е. Фортв

## Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

## Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

## Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

## Главный бухгалтер:

С.Н. Бражник

## Адрес редакции:

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

## Отпечатано:

в АО «ПК «ЭКСТРА М», 143405, Московская область, Красногорский р-н, г. Красногорск, автодорога  
«Балтия», 23-й км, владение 1, д. 1

Заказ №8 17-09-00056

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

Тираж: 12 500 экземпляров

Цена договорная

Авторские права НП «Международное партнерство распространения научных знаний».

© Все права защищены. Некоторые из материалов данного номера были ранее опубликованы Scientific American или его аффилированными лицами и используются по лицензии Scientific American. Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

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

# От науки к знанию и надежде

**Н**аука способна ответить не на все вопросы, но она остается лучшим из имеющихся в распоряжении человечества средств решения стоящих перед ним проблем. С помощью фундаментальных исследований мы закладываем основы понимания, которые служат нам для дальнейшего познания того, как устроены мир и сам человек.

Главные темы этого номера — познание Вселенной и познание мозга человека, который многие ученые сравнивают со Вселенной, имея в виду необъятность проблематики, связанной с его изучением.

Такое сравнение правомочно, считает автор статьи «Самая интеллектуальная дисциплина в медицине». Он побывал в Научном центре неврологии и побеседовал с его директором академиком М.А. Пирадовым. Под его руководством развивается принципиально новое направление в неврологии, когда речь идет не только о реабилитации тяжелобольных людей, но и о познании тайн человеческого мозга.

В статье «Паутина памяти», также посвященной изучению мозга, американский невролог Альсино Сильва описывает революцию в области исследования памяти, возможность которой открыли новые технологии, способные отображать активность отдельных нейронов и даже управлять их включением и выключением.

Новые технологии позволяют не только изучать, но, что более важно, лечить тяжелые заболевания головного мозга. В статье «Лечебная "подводная лодка"» речь идет о синхротронном комплексе протонной терапии «Прометеус» — первой российской установке для высокоточной радиотерапии онкологических больных, которая используется в основном для лечения опухолей мозга.

Об этом рассказывает генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» академик А.Д. Каприн.

Великий физиолог, нобелевский лауреат И.П. Павлов считал, что резервов человеческого мозга может хватить как максимум на 150 лет. Российские ученые сегодня утверждают, что ресурс самого человека рассчитан на 110–120 лет. По мнению члена-корреспондента РАН, профессора В.Х. Хавинсона, физиологический возраст старения — 90–95 лет, и одно из средств достижения этого возраста — пептиды, регуляторы синтеза белка, а следовательно, жизни. Читайте об этом в статье «Лет до ста расти нам без старости».

Новые теории и концепции — это результат длительного поиска научных фактов, выдвижения гипотез, их доказательств или опровержений. Автор статьи «Квантовый мультимир» Ясунори Номура из Калифорнийского университета в Беркли обсуждает фантастически звучащую гипотезу о том, что наша Вселенная в действительности может представлять собой «всего лишь малую часть гораздо большей структуры, называемой мультимиром». При таком подходе предполагается существование множества отдельных вселенных, в каждой из которых действуют свои собственные физические законы.

Для изучения подобных масштабных проблем ученые сегодня создают коллаборации, объединяющие интеллектуальные и финансовые возможности многих стран мира. Самый яркий пример — CERN, уникальный и крупнейший в мире научный центр, созданный для фундаментальных исследований физики элементарных частиц. О работе этой коллаборации и о вкладе в эту работу российских ученых читайте в статье «Экспресс в CERN».



Редакция журнала «В мире науки / Scientific American»

3 2 4 3 5 4645  
235 2398 23096 039 815  
4 37 399 6230 58670912 73982  
2345 656878124 2  
647857876 56 75  
78697 42328352

234 345 538 423 9023 23 2 435 3  
3 5 4645 234 345 538 423 9023 23 2 435 3  
2345 656878124 23523205 29035  
2345 656878124 23523205 29035  
4 3 4 56451 24232205 23902 34124 565 67  
4 78697 42328352 2523289172417 50  
78697 423283525 2 523289172417 50

32435 4645  
3 523 2398 23096 039 815  
34 344 73 2398 23096 039 815  
2345 656878124 2  
647857876 56 75  
78697 42328352

5782350 23  
29351202385 237823015  
5782350 235 24 350  
29351202385 2378230153 193 164  
1102935 25 2 2345 273892  
5349 845 782  
1 102935 25 2 2345 273892  
34 3487510981352309329 24  
1 102935 25 2 2345 273892  
3  
235928462362895 25 12102935

345 9875 2032957 8 73 8488 3  
234 345 538 423 9023 23 2 435 3  
480 92 7774 19 21297 169 87045  
3 4 5452383 28355 209 27 452 3 5  
456 3452 52983 8 2 63 6 96 4 0 9 9 4 3 6 1  
568 480 84 774 10 4 2 3 7 5 8 9 9 7 0 2  
239 8725 20395 7402 20 184 0394 8 2765 57 01  
48156101 09537

3 2 4 3 5 4645  
538 423 9023 23 2 435 3  
78 88 563 78378 4 3 4 56451  
24 2332323 0935 20035  
205 23902 34124 565 67  
3525 2 523289172417 50

697 4232 3525 2 52  
4 5645 1242323205  
345 9875 2032957 8 73 8488 3  
234 345 538 423 9023 23 2 435 3  
480 92 7774 19 21297 169 87045  
239 8725 20395 7402 20 184 0394 8 2765 57 01  
2345 656878124 23523205 29035  
4 3 4 56451242323205 23902 34124 565 67  
78697 423283525 2 523289172417 50  
78697 42328352

3 2 4 3 5 4645  
345 9875 2032957 8 73 8488 3  
234 345 538 423 9023 23 2 435 3  
480 92 7774 19 21297 169 87045  
239 8725 20395 7402 20 184 0394 8 2765 57 01  
2345 656878124 23523205 29035  
4 3 4 56451242323205 23902 34124 565 67  
78697 423283525 2 523289172417 50

## МАТЕМАТИКА

# Великая магия формул и цифр

Мы беседовали в кабинете президента академии наук, за тем самым овальным столом, за которым работали легендарные ученые страны. Мне довелось встречаться здесь и с А.Н. Несмеяновым, и с М.В. Келдышем, и с А.П. Александровым, и с Г.И. Марчуком, и, конечно же, с Ю.С. Осиповым и В.Е. Фортовым. Поэтому вполне понятно волнение, с каким я шел на встречу с **Валерием Васильевичем Козловым**, исполняющим обязанности президента РАН после выборов в марте 2017 г., когда все кандидаты сняли свои кандидатуры и место президента осталось свободным. Мы заранее договорились, что будем беседовать о математике, о Математическом институте им. В.А. Стеклова, с которым связана вся его жизнь и который он возглавлял более десятилетия. Тема для популяризации сложнейшая, но все-таки почему не попытаться?

**— Валерий Васильевич, как по-вашему, математика — по-прежнему царица наук?**

— Безусловно, пройдет еще много лет, а математика все равно останется в своем статусе. И не потому, что так хочется некоторым из нас, имеющим отношение к Математическому институту им. В.А. Стеклова, это просто объективная реальность, которая от нас не зависит. Кант сказал: «В каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней математики». Кроме всего прочего, математика дает образец, недостижимый для других наук, как надо говорить и выражать свои мысли. Однажды Спиноза пытался представить свои сочинения по философии, этическим проблемам в форме «Начал» Евклида, то есть как аксиомы, теоремы и следствия.

**— Философию представить в виде формул?**

— Да, изложить свои взгляды буквально в математическом стиле. Но, мне кажется, к этому стремиться не стоит, поскольку это будет какое-то под-

## Должен сказать, что научные школы играют огромную роль в жизни науки и общества

ражание, а я имею в виду суть этой науки. Вообще математике присуща универсальность: это язык, на котором можно излагать почти все, что касается так называемых точных наук. Впрочем, возможно, общественных и гуманитарных наук тоже. Но это дело будущего. Все мы знаем наших выдающихся предшественников, удостоенных Нобелевской премии. Но когда говорят о нобелевских лауреатах из России, а в основном из Советского Союза, то обычно имеют в виду физиков и химиков. А ведь Л.В. Канторович — математик, который получил Нобелевскую премию по экономике, а точнее за линейное программирование, которое до сих пор выступает основой многих экономических расчетов в экономических конкретных моделях.

**— Почему крупные математики, оказавшие влияние на развитие науки и цивилизации, в основном из России?**

— Наука сама по себе космополитична, и это в существенной степени относится и к математике. Если вспомнить историю математики в России, то она началась с того момента, когда в академию наук были приглашены совсем молодые (по современным меркам вообще мальчишки!) ученые из Швейцарии Даниил Бернулли и его брат Николай Бернулли. Даниил Бернулли — безусловно, один из самых выдающихся ученых своего времени и одна из самых романтических личностей. Мне кажется, он был очень хорошим человеком, доброжелательным. Вся его жизнь была в науке и научных исследованиях. Он в Петербурге

пробыл больше, чем планировал, — продлил свой контракт. Написал первый трактат, первую монографию, как мы бы сейчас сказали, по гидродинамике. Поэтому можно считать, что гидродинамика родилась в России. Среди его научно-организационных деяний надо вспомнить приглашение девятнадцатилетнего Леонарда Эйлера в Петербург на работу. При этом Эйлер думал, что его приглашают, чтобы здесь заниматься математикой, однако когда он приехал, выяснилось, что места по математике и по физике все заняты, но есть место по физиологии. И он, как настоящий немец, не ступешался, сказал: «Да, я готов заниматься физиологией». Он честно штудировал эту науку, даже написал несколько статей. Потом освободилась кафедра физики, он ее занял, а после того как Даниил Бернулли уехал обратно в Базель, занял место математика. Тогда должность академика по математике в Петербургской академии наук ценится особо, больше всех.

**— Сейчас то же самое?**

— Должность ценится, но хорошо бы это еще подкрепить заработной платой... В связи с этим я вспоминаю одну историю. Даниил Бернулли поехал работать в Россию по совету своего отца Иоганна Бернулли — знаменитого математика, ученика Готфрида Лейбница, который консультировал Петра Первого при создании Петербургской академии наук. Сохранилась переписка отца и сына. Даниил Бернулли описывает свою жизнь в Петербурге и жалуется на понятные вещи: тогда Санкт-Петербургу было примерно столько же лет, сколько и самому Даниилу. Он жалуется: «Отец, ты мне порекомендовал ехать работать в Санкт-Петербург, но здесь холодно, сыро и скучно». А отец ему пишет: «Да, сын, наверное, в Санкт-Петербурге и холодно, и сыро, и скучно, но запомни, в Европе больше нет такого места, где так любят науку и так хорошо за нее платят». Подтверждаю: и сейчас науку в России любят, но (я выражаю мнение многих моих совсем молодых коллег) надо бы еще немножко побольше платить.

**— Не кажется ли вам, что математика всегда была так популярна в России, потому что вечно не хватало экспериментальных установок, приборов? А математику ничего не надо — ручка и голова есть всегда.**

— Хотя это парадоксальное суждение, но в нем действительно много правды. Если же говорить серьезно, то математика стала развиваться по восходящей начиная с П.Л. Чебышева и благодаря его усилиям.

**— Он же был вообще очень нестандартным человеком?**

— Да, безусловно, и очень широким. С одной стороны, он занимался совершенно абстрактными математическими вопросами, такими как теория чисел, а с другой — понимал, что математика



сильна своими приложениями. У него есть работы по геометрии — это оптимальная кройка платья, то есть как раскроить материал с наименьшими остатками. В связи с этим он ввел семейство кривых на поверхностях, которое сейчас называется «чебышевские семейства кривых». Еще он сам мастерил модели того, что мы сейчас назвали бы роботами.

— **Шагающими роботами.**

— Да, именно так! Многие его изделия до сих пор целы и находятся в рабочем состоянии. В нашем Математическом институте в лаборатории популяризации и пропаганды математики, которой руководит совсем молодой наш ученый-математик Н.Н. Андреев, есть очень хорошая копия «стоп-шагающей машины». Она демонстрировалось на первой Всемирной выставке в Париже и имела большой успех. П.Л. Чебышев был крайне бережлив, он не без успеха занимался операциями по купле-продаже земельных участков и все свои деньги инвестировал в любимое дело, занимаясь конструированием новых машин и механизмов.

— **Вы, математики, любите изобретать. Есть еще своеобразная математика — шахматы. Достаточно вспомнить М.М. Ботвинника, великого шахматиста и прекрасного математика. После войны именно он начал прививать детям любовь к шахматам, и увлечение ими стало массовым. Да, шахматы было легко делать на токарных станках, но главное в другом: они стали государственной политикой, благодаря чему выросло огромное количество математиков.**

— И благодаря этому у страны выдающиеся успехи в шахматах. Мы до сих пор имеем блестящую шахматную школу. Я должен сказать, что научные школы играют огромную роль в жизни науки и общества. У П.Л. Чебышева было два выдающихся ученика — А.М. Ляпунов и А.А. Марков. В свою очередь, у А.М. Ляпунова был всего один ученик — В.А. Стеклов, студент Харьковского университета. Ляпунов работал доцентом, у них и разница в возрасте была небольшая. Они потом подружились и были близки в чисто человеческом плане. В.А. Стеклов, понимал, что на новых условиях надо науку, в том числе и математику, организовывать как-то по-другому, создавая школы. Сначала он создал в академии наук математическую лабораторию, которую назвал именами П.Л. Чебышева и А.М. Ляпунова, а потом из этой лаборатории вырос знаменитый Физико-математический институт, где физики и математики были вместе. Туда вошла еще и лаборатория, которой руководил академик П.П. Лазарев, и небольшое подразделение по геофизике. Логика научного развития всегда дифференцирует науки, и Физико-математический институт разделился на два — знаменитые ФИАН и МИАН. Так что мы, можно сказать, братья. Исторически сложилось,

## Даниил Бернулли

(1700–1782)



Швейцарский физик-универсал, механик и математик, один из создателей кинетической теории газов, гидродинамики и математической физики. Академик и иностранный почетный член Петербургской академии наук.

## Пафнутий Львович Чебышев

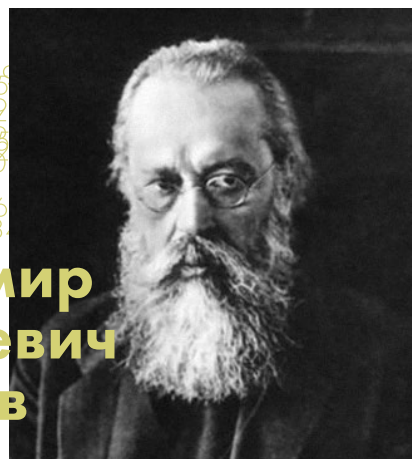
(1821–1894)



Математик и механик, основоположник петербургской математической школы, академик Петербургской академии наук и еще 24 академий мира.

## Владимир Андреевич Стеклов

(1863–1926)



Математик и механик. Член Петербургской академии наук, вице-президент АН СССР (1919–1926). Организатор и первый директор Физико-математического института РАН.

что ФИАН и МИАН — одни из системообразующих институтов в области физических наук и в области математики. Физический институт потом разросся и превратился в огромный по академическим масштабам многопрофильный институт, а Математический институт остался небольшим: как было в советское время около 100 научных сотрудников, так и сейчас примерно столько же. При этом в разное время от него отпочковались несколько наших выдающихся институтов — это Вычислительный центр РАН, который сейчас носит имя А.А. Дородницына, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша и Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского — в итоге он тоже был связан с Математическим институтом. С самого основания в МИАН всегда был отдел механики, просто по-разному назывался. Первым заведующим этого отдела был академик Н.Е. Кочин, выдающийся ученый, который много сделал для развития теории движения сжимаемой жидкости, сжимаемых сред и, в частности, динамики атмосферы. Те, кто сейчас занимается этой наукой, почитают его как классика.

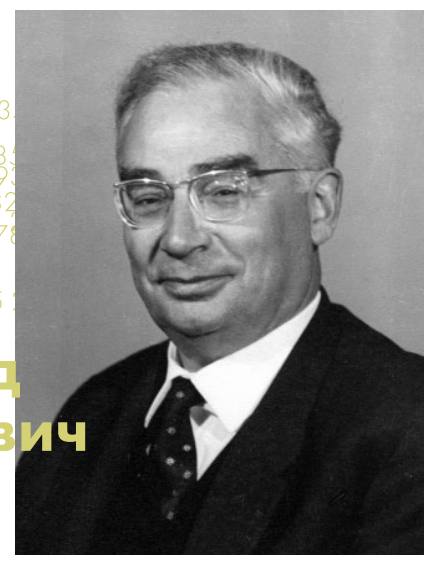
— **Хорошо известен Ленинградский физико-технический институт. Главное здание увешано почетными досками Героев Социалистического Труда. Известен и ФИАН благодаря своим нобелевским лауреатам. Но ведь многое началось именно с Математического института, верно? Разве есть направления в науке, в которых не участвовали сотрудники МИАН?**

— Вы совершенно правы. Действительно, у нас работали такие выдающиеся физики, как академики В.А. Фок и Я.Б. Зельдович. Была создана лаборатория, где были сосредоточены на первых порах теоретики, которые занимались проблемами создания ядерного оружия. Я.Б. Зельдович — трижды Герой Социалистического Труда, М.В. Келдыш тоже трижды был удостоен этого звания. Келдыш, можно сказать, родился и вырос в Математическом институте. Он здесь окончил аспирантуру, работал в отделе теории функций, занимался комплексным анализом, теорией приближения. Потом И.М. Виноградов рекомендовал его на работу в ЦАГИ для того, чтобы разобраться с проблемами флаттера и шимми. М.В. Келдыш очень многое сделал для авиации, его работы стали классикой. У него была способность разбираться не только в абстрактных математических проблемах, но и в трудных практических задачах. Я помню академика Л.И. Седова, который возглавлял в Математическом институте отдел механики. Он нам в Московском университете читал лекции по механике сплошных сред. Седов и Келдыш были друзьями по жизни, они вместе работали в ЦАГИ, правда, немножко над разными вопросами. Л.И. Седов больше занимался гидродинамикой и вопросами глиссирования — судов и изделий

## Леонид Иванович Седов

(1907–1999)

Физик, механик и математик, академик АН СССР. Герой Социалистического Труда, лауреат Сталинской премии второй степени.



## Николай Николаевич Боголюбов

(1909–1992)

Математик и физик-теоретик, академик РАН, основатель научных школ по нелинейной механике и теоретической физике. Директор Объединенного института ядерных исследований в Дубне (1965–1988).

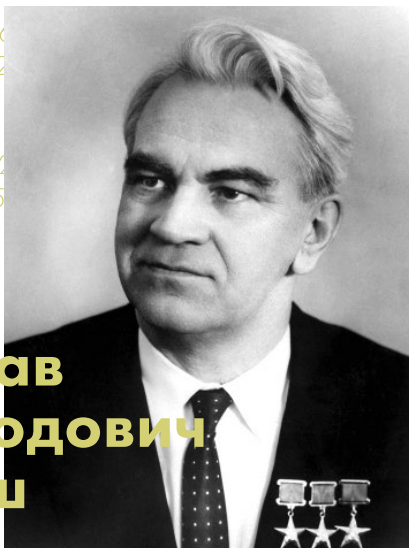


на подводных крыльях. Он решил задачу о точечном взрыве, модельную задачу о взрыве заряда в атмосфере, там было рассчитано, как пойдет ударная волна, каковы будут перепады давлений, температуры. Так получилось, что в конце его жизни у нас было много бесед, он рассказывал о своей жизни, о том, что военные поначалу с большим недоверием отнеслись к его формулам. Во время одного из натуральных экспериментов (мы знаем, были взрывы в атмосфере) на определенных расстояниях были расставлены датчики, и предсказанные

## Мстислав Всеволодович Келдыш

(1911–1978)

Математик и механик, организатор советской науки, один из идеологов советской космической программы. Академик и президент АН СССР (1961–1975).



## Лев Семенович Понтрягин

(1908–1988)

Один из крупнейших математиков XX в., академик АН СССР. Работы школы Понтрягина оказали большое влияние на развитие теории управления и вариационного исчисления во всем мире.

Л.И. Седовым результаты полностью совпали с реальными. С тех пор военные поверили в силу математики. Это было то поколение ученых, которое занималось очень многими сложнейшими вопросами. Возьмем И.М. Виноградова — это чистый математик. У него была одна страсть — теория чисел, аналитическая теория чисел, где он достиг очень многого в развитии некоторых идей, восходящих еще к Эйлеру. У нас одно время директором института был Н.Н. Боголюбов, совсем другой по своим увлечениям человек. Он начинал как чистый

математик вместе со своим учителем Н.М. Крыловым. Они написали сначала несколько работ по, как бы сейчас сказали, абстрактной теории динамических систем, потом перешли в теорию колебаний, к методам усреднения — это уже ближе к практике. Потом Н.Н. Боголюбов переключился на вопросы теоретической физики, и его блестящие работы по сверхпроводимости и другие снизили ему и нашей науке мировую известность и славу. Жаль, что мировое научное сообщество не вполне адекватно оценило его достижения — его и некоторых других наших коллег. За свои работы по сверхпроводимости он вполне заслуживал Нобелевской премии.

— **К счастью, мы ценим ученых вовсе не потому, дали им премию или нет. Слишком многие получали ее незаслуженно, особенно по литературе...**

— Согласен, это мало бы прибавило к его репутации, к его славе. Может быть, интересно будет узнать, что в разное время у нас в Математическом институте работало в общей сложности 30 Героев Социалистического Труда, при этом ровно половина были удостоены этого звания, непосредственно когда они работали в нашем институте.

— **Я не удивлен, потому что развитие космонавтики, ракетной техники, ядерной физики во второй половине XX в. связано именно с МИАН.**

— Все правильно. Я могу назвать еще одно имя, которое как раз в связи с тем, что вы сказали, очень уместно вспомнить, — это Л.С. Понтрягин, который начинал как чистый математик, геометр, тополог, занимался алгебраической топологией, прославился в этой сфере. Он в своих воспоминаниях объясняет, что много думал над тем, какую пользу он может принести стране, ведь более полезно заниматься некоторыми прикладными вопросами. Он увлекся этими мыслями и вначале переключился на теорию колебаний, написав несколько классических работ по решениям дифференциальных уравнений с малым параметром при старших производных, предельные циклы, асимптотики и т.д., в радиотехнике это важные моменты. Потом он занялся проблемами управления — и вместе со своими учениками, которые впоследствии стали академиками, Е.Ф. Мищенко, Р.В. Гамкрелидзе и другими, создал современную математическую теорию оптимальных процессов, в основе которой лежит то, что во всем мире принято называть «принцип максимума Понтрягина». Это рабочий инструмент в очень многих практических делах, в космонавтике он играет колоссальную роль, поскольку там постоянно решают оптимизационные задачи.

— **Скажите, а почему математики так мало вмешиваются в современную экономику в России?**

— Хороший вопрос. У нас есть сотрудники, мои коллеги, которые занимаются близкими вопросами, я имею в виду финансовую математику, математические вопросы теории страхования и т.д. В первую очередь надо назвать академика А.Н. Ширяева, он ученик А.Н. Колмогорова и всю жизнь занимался вероятностными задачами, математической статистикой. И в качестве развития применения этих идей к динамике финансовых рынков возникло то, что сейчас принято называть финансовой математикой. Это действительно одна из ветвей современной математики, и у нее свои задачи, свои методы, свои подходы, свои приложения. У нас в Математическом институте в 1990-х гг. был создан ситуационный центр, и он работал в то время, когда в современном понимании страхового дела у нас России не было. И снова в первую очередь я назову А.Н. Ширяева, который был первым президентом Российского общества страховщиков. Сейчас этими же вопросами занимается академик Б.С. Кашин, известный своими яркими выступлениями в бытность депутатом в Государственной думе. Известен и его устойчивый интерес к экономическим вопросам. Поэтому какое-то отношение к экономике у МИАН есть до сих пор.

**— У вас есть различные теории, модели, они создаются в академии, в институте, вы их рекомендуете, почему же они не используются? В то же время ваши сотрудники и те, которых вы готовите, уходят в бизнес и там процветают, и я знаю олигархов, которые вышли из математической среды. Получается парадоксальная вещь: вы как академия наук, как мозги нации рекомендуете, а государству ваши идеи не нужны?**

— Вы правильно ставите этот вопрос. Вся проблема заключается в невостребованности науки и современных технологических решений, которые имеют только перспективное значение для современной экономики, в том числе для управления валютными и финансовыми рынками. Объяснение, видимо, такое: на этом этапе развития нашей экономики с практической точки зрения проще приобрести это все за рубежом. Да, так проще и быстрее, но если есть большие деньги. Потом начинается зависимость от западных технологических решений, и ни к чему хорошему это в итоге не приводит. Сейчас обострившаяся ситуация в связи с санкционными ограничениями дает нам наглядный пример. Я говорю не только о математике и ее приложениях, я говорю в целом, это и физика, и химия, и биология, то есть любая область, которая граничит и сопряжена с генерацией новых технологий.

**— Я знаю, что вы всю жизнь работаете в Математическом институте и 12 лет были его директором. Насколько мне известно, вы регулярно получали заказы от государства на те или иные крупные глобальные работы. Сейчас вы получаете такие заказы?**

— Могу сказать так: некоторые работы, связанные с теорией информации, с информационными технологиями, мы продолжаем, однако они уже не имеют того масштаба, как раньше. Но все же наш институт теоретический, а потому в первую очередь наша задача состоит в том, чтобы обеспечить по возможности высокий уровень исследований по всему спектру современной математики. Имея в своем распоряжении чуть больше 100 человек, эту задачу в полной мере решить, пожалуй, не представляется возможным, но и цель немалая, а именно — иметь компетенции и понимание всей современной математики в целом. Эту основную задачу наш институт вполне достойно выполняет. При этом жизнь и развитие науки и технологий рождают новые проблемы, новые вызовы. Если брать те же самые информационные технологии, то как раз математики (к сожалению, не отечественные) придумали квантовые вычисления, квантовую теорию информации, высказали идею квантовых компьютеров. Это направление, которое сулит революционные изменения в данной сфере.

**— Как это было в квантовой физике?**

— Да. Что касается квантовой теории информации, то здесь Математический институт — один из лидеров, как это ни удивительно на первый взгляд. У нас в отделе теории вероятности и математической статистики работает пусть небольшая, но очень продвинутая группа исследователей во главе с членом-корреспондентом РАН А.С. Холево, одним из мировых лидеров в этом направлении. Кстати, недавно за выдающиеся результаты по квантовой теории информации ему была присуждена очень престижная международная премия Клода Шеннона. Как бывший директор я понимал, что здесь надо делать следующие шаги, и мы создали небольшую лабораторию (всего четыре сотрудника) по математическим проблемам квантовых технологий: это квантовая теория информации, но больше даже круг вопросов, связанных с созданием квантового компьютера. Лабораторию возглавляет А.Н. Печень, который окончил физический факультет МГУ, а потом работал в Принстонском университете в США. Вернулся в Россию, к нам в институт, очень талантливый молодой человек. Он какое-то время был ученым секретарем нашего института, защитил докторскую диссертацию, что говорит о его организованности и о его возможностях. Эти ребята активно работают во взаимодействии с Российским квантовым центром. То есть мы стремимся не только отслеживать состояние чисто математических абстрактных теорий, но и по возможности иметь широкие компетенции.

**— Один из физиков, демонстрируя аудитории мобильный телефон, сказал: «Трудно даже представить, как сюда все помещается!»**

## До каких размеров вы хотите довести подобные бытовые вещи с новыми квантовыми технологиями? Есть ли предел?

— Это очень важный вопрос для нашего научного сообщества и, пожалуй, в большей степени технологического сообщества: состояние дел российской микроэлектроники. Сейчас вопросы, связанные с созданием мобильных телефонов, не могут быть решены только в одной стране, есть разделение труда, и это нормально. Но существуют совершенно необходимые вещи. Вопрос миниатюризации чрезвычайно важен, так как идет гонка, чтобы делать все мельче и с большими возможностями. Здесь я уже говорю не столько про наш институт, сколько про его «окрестности». Есть интересные разработки, которые пока на определенном теоретическом уровне показывают принципиальную возможность использования голографии для уменьшения размеров масок, с помощью которых делаются элементы микроэлектроники.

## — Это состояние искусственного мира, параллельного мира, так же ведь?

— Верно. Правда, это уведит нас от темы Математического института как такового, это скорее область наших коллег, которые работают в Институте прикладной математики и подобных институтах, которые отпочковались от нас. Наша же основная задача и сфера ответственности — это математика, ее современное состояние, чтобы мы могли все это понимать и творчески развивать. Кстати, здесь мы себя не отделяем от Санкт-Петербургского отделения Математического института, который когда-то был нашим филиалом. Там работал Л.В. Канторович, потом этот филиал получил самостоятельность, но мы всегда вместе.

## — Там ведь работал Г.Я. Перельман?

— Прежде всего там работал Л.Д. Фаддеев, наш великий математик и теоретический физик. Чтобы было понятно в деталях, как взаимодействуем: мы каждый год в конце декабря проводим совместную научную сессию то в Москве, то в Санкт-Петербурге. Всегда приятно, когда на этих конференциях выступают молодые люди — как с нашей стороны, так и со стороны наших коллег.

## — А сейчас я задам несколько странных вопросов. Математика — это игра ума?

— Хороший вопрос. С одной стороны, мы можем, если следовать аксиоматическому подходу в обосновании математики, придумывать любые системы аксиом, развивать их в теории и смотреть, что из этого получится.

## — Это абстрактные вещи.

— Да, абстрактные вещи. Этот путь возможен, но по нему никто не идет. Уже отфильтровались основные математические структуры, которые неким генетическим образом связаны с внешним

## Андрей Николаевич Колмогоров

(1903–1987)

Математик, один из основоположников современной теории вероятностей. Автор работ по философии, истории, методологии и преподаванию математики.



## Альберт Николаевич Ширяев

(род. 1934)

Математик, академик РАН. Заведующий кафедрой теории вероятностей механико-математического факультета МГУ, заведующий лабораторией статистики случайных процессов Математического института им. В.А. Стеклова.



окружающим нас миром и отражают его основные закономерности. Можно пытаться рассуждать о том, что математика — это игра ума, с другой же стороны, многие наши выдающиеся математики, наши предшественники всерьез настаивали на другой точке зрения: математические истины — не плод нашего воображения, они существуют и всегда существовали, и будут существовать независимо от человека. Мы их открываем, так же как физики свои элементарные частицы или как биологи редкие виды бабочек.

— **То есть существует нечто великое под названием «математика», мы просто вникаем в это?**

— Да, и у нас есть возможность познавать этот мир, совершенствуя наши познания и расширяя их.

— **Но вы говорите о бесконечной сфере. Мне сказали, что вы единственный человек, который знает, что такое бесконечность.**

— Можно говорить, что это игра ума, и, наверное, в таком утверждении много правды. Но можно придерживаться и другой точки зрения — она мне больше нравится. Однажды Леопольд Кронекер, знаменитый немецкий математик, современник Карла Вейерштрасса, сказал: «Бог создал натуральные числа, все остальное — дело рук человеческих». В том смысле, что последовательность натуральных чисел — это индукция: 1, 2, 3, 4... а индукция означает: к тому, что у нас есть, мы можем сделать еще один такой же шаг, и так до бесконечности. Потом мы говорим, что хорошо бы иметь ноль, затем отрицательные числа, целые числа, рациональные числа, потом говорим, что еще есть комплексные числа и т.д., — это и есть логика развития нашей науки. Тут возникают все математические структуры. Дальше строится здание той самой конкретной математики, которая всем нужна. Это совершенно удивительное понимание нашей науки.

— **Теперь я понял, почему математика красивая. Потому что она позволяет представить**

**бесконечность, точнее — все многообразие бесконечности. У меня создается впечатление, что есть две науки, и вы яркий представитель этих двух наук. Первая наука — это Математический институт им. В.А. Стеклова, а вторая — Сколково.**

— Да, я в научно-консультационном совете Сколково. Это интересный проект, и Ж.И. Алферов пригласил меня участвовать в нем с самого начала. Самая идея Сколково, конкретного проекта, связана с развитием пяти важнейших направлений технологии — энергетики, медицины, ядерной энергетики, моделирования, суперкомпьютеров. Что касается медицины, в первую очередь это создание новых лекарственных препаратов. Космос, дальняя связь. Я почти все перечислил. Математикам там остаются информационные технологии, и я как раз состою в этой секции. Я бы сказал так: если мы говорим о математике, как ее понимают в Математическом институте, то это не совсем то, что нужно Сколково как проекту. Там нужно генерировать новые компании, которые будут развиваться, давать некий продукт, потом будут смотреть, сколько вложено, какова отдача, сколько создано высокотехнологичных рабочих мест. Все это хорошие и правильные идеи, но только они относятся к той сфере, которая касается некоторых приложений математики. Рядом со Сколковом есть еще так называемый Сколтех — это для нас ближе, это высшее учебное заведение, где подготовка нацелена в первую очередь на будущих менеджеров. Там математика преподается, но творчески не развивается так, как нам хотелось бы.

— **Может быть, Сколтех поможет ребятам из глубинки, и они пойдут по той же дорожке к вершинам науки. Вы же из деревни на Рязанщине, как вы влюбились в математику?**

— Уже теперь я и сам невольно вспоминаю свою жизнь фрагментами — и удивляюсь, как сложились обстоятельства, что я стал заниматься научными исследованиями, причем абстрактными? Я до восьмого класса особо этим не интересовался, скажу откровенно. Меня больше привлекал спорт, а потом как-то выяснилось, когда начали решать более сложные задачи, что у меня они получаются, а у моих сверстников



Исполняющий обязанности президента Российской академии наук академик В.В. Козлов

не очень. Тут я подумал: «Может быть, что-то в этом есть?» Я считаю, мне в жизни повезло, что увидел объявление «Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана объявляет набор в свою физико-математическую школу» как раз после восьмого класса. Там было вечернее обучение. Я со своими приятелями поехал на собеседование и даже получил не пятерку, а четверку, но этого было достаточно, чтобы туда поступить. Вначале было тяжело, мне казалось, что это выше моих возможностей, что я мало чего понимаю, потому что преподавание шло на другом уровне. Там читали лекции, были семинары, а не уроки. Никто никого не спрашивал так, как в школе. Я забросил бы это дело, как ребята, с которыми я поступил, — они быстро сошли с дистанции. Потом я подружился с теми, кто остался. Выяснилось, что они тоже ничего не понимают. И сразу же стало намного легче. Постепенно втянулся в учебу, мне все стало нравиться. Думал, физикой буду заниматься, поскольку это более практичная и понятная вещь. Потом так получилось, что во время выпускных экзаменов я один из всего четырех выпускников получил все пятерки. Я мечтал поступить учиться в МГТУ им. Н.Э. Баумана, поскольку мне все было там понятно, я знал, где это находится, как туда ехать, кто там преподает — молодые преподаватели и аспиранты оттуда вели у нас занятия. Я знал, что потом пойду на кафедру К-5 (там все зашифровано), потому что там работали мои любимые преподаватели... Экзамены были в августе, а в МГУ и Физтехе — в июле. Мне ребята сказали, что в МГУ есть мехмат и там тоже есть кафедра теории упругости. Мы с моим приятелем решили попробовать поступить в МГУ. Руководство школы поставило вопрос перед директором МГТУ: «Давайте этих четверых примем без экзаменов». Он говорит: «Нет, не положено, ребята способные, они и так поступят». Кстати сказать, никто в МГТУ из нас и не поступал — трое поступили в МГУ, один в Физтех. И вот я оказался на мехмате.

**— По стране был разбросана своеобразная сеть, которая вылавливала таланты, и эта система работала весьма эффективно...**

— Наука тогда стояла в нашем обществе высоко, ее уважали, и в частности благодаря выдающимся успехам в космонавтике, в атомной энергетике. Реализация этих двух масштабнейших проектов производила на всех колоссальное впечатление. Ученых уважали.

**— Вы знаете, у кого была самая высокая зарплата в Советском Союзе?**

— Мне говорили, что у президента Академии наук СССР.

**— Я спрашивал об этом М.В. Келдыша. Оказывается, он получал в два раза больше, чем председатель Совета Министров.**

— Давайте трезво посмотрим на то время: закончилась война, тяжелейшие времена, железный занавес, купить на Западе ничего нельзя, да никто и не продаст что-либо стоящее.

**— Можно только украсть...**

— Это если повезет. На кого и на что надеяться? Только на себя и на ученых, которые есть. Вот они и решили все эти задачи в труднейших условиях.

**— Даже то, что казалось невозможным!**

— Это удивительно и поразительно! И мало того что они решили насущные задачи, они вырвались вперед по многим принципиальным направлениям. Вспомним лазеры, например. Нобелевские премии по физике и химии были получены в те великие времена.

**— Была еще одна прекрасная фраза, и я слышал ее в этом кабинете. М.В. Келдыш сказал: «Мы работали от гимна до гимна».**

— Это очень верно: ученому свойственно работать постоянно, когда есть тема, есть одержимость и хочется понять пределы своих возможностей, а если это еще подкреплено тем, что проблема очень важна для страны, то энергия многократно увеличивается.

**— Я знаю, если ученый говорит: «Это нужно не мне, это нужно народу, стране», — вопрос будет решен.**

— Согласен. Действительно, не хватает нам таких ощущений и такого положения дел. Когда мы выброшены в рыночную стихию, ученым самим очень трудно адаптироваться в новых условиях. Только единицы могут создать свой бизнес. Но настоящему ученому это неинтересно, ему хочется решить задачу, которую до него никто не решал и которая связана с прогрессом, с чем-то принципиально новым для человечества, для страны. Такие слова надо говорить и не стесняться их, тогда, быть может, люди смогут лучше понять психологию ученого... Возвращаясь к нашему институту, хочу подчеркнуть, что мы свою ответственность понимаем и, как мне представляется, вполне соответствуем нынешнему времени. Самое трудное сейчас — найти молодых людей, которые мотивированы и хотят заниматься наукой. Есть проблемы достойной заработной платы, жилья. Это зачастую подвигает многих пробовать себя за границей, где все эти бытовые вопросы решаются существенно проще. К счастью, нам удается сохранять коллектив, подтягивать прекрасную молодежь, По-моему, достаточно сказать, что у нас, несмотря на то что институт небольшой, три лауреата президентской премии для молодых ученых.

**— Если перед институтом, перед вашим коллективом поставить неразрешимую задачу, вы ее разрешите?**

— Я думаю, да. ■

**Беседовал Владимир Губарев**

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

# СЛОЖНАЯ ПАУТИНА ПАМЯТИ

Благодаря технической революции мы  
сможем узнать, как мозг связывает  
между собой воспоминания

*Альсина Сильва*





**ОБ АВТОРЕ**

**Альсино Сильва** (Alcino J. Silva) — заслуженный профессор и директор Интегративного центра обучения и памяти Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. В его лаборатории ([www.silvalab.org](http://www.silvalab.org)) изучают механизмы памяти, а также причины и методы лечения расстройств памяти.



**Воспоминания** зависят от нашей способности воссоздавать детали окружающего мира — детское лицо, птицу, озеро. Однако чтобы превратить их в непосредственное переживание, мозг должен каким-то образом объединить отдельные элементы в единое целое — выражение лица девочки, когда она видит стаю гусей, внезапно взлетающих из камышей на берегу озера.

Полнота воспоминания определяется еще дополнительными факторами. На протяжении тысячелетий наше выживание зависело от способности вспомнить не только правильную информацию, например, про льва или змею, но и контекст: встретили мы это животное внезапно нос к носу посреди африканской саванны или же при неспешном осмотре экспозиции в зоопарке. Неспособность объединить информацию может иметь катастрофические последствия.

Нейробиология начинает выяснять, как мозг соединяет разные воспоминания, относящиеся к одному месту или одному времени. До сих пор подавляющее большинство исследований были посвящены способам приобретения, хранения, воспроизведения и изменения отдельных воспоминаний. Однако они не существуют сами по себе, как отдельные, изолированные сущности. На самом деле одно воспоминание вызывает другое и так формируется сложная последовательность, благодаря которой мы можем лучше предугадывать и понимать происходящее вокруг нас.

Благодаря исследованиям, проведенным в моей и других лабораториях на протяжении последних 20 лет, стали проясняться механизмы, используемые мозгом для формирования таких связанных

воспоминаний. Если мы поймем, какие физические процессы участвуют в переплетении отдельных воспоминаний, это не только даст нам представление о том, как работает мозг, но и поможет предотвращать расстройства памяти, при которых нарушается наша способность создавать и связывать воспоминания между собой.

**Счастливая случайность**

Когда в конце 1990-х гг. мы начинали изучать связывание воспоминаний, нам не хватало ни оборудования, ни базовых знаний, чтобы разобраться в этой теме. Первым важным шагом, который мы сделали, чтобы понять, как переплетаются воспоминания, было открытие распределения памяти. Суть в том, что мозг, используя определенные

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

- В исследованиях памяти произошла революция: с помощью новых технологий можно увидеть активность отдельных нейронов и даже включать и выключать клетки в определенный момент. Это позволяет ученым проводить эксперименты, которые еще несколько лет назад считались научной фантастикой.
- С помощью новых методов нейробиологи выяснили, что воспоминания неслучайным образом распределены по нейронам в областях мозга, занятых обработкой и хранением информации. Существуют специальные механизмы, определяющие, какие клетки будут хранить определенное воспоминание.
- Способность мозга контролировать, какие нейроны будут кодировать определенное событие, критично важна для закрепления воспоминаний и для их связывания друг с другом. Именно эта способность повреждается при многих нейropsychиатрических заболеваниях и при возрастных когнитивных нарушениях.

правила, размещает выученную информацию по отдельным группам нейронов, расположенных в областях, участвующих в формировании памяти.

Распределение памяти мы открыли благодаря счастливой случайности. Все началось с моего визита в Йельский университет в 1998 г., когда мы поговорили с Майклом Дэвисом (Michael Davis), моим другом и коллегой, который сейчас работает в Университете Эмори. Дэвис поделился со мной результатами своих исследований. Он с коллегами изменял активность гена *CREB* для усиления эмоциональной памяти у крыс, например при сочетании звука с электрическим током. Ранее моя лаборатория (которая сейчас переместилась в Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе) и другие исследователи показали, что ген *CREB* нужен для формирования долговременных воспоминаний. Он кодирует белок, который регулирует экспрессию других генов, участвующих в формировании памяти. При обучении создаются или усиливаются некоторые синапсы (клеточные структуры, с помощью которых нейроны контактируют друг с другом), и таким образом облегчается взаимодействие между клетками. Белок *CREB* участвует в этом процессе как молекулярный архитектор. Без его помощи большая часть личного опыта была бы забыта.

Меня удивило, что команде Дэвиса удалось улучшить память, хотя они повышали уровень *CREB* только в одной из множества популяций нейронов в миндалине. Миндалине представляет собой участок мозга, необходимый для формирования эмоциональной памяти. После моей поездки в Йельский университет меня несколько месяцев не оставлял в покое вопрос: как получилось, что воспоминания оказались именно в тех нескольких клетках, где можно было воспользоваться повышенным содержанием *CREB*? Могло ли быть, что этот белок не только осуществлял само запоминание, но и способствовал тому, что клетки, содержащие *CREB*, с большей вероятностью вовлекались в формирование памяти? В своих собственных исследованиях мы изучали функции *CREB* в миндалине и гиппокампе — участках мозга, участвующих в запоминании. В гиппокампе хранится внутренняя карта окружающего пространства.

В науке поставить правильный вопрос не менее важно, чем найти ответ. Разговор с Дэвисом помог мне понять, что нейробиологи слишком мало знают о правилах (если таковые вообще существуют), как определенное воспоминание распределяется между

нейронами в тех областях мозга, которые обрабатывают и хранят наши воспоминания. Поэтому мы решили рассмотреть этот аспект подробнее.

Наш первый большой прорыв произошел после того, как мы пригласили работать у нас нейробиолога Шину Джосселин (Sheena Josselyn), изучавшую *CREB* в лаборатории Дэвиса. Она провела серию экспериментов на животных, сначала в моей лаборатории, а затем с коллегами в Торонтском университете. С помощью вируса Джосселин ввела дополнительные копии *CREB* в определенные нейроны миндалины у мышей.

Она показала, что эти нейроны по сравнению с соседними в четыре раза чаще участвовали в хранении воспоминаний о пугающих событиях.

В 2007 г., после почти десяти лет усилий, Джосселин и я наконец опубликовали доказательства того, что эмоциональные воспоминания неслучайным образом распределены по нейронам миндалины. Воспоминания хранятся в тех клетках, где больше *CREB*-белка. Важно отметить, что в последующих экспериментах показано, что *CREB* имеет ту же

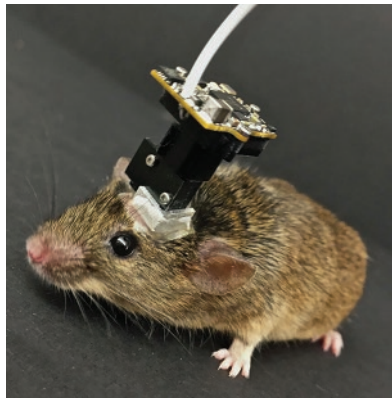
функцию и в других областях мозга, в том числе в гиппокампе и во внешнем слое мозга — коре.

### Включение и выключение воспоминаний

Для того чтобы подтвердить роль *CREB* в распределении памяти, мы использовали недавно разработанные методы, изменившие подход к изучению памяти. Данные технологии позволяют включать или выключать нейроны, фактически извлекая или подавляя воспоминание.

Например, Юй Чжоу (Yu Zhou), работавшая тогда в моей лаборатории, генетически модифицировала небольшую группу нейронов в мышечной миндалине, так что в них был повышенный уровень *CREB*, а также синтезировался другой белок, созданный в лаборатории Эдварда Кэллоуэя (Edward Callaway) в Институте биологических исследований Солка. С помощью изобретенного Кэллоуэем белка мы могли произвольно выключать нейроны с повышенным содержанием *CREB*. Когда мы выключали нейроны, оставляя активными их соседей с меньшим содержанием *CREB*, эмоциональная память подавлялась. Это означало, что нейроны с более высоким уровнем *CREB* с большей вероятностью вовлекались в хранение воспоминаний.

Да, но почему? Роберт Маленка (Robert Malenka) из Стэнфордского университета вместе со своими коллегами обнаружил, что увеличение содержания *CREB* в определенных нейронах означает, что



*Микроскоп, закрепленный на голове живой мыши, позволяет исследователям наблюдать активность клеток мозга во время формирования памяти*

они легче возбуждаются. Могла ли такая повышенная возбудимость быть причиной того, что нейроны с повышенным содержанием *CREB* выбирались для хранения памяти?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, Чжоу модифицировала нейроны миндалины так, чтобы они вырабатывали больше *CREB*. Используя тонкие микроэлектроды, она определяла, насколько легко активировались нейроны, оценивая таким образом их возбудимость. Полученные результаты подтвердили, что модифицированные нейроны включались легче по сравнению с теми, которые не были изменены. Повышенная возбудимость (большая готовность получать и передавать электрические сигналы, с помощью которых нейроны обмениваются информацией) означала, что эти клетки могли быть лучше подготовлены к процессам, необходимым для формирования памяти.

Для того чтобы проверить эту идею, Чжоу обратила внимание на синаптические связи нейронов с повышенным уровнем *CREB*. Существует большое количество доказательств, что усиление синаптических связей необходимо для формирования памяти. Обучив мышей так, что у них образовались эмоциональные воспоминания, Чжоу оценила силу синаптических связей у нейронов миндалины с повышенным уровнем *CREB*, чтобы проверить, будут ли они сильнее по сравнению с клетками, которые не подвергались модификации и не вырабатывали повышенное количество *CREB*.

Для этого она воздействовала на синапсы слабым электрическим током и регистрировала их ответ с помощью тончайших электродов, вживленных в клетку. Как и предполагалось, нейроны миндалины с повышенным уровнем *CREB* имели более сильные синаптические связи по сравнению с другими клетками. Это подтверждает идею, что такие клетки с большей вероятностью будут использоваться для хранения эмоциональной памяти.

Позже в лаборатории Джосселин было показано, что страшные воспоминания можно записать на определенный набор нейронов в миндалине, если генетически модифицировать их, добавив специальные ионные каналы, повышающие возбудимость нейронов. Ионные каналы образуют поры на поверхности клетки, и те конкретные каналы, которые использовала Джосселин, позволяли клетке легче активироваться.

И, наконец, и мы, и группа Джосселин, воспользовались принципиально новой технологией, которая называется «оптогенетика» и позволяет с помощью света возбуждать и тормозить нейроны. Мы использовали данную методику, чтобы переключать определенные нейроны с повышенным уровнем *CREB*. Томас Роджерсон (Thomas Rogerson) и Баладжи Джаяпракаш (Balaji Jayaprakash), работавшие тогда в моей лаборатории, модифицировали нейроны миндалины, чтобы там

вырабатывались *CREB* в повышенных количествах и белок канальный родопсин 2 (*ChR2*), образующий ионные каналы, активирующиеся в ответ на синий свет. Затем мы показали, что можем искусственно вызвать пугающее воспоминание у мышей, если с помощью света активировать в миндалине нейроны с повышенным уровнем *CREB*, не затрагивая те, где содержание белка ниже. Это подтверждает, что память хранится именно в модифицированных нейронах.

## Связывание

В 2009 г. меня попросили написать статью об исследованиях памяти, и я воспользовался такой возможностью, чтобы изложить наши идеи о том, как связываются между собой события, совпадающие по времени. То, что мы знали о способности *CREB* определять, какая из клеток участвует в конкретном воспоминании, то есть о распределении памяти, позволило мне предположить, что данный процесс может быть важным для способности связывать отдельные воспоминания. Сейчас в моей лаборатории это называется гипотезой «распределения для формирования связи». Поскольку память рассредоточивается между нейронами, которые содержат больше *CREB* и легче активируются, они же с большей вероятностью будут участвовать в хранении и другого воспоминания. Если у двух воспоминаний много общих нейронов, они связаны между собой.

Следовательно, из-за активации этих нейронов воспоминание о чем-то одном повлечет за собой воспоминание и о другом. Поэтому можно предположить, что если два воспоминания оказались близки по времени, например оба события произошли в один день, то они с большей вероятностью окажутся связанными, чем если бы их разделял длительный период. Если интервал между событиями больше одного-двух дней, возбуждение, связанное с первым воспоминанием, никак не повлияет на второе, поэтому они будут записаны на разных популяциях нейронов. Связь между воспоминаниями, обусловленная совпадением во времени, имеет смысл, поскольку события, которые происходят в течение одного дня, имеют большее отношение друг к другу, чем те, которые разделены, например, неделей.

Написание статьи и рассказ об этих идеях усилили мое желание найти способ их проверить. Гипотеза распределения для формирования связи была простой, но было совсем непонятно, как мы можем ее проверить. Пришлось ждать подходящего момента.

Ситуация изменилась, когда к проекту присоединились Дениз Цай (Denise Cai) и Джастин Шоб (Justin Shobe), работавшие тогда в моей лаборатории. У Цай возникла интересная мысль. Вместе с Шобом они сажали мышей в две разные камеры

с интервалом в пять часов, надеясь, что воспоминания об этих двух камерах окажутся связанными. Позже они дали мышам слабый удар током по лапам во второй камере. Как и ожидалось, когда потом грызунов помещали в эту камеру, они замирали, предположительно потому, что помнили, что там был удар током. Замирание — это естественная реакция мышей при испуге, поскольку большинство хищников лучше замечают подвижную добычу.

Главный результат Цай и Шоб получили, когда поместили грызунов в нейтральную камеру. Мы предполагали, что если воспоминания из обеих камер были связаны, то, попав в нейтральное место, мыши вспомнят об ударе током в другой камере и замрут в ожидании. Именно такой результат мы и получили.

Кроме того, мы предположили, что два воспоминания свяжутся с меньшей вероятностью, если между ними пройдет семь дней. И действительно, когда интервал между двумя камерами составил неделю, то у животных, помещенных в нейтральную камеру, воспоминание о ней не связывалось с ударом током и они не замирали. Итак, если интервал намного больше, чем один день, воспоминания остаются не связанными друг с другом.

Такие поведенческие результаты были впечатляющими, но при этом не проверялось основное предсказание, которое дает гипотеза: воспоминания, разделенные небольшим интервалом, хранятся в одной и той же области мозга в перекрывающихся популяциях нейронов. Такое физическое перекрывание связывает два воспоминания так, что при воспоминании об одном событии вспоминается и другое.

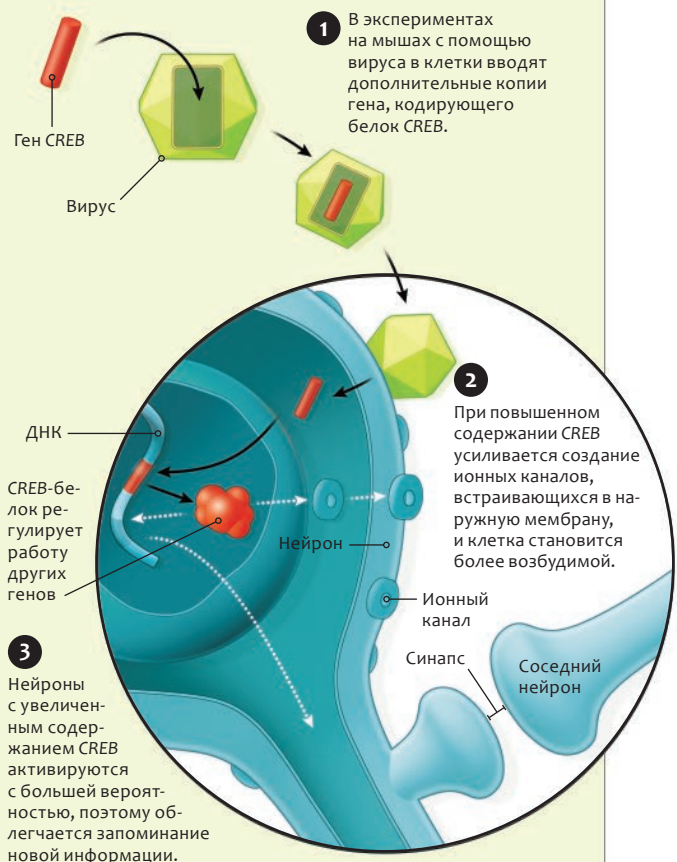
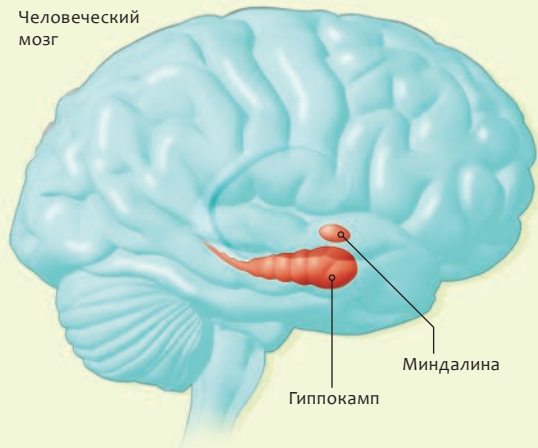
### Визуализируем воспоминания

Для того чтобы действительно проверить гипотезу распределения для формирования связи, нужно иметь возможность видеть, как воспоминания создаются в мозге. Уже были методы визуализации нейронов у живых мышей, но для их использования голова животного должна была фиксироваться под большим микроскопом, а это не подходило для поведенческих экспериментов, которые нужны для проверки гипотезы.

Как это ни удивительно, но за время моей карьеры часто необходимая техника появлялась именно тогда, когда она была нам нужнее всего. Мне довелось присутствовать на семинаре в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, который проводил Марк Шницер (Mark Schnitzer) из Стэнфордского университета. Он рассказывал про маленький микроскоп, который только что был изобретен в его лаборатории, чтобы визуализировать активность нейронов у свободно движущихся мышей. Микроскоп весом в 2–3 г мог закрепляться на голове животного как шапка. Именно такой инструмент был нужен нашей группе, чтобы

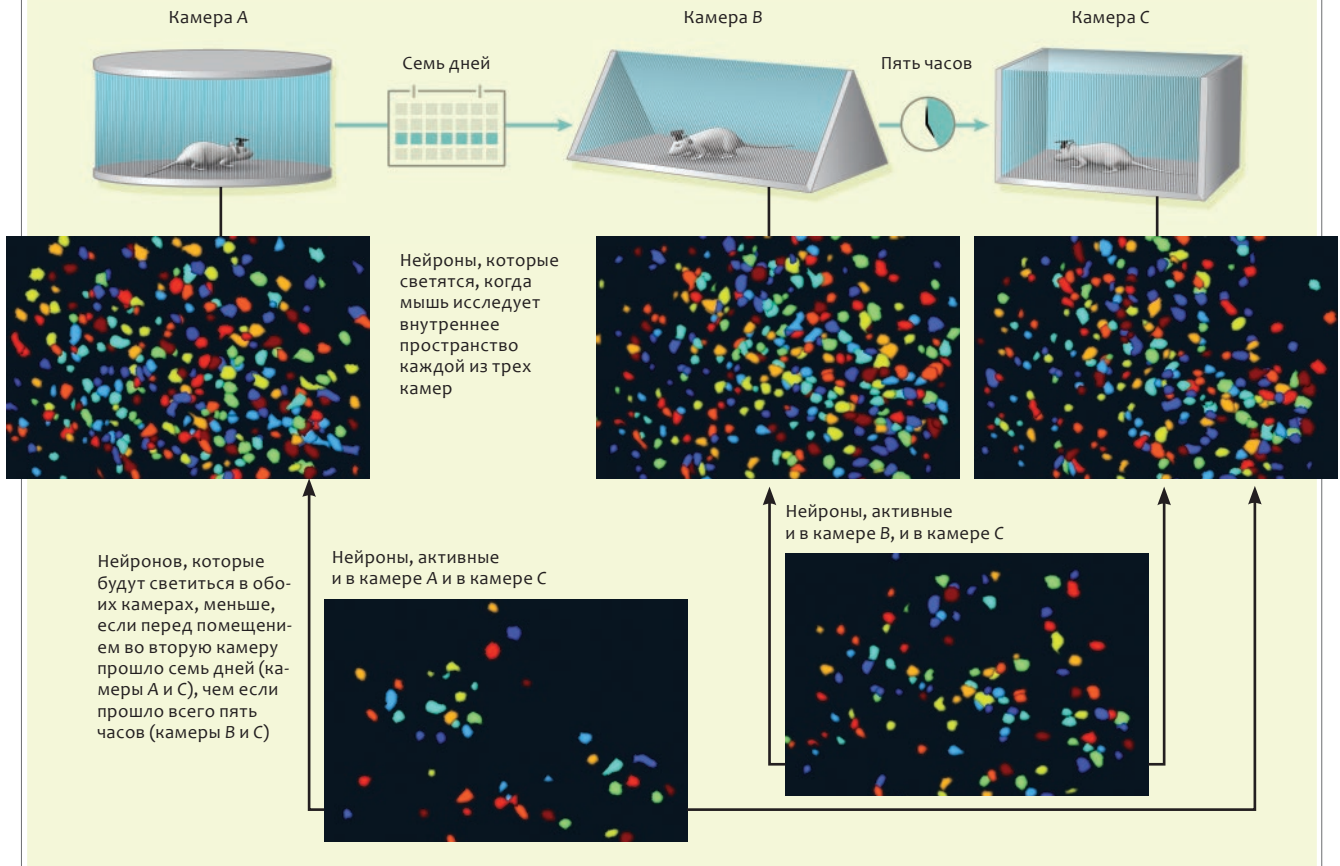
## Создатели воспоминаний

В мозге есть несколько областей, играющих ключевую роль в формировании памяти. Миндалина необходима для воспоминаний с эмоциональным содержанием, а гиппокамп участвует в запоминании пережитого опыта. В моей лаборатории в экспериментах на мышах было показано, что клетки, в которых мы увеличили содержание белка CREB, с большей вероятностью участвовали в запоминании.



## Воспоминания о прошлом, связанные друг с другом

У Пруста есть знаменитое описание цепочки воспоминаний, когда одно тянет за собой другое. Теперь наука о мозге дала объяснение этому явлению. В экспериментах было показано, что если мышью поочередно помещать сначала, например, в камеру В, а затем через пять часов в камеру С, в их памяти эти два эпизода будут связаны. Но мышь не объединит воспоминания о камерах А и С, если между двумя эпизодами прошло семь дней. Связывание воспоминаний о камерах В и С происходит потому, что в формировании воспоминаний о совпадающих по времени событиях участвует много общих нейронов, а в случае с камерами А и С — нет.



отслеживать активность нейронов при формировании определенного воспоминания. С его помощью мы могли определить, действительно ли те же нейроны активируются несколько часов спустя, когда формируется другое воспоминание, как должно было быть, если гипотеза распределения для формирования связи верна.

Мы были так воодушевлены возможностями, которые давало это чудесное изобретение, что решили спроектировать свою версию микроскопа. Мы объединились с лабораториями Пеймана Голшани (Peuman Golshani) и Балджита Хаха (Baljit Khakh) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и вместе с ними взяли на работу талантливого сотрудника Дэниела Ахарони (Daniel Aharoni), который создал то, что мы назвали минископами. Так же как микроскопы Шницера, наши минископы были оснащены линзой, которая закреплялась рядом с клетками мозга, активность которых мы хотели регистрировать. Устройство

было встроено в пластину, которая закреплялась на черепе животного, оставаясь неподвижной во время обучения и тестирования памяти. Мы заимствовали технологию у других исследователей и были рады ею поделиться. Будучи убежденными сторонниками открытости в науке, мы сделали нашу конструкцию и программное обеспечение минископов доступными для сотен других исследовательских групп во всем мире.

Для того чтобы увидеть активность нейронов с помощью минископа, Цай и ее коллега Тристан Шуман (Tristan Shuman) воспользовались возможностями генной инженерии. Нейроны у животных были модифицированы так, что светились, когда в клетке повышалось содержание кальция, — это называется «генетически кодируемый индикатор кальция».

Мы решили сосредоточиться на поле CA1 гиппокампа, поскольку эта область участвует в обучении и запоминании мест, например камер, которые мы

использовали в наших поведенческих экспериментах. Мышей с шапками-минископами на головах помещали последовательно в каждую из двух камер. Мы хотели выяснить, как продолжительность интервала между пребыванием в камерах повлияет на то, какие нейроны будут активироваться.

Результаты превзошли все ожидания! По сути, с помощью наших минископов и поведенческих экспериментов мы показали, что когда у мышей связываются воспоминания о двух разных камерах, многие из тех нейронов поля CA1, которые были активны в первой камере, работали и когда животных помещали во вторую. Если перед попаданием во вторую камеру проходило около пяти часов, мыши использовали для запоминания обоих событий одни и те же группы нейронов. Если промежуток составлял неделю, такого перекрытия не наблюдалось.

Мы были в восторге от этого открытия, поскольку оно подтверждало исходное предположение, следующее из нашей гипотезы распределения для формирования связи: воспоминания объединяются, если они хранятся на перекрывающихся популяциях нейронов. Если затем, вспомнив одно из событий, вы вновь активируете данную группу нейронов, это способствует воспоминанию и о другом событии тоже.

### Помечаем воспоминания

Для дальнейшей проверки результатов, полученных с помощью минископа, Цай использовала другой метод, разработанный нейробиологом Марком Мэйфордом (Mark Mayford) из Калифорнийского университета в Сан-Диего. В эксперименте применяли созданную Мэйфордом методику, которая называется «система *TetTag*» (*tetracycline tag* — тетрациклиновая метка). Когда трансгенная мышь находится в камере и у нее формируется воспоминание, система *TetTag* помечает активные нейроны с помощью флуоресцентной метки, которая может сохраняться неделями.

При посмертных исследованиях можно сопоставить, какие нейроны активировались недавно (метка показывает, что в них только что работали гены, участвующие в формировании памяти), а какие — давно (помечены более старой меткой). Таким образом, можно выявить не только нейроны, связанные с одним событием (в этом случае у нейрона будет одна флуоресцентная метка), но и те, которые активировались при обоих событиях (тогда светятся две метки).

Используя ту же схему эксперимента, что и ранее, Цай с коллегами показали, что при коротком пятичасовом интервале число нейронов с двойной меткой, то есть активных при обоих событиях, было значимо выше случайного уровня. Когда интервал составлял семь дней, число нейронов с двойной меткой не превышало данный уровень.

В других экспериментах, проведенных под руководством Джоселин в Торонтском университете, были получены дополнительные доказательства в пользу нашей гипотезы о формировании связанных воспоминаний. Группа ученых под ее руководством не только провела другую версию эксперимента с мечением нейронов, но и нашла независимое поведенческое подтверждение связывания воспоминаний друг с другом. Исследователи предположили, что если одна и та же популяция нейронов участвует в хранении двух воспоминаний, то повышение уровня *CREB*, вызванное первым воспоминанием, усилит и второе тоже. Но в отличие от нас они не сажали мышей поочередно в два разных места, а учили их узнавать два разных звука. Обучение с первым звуком усиливало воспоминания, связанные со вторым, если интервал между ними был в пределах шести часов, и такого эффекта не было при интервале от шести до 24 часов.

Недавно Каору Инокучи (Kaoru Inokuchi) вместе с коллегами из Тоямского университета продвинулись еще на шаг вперед. С помощью оптогенетики они инактивировали группу клеток, хранящих одновременно два разных эмоциональных воспоминания, а другие клетки оставили нетронутыми, в том числе те, которые имели отношение только к одному из воспоминаний. Выключив общие клетки, исследователи разорвали связь между двумя воспоминаниями, при этом каждое по отдельности было сохранено. С помощью такого изящного эксперимента они напрямую доказали, что нейроны, хранящие одновременно два воспоминания, играют главную роль в связывании воспоминаний. Это еще одна лаборатория, предоставившая независимое подтверждение нашей еще совсем молодой гипотезы «распределения для формирования связи».

### Улучшение памяти при старении

Далее мы решили изучить, как воспоминания связываются друг с другом у старых мышей. По сравнению с молодыми грызунами у пожилых в мозге ниже содержание *CREB*, в том числе в нейронах поля CA1 гиппокампа, и, соответственно, пониженная возбудимость. Поэтому мы предположили, что у старых мышей воспоминания будут связываться хуже. Цай с коллегами повторили на старых грызунах многие наши эксперименты. Результаты нас удивили. Опытные ученые знают, что гипотезы — это всего лишь рабочий инструмент. Мы не ожидаем, что они обязательно будут подтверждаться. Неизбежные неудачи помогают нам изменять идеи в процессе исследования. Но на этот раз наши догадки оказались верны.

Я до сих пор помню, как Цай, слегка запыхавшись, ворвалась в мой кабинет. Она рассказала мне, что пожилые мыши хотя и помнили каждую из камер, но с трудом связывали эти два воспоминания, даже если между ними был промежуток всего в пять

часов, который не вызвал бы затруднений у молодых особей. Визуализация с помощью минископа показала, что у старых мышей в отличие от молодых воспоминания в мозге не перекрывались.

Мы отнеслись к этому с радостью, но настороженно, поэтому вернулись назад и повторили эксперименты. Во второй раз результаты были еще более убедительными. У старых мышей со сниженным уровнем *CREB* в нейронах воспоминания не связывались так же хорошо, как у молодых.

Получив результаты, мы решили расширить рамки наших исследований. Сможем ли мы, искусственно повысив возбудимость некоторых CA1-нейронов на тот период, когда старые мыши будут обследовать две камеры, добиться того, что некоторые CA1-нейроны, активные во время пребывания в одной из камер, будут работать, когда животное посадят во вторую?

Для того чтобы это проверить, мы использовали новую генно-инженерную технологию. На поверхности клетки образовывались рецепторы, с помощью которых можно было контролировать работу клетки. Эта технология сокращенно называется *DREADD* и расшифровывается как *Designer Receptors Exclusively Activated by Designer Drugs* — искусственный рецептор, активируемый с помощью искусственного препарата. Активируя *DREADD*-рецепторы, мы могли включать у животного один и тот же набор нейронов в обеих камерах и таким образом наладить связь между двумя воспоминаниями.

Я должен признаться, что поначалу данная идея казалась невероятной. Эксперимент мог не получиться по многим причинам. Прежде всего, места запоминаются с помощью многих миллионов нейронов, рассредоточенных по нескольким взаимосвязанным областям в мозге, а не только в поле CA1. Старение может повлиять на процесс связывания воспоминаний во многих, если не во всех этих структурах. Поэтому, даже если бы нам удалось повысить возбудимость в группе нейронов поля CA1, это могли оказаться не те клетки. Более того, мы могли создать неподходящий уровень возбудимости.

Однако эксперимент удался. В таких авантюрах крайне важно соблюсти равновесие между потраченным временем, средствами и потенциально возможным выигрышем. Как бы то ни было, я могу уверенно утверждать, что удача была на нашей стороне. Восстановив повышенную возбудимость определенной группы нейронов поля CA1 у старых мышей, нам удалось разместить два воспоминания в значительной степени в одних и тех же нейронах поля CA1 и таким образом восстановить способность пожилых грызунов связывать воспоминания между собой.

Проведенные в других лабораториях исследования на грызунах и на людях тоже прояснили,

как одно воспоминание может связываться с другим. Нейробиолог Говард Эйхенбаум (Howard Eichenbaum) из Бостонского университета показал, что крысы способны находить связь между воспоминаниями, имеющими общей контекст. Нейробиолог Элисон Престон (Alison Preston) из Техасского университета в Остине вместе с коллегами показала, что если воспоминания имеют общий контекст, людям легче связать их друг с другом. Если вспомнил одно, то с большей вероятностью вспомнится и другое.

По мере того как у нас появляется все больше инструментов, чтобы оценивать и контролировать активность нейронов, мы начинаем постепенно разбираться в том, какие механизмы наш мозг использует для упорядочивания информации. Сейчас наша группа пытается расширить свои исследования еще в одном направлении. Вместе со специалистом по вычислительной нейробиологии Панайотой Пойрази (Panayiota Poirazi) из Института молекулярной биологии и биотехнологии Греческого фонда исследований и технологий мы создали компьютерную модель того, как и когда связываются воспоминания. Кроме того, мы попытались выявить механизмы, определяющие, каким должен быть временной интервал, чтобы воспоминания оказались связанными в той или иной структуре мозга.

На сегодня целый ряд разнообразных экспериментов, проведенных многочисленными лабораториями, полностью поддерживают гипотезу распределения для формирования связи. Мы надеемся, что, поняв, как переплетаются воспоминания, мы сможем разработать лечение для нарушений памяти, характерных для широкого круга психических расстройств — от старческого слабоумия до шизофрении, депрессии и биполярного расстройства. Дело не только в клиническом применении, с этих исследований начался новый, многообещающий период исследований памяти. Теперь основное ограничение для наших экспериментов связано не с имеющимися в наличии методиками, а с богатством нашего воображения. ■

**Перевод: М.С. Багоцкая**

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Филдз Д. Как сохранить воспоминания // ВМН, № 5, 2005.
- Synaptic Tagging during Memory Allocation. Thomas Rogerson et al. in Nature Reviews Neuroscience, Vol. 15, No. 3, pages 157–169; March 2014.
- Memory Integration: Neural Mechanisms and Implications for Behavior. Margaret L. Schlichting and Alison R. Preston in Current Opinion in Behavioral Sciences, Vol. 1, pages 1–8; February 2015.
- Finding the Engram. Sheena A. Josselyn et al. in Nature Reviews Neuroscience, Vol. 16, No. 9, pages 521–534; September 2015.





ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия



Взгляд на науку  
с пристрастием

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

[scientificrussia.ru](http://scientificrussia.ru)



Э В О

БИОЛОГИЯ

Почему люди танцуют? Просто ради удовольствия? Или же танец способствовал выживанию наших предков и за долгие тысячелетия превратился в нашу врожденную потребность?

*Теа Сингер*

Л Ю Ц И Я

ТА  
НА  
ТА



## ОБ АВТОРЕ

**Теа Сингер** (Thea Singer) — научный репортер из Бостона. Ее статьи публиковались в *Washington Post*, *MIT Technology Review*, *Psychology Today* и других изданиях. Автор книги «Снижая стресс» (*Stress Less*, 2010).



## Знаменитое аргентинское танго —

страстный, энергичный танец с четким ритмическим рисунком. Чтобы понять это, достаточно посмотреть, как его исполняют знаменитые профессиональные танцоры Мора Годой (Mora Godoy) и Хосе Лугонес (José Lugones). Вот партнеры замерли в исходной позиции, слегка соприкасаясь верхней частью корпусов, а затем начали слаженно, в едином ритме, двигаться под музыку, демонстрируя фантастические движения и фигуры — пируэты, зигзаги, восьмерки и вихри-вращения. Вот партнерша подпрыгивает и повисает на руках партнера, а затем, отпрыгнув от него, забрасывает ногу за его спину... Зрители буквально околдованы танцем.



Конечно, далеко не каждый может двигаться с такой зажигательной грацией, как этот прославленный дуэт. Но каждый из нас наверняка испытывал неодолимое желание танцевать, то есть приобщиться к искусству, которому испокон века поклоняется несметное число людей во всех культурах мира. Однако в мире животных танец — явление редкое. Хотя некоторые животные и способны совершать телодвижения в определенном ритме, ни одному из них не свойственны такие сложность и скоординированность движений, как танцующему человеку.

Почему же танец стал столь неотъемлемым атрибутом нашей жизни и почему люди смогли довести его до такого совершенства? В последние годы ученые начали выявлять особенности нашего тела и мозга, лежащие в основе этой уникальной способности. Некоторые из этих особенностей связаны с речью и прямохождением — двумя

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Танец играл важную социальную роль во всех известных ученым сообществах людей. Возник ли он просто как случайный «побочный продукт» укрупнения головного мозга людей и освоения ими вертикальной походки или же был одним из факторов, способствовавших выживанию наших древних предков?
- Способность к танцу зависит от неврологического процесса, при котором происходит согласование (синхронизация) ритмической активности так называемых моторных нейронов, контролирующих движения мышц, и активности сенсорных нейронов, перерабатывающих слуховые сигналы.
- До недавнего времени ученые считали, что такой способностью к согласованию ритмов обладают только человек. Выяснилось, однако, что этим талантом наделены также колибри, попугаи и некоторые другие животные.

качествами людей, в значительной степени определившими эволюционный успех человеческого рода. В таком случае не исключено, что танец возник в процессе эволюции просто-напросто по какой-то счастливой случайности — в качестве «побочного продукта» естественного отбора неких качеств, способствовавших выживанию наших предков. Данные психологии и археологии, однако, указывают и на еще одну возможность — эволюцию танца как важного адаптивного признака, способствовавшего укреплению человеческого социальных взаимосвязей, что, в свою очередь, повышало шансы людей на выживание.



### Чувство ритма

Физиологическая основа танца — это способность воспринимать и предсказывать темп и ритм звукового сопровождения и совершать в этом темпе и ритме выразительные телодвижения. Данная способность требует высокой координации активности различных областей мозга.

Уже на протяжении нескольких последних десятилетий ученые из Канады, США и Англии занимаются идентификацией сетей нервных клеток (нейронов) человеческого головного мозга, ответственных за выделение ритма из всех прочих звуковых сигналов, одновременно воздействующих на наши уши. Научившись распознавать определенный ритмический паттерн, такие сети начинают затем прогнозировать последовательность звуков во времени, то есть, по сути дела, создают в мозгу соответствующую ритмическую конструкцию.

Затем области мозга, ведающие работой мышц, начинают активироваться в соответствии с ритмической «звуковой композицией», сформированной слуховыми нервными сетями. (Фактически эти так называемые мозговые области двигательного планирования активны даже тогда, когда мы без движения стоим на месте и просто воспринимаем воздействующий на наши уши ритм.) Эта сцепка активности слуховых и двигательных областей мозга, ответственных за восприятие ритма и возникновение ритмических движений, и лежит

в основе нашей способности отстукивать пальцем музыкальный ритм по столу или вальсировать по полу. Ученые называют этот процесс согласованием, или синхронизацией, ритмов.

У здоровых людей согласование ритмов происходит само собой — естественным образом; мы можем поддерживать ритмичные движения в широком диапазоне темпов в течение длительного времени. «Человек обладает невероятно гибкой способностью к синхронизации, — утверждает нейробиолог Анируддх Патель (Aniruddh D. Patel) из Университета Тафтса. — Человек может оставаться согласованным с ритмом даже тогда, когда он замедляется или ускоряется более чем на 30%». Эта способ-

**В ритмах планеты:** дети исполняют индийский классический танец в Мумбаи (1); лос-анджелесские брейкдансеры демонстрируют мастерство (2); танцоры современного балета (3); балерины Большого театра обладают идеальной согласованностью движений (4); уличный танцевальный фестиваль на Кубе (5)

ность обычно возникает у детей в возрасте от трех до пяти лет.

Долгие годы ученые считали, что способностью координировать свою физическую активность с внешним звуковым сопровождением обладают только люди. Но проведенные в 2009 г. исследования показыва-

ли, что приурочивать движения к музыке — хотя и в ограниченной степени — могут также попугаи, колибри и, возможно, певчие птицы. Среди таких птиц был и самец какаду по имени Сноуболл (Снежок), умевший кивать головой в такт музыке американской поп-группы *Backstreet Boys*. А в 2013 г. ученые сообщили, что самка калифорнийского морского льва по кличке Ронэн умеет двигать головой в ритме музыки в самых разных темпах.

Люди, однако, — единственные существа на свете, способные совершать тесно скоординированные движения во время парного или группового танца. Птицы, способные согласовывать свои движения с музыкой, делают это как попало, говорит Патель: «Даже когда в одном вольере живет несколько попугаев, "танцующая" под музыку, они не синхронизируют свои движения друг с другом».

### Подражательные игры

Танцы — не единственная форма человеческой активности, зависящая от способности к согласованию ритмов. Умения приурочивать звуки к физическим движениям (в частности, голосовых

связок и мышц гортани) требуют также речь и пение. Изучение нервных путей и структур, принимающих участие в вокализации, навело Пателя на мысль о том, как могла эволюционировать способность к синхронизации активности нервных структур, перерабатывающих слуховую информацию, и структур, контролирующих мышечную активность. Выполненное им исследование позволяет предполагать, что своей способностью к речи и предрасположенностью к танцам люди обязаны одним и тем же «нейронным инновациям».

По мнению Пателя, основой гибкого прогностического согласования ритмов стала способность людей к имитации звуков. Эта способность тесно связана с явлением, называемым учеными под-

умеющие имитировать звуки. А сегодня, как известно, такие существа — это только люди, попугаи, певчие птицы, колибри, киты, некоторые морские ластоногие, слоны и некоторые летучие мыши. Между тем наши ближайшие родственники бонобо и шимпанзе не способны к голосовому подражанию и, как свидетельствуют большинство научных данных, лишены они и способности к согласованию ритмов. Хотя в одном из исследований самка шимпанзе умела синхронизировать постукивание рукой по столу с ритмом музыки в определенном темпе, приноравливать ритм постукивания к музыке в других темпах она не могла.

Подобные наблюдения подтверждают мысль, что подражательная голосовая имитация — основа



ражательным голосовым обучением, когда животное внимательно прислушивается к звуку, формирует его мысленную модель, согласовывает с этой моделью контроль над активностью мышц гортани, языка и рта и затем издает смоделированный звук. Когда животное прислушивается к нему, оно отмечает и корректирует все несоответствия между прогнозируемым и фактическим звуком и вновь пытается издать этот звук. Патель предполагает, что взаимодействие между процессами переработки слуховой и моторной информации, требующееся для звуковой имитации, и стало неврологической основой для более сложного процесса прогностического аудиомоторного согласования ритмов.

Но почему подражательное голосовое обучение свойственно лишь некоторым животным? Ряд ученых считают, что певчим птицам оно помогло совершенствовать сложные акустические демонстрации для привлечения партнеров и отпугивания соперников. «А попугаям, — говорит Патель, — оно обеспечивает своего рода акустический бейджик — знак, удостоверяющий их принадлежность к конкретной группе птиц».

Если гипотеза Пателя, что голосовая имитация представляет собой необходимую предпосылку для аудиомоторного согласования ритмов, верна, то единственными животными, обладающими такой способностью, должны быть существа,

**Повальное увлечение:** танцоры одного из племен Уганды (6); подростковая команда уличных танцоров из США (7); еврейские танцоры на улице Лондона (8); суфийский танец дервишей в Стамбуле (9); танец с веерами японских гейш (10); группа кубинской молодежи отплясывает рок (11)

способности к согласованию ритмов. Но выявлять и интерпретировать эту способность у животных — дело очень нелегкое. Рассмотрим, например, сложные вокальные дуэты у некоторых певчих птиц. Поют ли птицы по очереди, прогнозируя окончание пения партнера, или же каждый из участников дуэта начинает петь, просто реагируя на молчание партнера? И как это вообще можно проверить?

Но самой большой проблемой для гипотезы Пателя стала Ронэн — раскачивавшая головой самка морского льва. Морские львы не относятся к числу животных, способных к подражательному голосовому обучению, хотя они и близкие родственники моржей и тюленей, обладающих этой способностью. Тем не менее в 2013 г. ученые из Калифорнийского университета в Санта-Крузе обнаружили, что Ронэн умеет качать головой в такт несложному музыкальному ритму. Позднее Ронэн научилась двигать головой и в такт музыке более сложного ритмического рисунка. Дальнейшие тесты показали, что Ронэн правильно приноравливала ритм движений головы к музыке, даже когда ее темп ускорялся или замедлялся.

Объяснить необычные способности Ронэн можно по-разному. Возможно, эта самка — просто-напросто невероятно одаренный в музыкальном плане представитель морских львов, то есть исключение,

подтверждающее общее правило. Возможно также, что морские львы все-таки обладают некими атавистическими механизмами, обеспечивающими возможность голосовой имитации, но больше ими не пользуются. А может быть, таланты Ронэн попросту опровергают гипотезу голосового подражания.

Патель и другие ученые надеются, что проверить ее правильность поможет изучение лошадей: можно ли научить согласованию ритмов этих животных, которые не способны к подражательному голосовому обучению и даже не приходится родственниками животным, наделенным такой способностью? Лошади «не должны уметь приравнивать свои движения к определенному ритму,

предкам, в частности человеку прямоходящему (*Homo erectus*), совершенствовать свои навыки охотников и собирателей.

«Для совершенствования бега у человека возникло множество замечательных приспособлений», — отмечает Либерман. Пальцы ног у современных людей гораздо короче, чем у их предков, что делает бег более эффективным. Три полукружных канала во внутреннем ухе стали крупнее, что позволяет нам лучше удерживать равновесие при наклонах и других движениях головы, а значит, и бегать с более высокой скоростью и маневренностью. Эти приспособления полезны и для танца.

По мнению Либермана, танец мог возникнуть как случайный продукт эволюции бега, который



но множество анекдотических примеров указывают на то, что они прекрасно умеют это делать», — говорит Мара Брин (Mara Green), доцент-психолог из колледжа Маунт-Холиоук, штат Массачусетс, проверяющая гипотезу Пателя на лошадях. Если окажется, что лошади способны к согласованию ритмов, можно будет заключить, что этот процесс гораздо проще, чем мы думаем, либо что у других видов он служит иным целям, нежели у людей.

В отличие от танцев других существ человеческий танец состоит не только из кивков и раскачивания головы, но и из скоординированных движений туловища и конечностей. Повлиял ли необычный способ передвижения людей — прямохождение — на нашу способность к танцу? Согласно одной из наиболее популярных в последние годы гипотез, танец возник из нашей способности к бегу — а не просто ходьбе! — на двух ногах. «Конечно, двуногие существа приспособлены к танцу лучше, чем четвероногие», — говорит биолог-эволюционист из Гарвардского университета Дэниел Либерман (Daniel E. Lieberman), который в 2004 г. вместе с рядом других ученых опубликовал в журнале *Nature* обстоятельную статью о роли продолжительного бега в эволюции человека. Но танец сильно отличается от других форм активности, усовершенствованных людьми в процессе эволюции. «Эволюционируя, мы совершенствовали ходьбу, бег, умение бросать предметы и копать землю», — продолжает Либерман. Естественный отбор этих способностей позволил нашим далеким

неожиданно оказался настолько полезным сам по себе, что дал людям дополнительные селективные преимущества. А подвергался ли сам танец естественному отбору? «Возможно, подвергался, а возможно и нет. А может быть, естественному отбору подвергались лишь некоторые его элементы. — Ученый делает паузу. — В любом случае, проверить все эти гипотезы невероятно трудно».

### Эффект группы

Кое-какие подсказки к пониманию эволюционных преимуществ, дарованных танцем нашим древним предкам, дают наблюдения за современными танцорами. Одна из примечательных особенностей человеческого танца состоит в том, что мы склонны исполнять его парами или группой. Ощущая и предсказывая движения друг друга, танцующие партнеры непрерывно обмениваются физическими и эмоциональными сигналами. Такой обмен происходит и между двумя танцорами, исполняющими аргентинское танго, и между подростками, пляшущими толпой под рэп или хип-хоп.

Эта склонность к совместному танцу отражает стремление людей к социальной интеграции, которая, по мнению одного из основоположников современной социологии философа Эмиля Дюркгейма, формирует коллективное сознание и обеспечивает жизнеспособность общества. Социальная сплоченность могла играть важную роль для поддержания таких видов активности, связанных с выживанием, как добывание пищи и защита от хищников.

Антрополог Эдвард Хейген (Edward Hagen) из Университета штата Вашингтон в Ванкувере развивает эту мысль дальше. Он предполагает, что музыка и танцы, возможно, эволюционировали как средства, помогавшие социальным группам людей проводить взаимную оценку для последующего создания альянсов, основанных на неродственных связях. Слаженность группового танца, например, могла указывать на то, насколько эффективно члены этих групп смогут вести совместные действия в рамках более крупной коалиции.

Тесная социальная сплоченность, помимо прочего, дает членам группы и физиологические преимущества. В исследовании, проведенном в 2010 г. учеными Оксфордского университета, было показано, что синхронная физическая активность — в данном случае командные занятия греблей — приводит к более выраженному повышению порогов болевой чувствительности, чем такие же тренировки в одиночку. Авторы объясняют этот эффект высвобождением эндорфинов (природных опиоидов) в определенных областях головного мозга. Оксфордский антрополог и психолог-эволюционист Робин Данбар (Robin I.M. Dunbar) утверждает, что высвобождение эндорфинов способствует укреплению социальных связей и при групповых занятиях людей музыкой.

За неимением прямых свидетельств о происхождении танца ученые самых разных специальностей сфокусировали внимание на поведении еще сохранившихся сегодня немногочисленных сообществ охотников и собирателей. Возможно, изучение их образа жизни позволит антропологам составить хотя бы приблизительную картину того, что представляли собой сообщества людей до широкого распространения сельского хозяйства 10 тыс. лет назад.

Антрополог-эволюционист Камилла Пауэр (Camilla Power) из Университета Восточного Лондона изучает народ хадза, населяющий северную часть Танзании. Люди хадза обычно живут небольшими поселениями из 20–30 человек, где мужчины и женщины пользуются равными социальными правами. На протяжении многих поколений танец был важным фактором, обеспечивавшим эмоциональное единство народа хадза и других африканских племен охотников и собирателей (например, племени пигмеев баяка в Центральной Африке и народа сан из пустыни Калахари). Танец сопровождает обряды инициации, целительства и другие ритуалы этих народов, отмечает Пауэр.

Имеются косвенные свидетельства того, что люди начали танцевать большими группами много тысячелетий лет назад. На то, что такая практика имела место еще в позднем каменном веке, указывает, например, существование специальных мест сборищ — сильно утопанных участков земли, где археологи обнаружили остатки

доисторических музыкальных инструментов. К числу таких мест относится Истуриц — пещера во французских Пиренеях, где были найдены костяные дудочки возрастом 35–20 тыс. лет.

«Как показывают другие археологические находки, на этих площадках в определенное время года собирались представители самых разных групп первобытных людей, — рассказывает оксфордский палеоантрополог Иэйн Морли (Iain Morley), автор вышедшей в 2023 г. книги «Предистория музыки: человеческая эволюция, археология и истоки музыкальности» (*The Prehistory of Music: Human Evolution, Archaeology, and the Origins of Musicality*). — Когда такие многочисленные сборища происходят в современных сообществах охотников и собирателей, их непременно сопровождают музыка и танцы». По мнению Морли, музыка и танцы были известны людям еще десятки тысяч лет назад.

О танцах, этом самом загадочном виде искусства, наверняка можно утверждать одно: танец — это особый способ коммуникации людей, будь то общение между самими танцорами или между танцорами и зрителями. По сути дела, танцоры во время танца живут в созданном ими самыми фантастическом мире.

Но жизнь в этом мире изменяет мозг людей. Благотворное влияние танцев на состояние людей с двигательными расстройствами (например, при болезни Паркинсона) признают и врачи, и ученые. Действительно, многие люди, страдающие тремором, скованностью движений и другими нарушениями, характерными для паркинсонизма, после занятий танцами отмечают ослабление этих симптомов. Кроме того, занятия танцами помогают таким людям наладить социальные отношения, нарушенные вследствие заболевания.

Когда пациенты с болезнью Паркинсона начинают заниматься танцами, они, разумеется, меньше всего думают о том, чтобы стать профессиональными танцорами. И все же танцы делают их другими людьми: эта древнейшая из форм человеческой активности приводит в согласие тело и разум. А механизмы этого эффекта мы только-только начинаем постигать. ■

Перевод: А.В. Щеглов

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Браун С., Парсонс Л. Нейрофизиология танца // ВМН, № 10, 2008.
- Musical Rhythm, Linguistic Rhythm, and Human Evolution. Aniruddh D. Patel in *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, Vol. 24, No. 1, pages 99–104; September 2006.
- The Origins of Human and Avian Auditory-Motor Entrainment. Adena Schachner in *Nova Acta Leopoldina*, Vol. 111, No. 380, pages 243–253; 2013.



# Всё, всем, всегда ДОСТУПНО



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

## ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

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

[www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)



Google play



**В мире  
науки** SCIENTIFIC  
AMERICAN

Ежемесячный  
научно-информационный  
журнал



# Мозг: навстречу неизвестному

Говорят, что мозг — это целая вселенная, непознанная, увлекательная и таинственная. Я убедился, что такое сравнение правомочно, когда побывал в Научном центре неврологии. Фантастический мир современной медицины открыл передо мной академик **Михаил Александрович Пирадов**. Под его руководством развивается принципиально новое направление в неврологии, когда речь идет не только о реабилитации тяжелобольных людей, но и о познании тайн человеческого мозга.

— На протяжении многих веков медики опасались переступить грань недоступного, то есть своими приборами и методами лечения не трогали мозг. Сейчас же эту грань перешли. Это прорыв в науке?

— Раньше была популярной довольно стандартная шутка: «Хирурги ничего не знают, но все могут, психиатры ничего не знают и ничего не могут, а неврологи все знают, но ничего не могут». Сейчас ситуация в неврологии, в нейронауках совершенно изменилась. То, что происходит в настоящее время, иначе как революцией в области наших знаний о мозге назвать нельзя. Очень долгие годы основным двигателем, неким локомотивом развития неврологии и нейрохирургии была так называемая нейровизуализация.

— Все видим и знаем, но ничего сделать не можем?

— Теперь уже не так. В 1979 г. была получена Нобелевская премия за создание компьютерного томографа, а спустя четверть века еще одна Нобелевская премия — за создание магнитно-резонансного томографа. Это были принципиально новые технологии, совершившие революцию в клинической медицине, прежде всего в неврологии и нейрохирургии. То, что произошло в области нейрореабилитации или восстановительной неврологии за последнее десятилетие, конечно, не может не впечатлять. Я вам показывал целый ряд установок, которые помогают в лечении. Но это лишь небольшая часть аппаратуры, которой мы располагаем сегодня.

— В моем представлении томографы и прочие медицинские приборы лишь позволяют определить, чем болен человек, лечить ведь они не могут?

— Верно. Это прежде всего диагностика. Но сейчас она тесно связана с лечением. С помощью того же томографа хирурги и врачи очень точно определяют области мозга, которые надо локализовать, удалить или восстановить.

**— Вас учили по старым методикам. А как удается избавиться от традиционных взглядов, понять, что они — вчерашний день, что все изменилось?**

— Врачи обязаны учиться все время. Учиться не только после вуза в ординатуре и/или аспирантуре, но всю свою жизнь. Поэтому мы, естественно, читаем научные журналы, ездим на конференции. Мы должны и обязаны постоянно быть в курсе самых последних достижений научно-технического прогресса. Известно, что сегодня достижения высокой науки обычно в первую очередь попадают в оборонную промышленность, затем в медицину и только лишь потом в другие отрасли.

**— Это видно у вас довольно ярко. Вы привлекаете многие отрасли науки — тут и космонавтика, и биотехнологии, и психология. Откуда такая энциклопедичность?**

— Надеюсь, меня правильно поймут коллеги, представители других медицинских дисциплин, но традиционно всегда считалось, что неврология — это самая интеллектуальная дисциплина

в медицине, потому что связана с самым сложным органом — нашим мозгом. Мы постоянно взаимодействуем с представителями фундаментальных наук, смежных клинических дисциплин. В состав нашего центра входит и Институт клинической неврологии, где мы сейчас находимся, и Институт мозга, где собраны мозги наших выдающихся деятелей — политиков, ученых, включая нобелевских лауреатов, представителей мира искусства. Поэтому ничего удивительного в том, что нейронауки (как мы сейчас называем неврологию и смежные с ней дисциплины) вбирают в себя, по сути дела, все достижения научно-технического прогресса, ну и собственно клинической медицины.

**— Значит, у вас хранится коллекция великих мозгов России. Вы изучаете их, ведете фундаментальные исследования?**

— Да, конечно.

**— И эти знания используете при лечении обычных пациентов?**

— Процесс трансляции, то есть переноса тех знаний, которые мы получаем в области фундаментальных наук, в клиническую медицину, очень сложен. Мозг еще не познан, мы находимся только в начале пути. Наши фундаментальщики сейчас, например, очень много внимания уделяют



Директор ФГБНУ «Научный центр неврологии» академик М.А. Пирадов

вопросам, связанным с различием мужского и женского мозга. Традиционно известны различия между правым и левым полушарием и т.д. Предмет исследований настолько сложный и занимает так много времени, что мы не всегда можем сразу получить результаты. Фундаментальные науки потому и фундаментальные, что здесь очень долго выясняются те или иные законы природы, и для того, чтобы перенести их в практическую область, нужно много времени. Тем не менее мы активно занимаемся такими исследованиями, хотя наш центр в большей степени ориентирован на клиническую медицину.

— **Зачем человеческому организму, весьма несовершенному, столь уникальный инструмент, как мозг?**

— Я как-то смотрел голливудский фильм «Люси». Сюжет такой: девушка случайно попадает к наркоторговцам, и они заставляют ее проглотить капсулу с сильнейшим наркотиком для тайного переноса препарата через границу. По ходу действия капсула распадается и все содержимое начинает стремительно всасываться в ее кровь. Мозг девушки получает совершенно иные возможности, нежели мозг обычного человека. Вначале он использует 20% своего потенциала, потом 30, 40, 50%. И чем больше ее мозг задействуется, тем больше у нее появляется совершенно невероятных способностей. А когда мозг начинает использовать свой потенциал на 100%, девушка погибает, но передает людям Знание о человеческих возможностях.

Мы часто говорим, что наш мозг работает на 5–10% от своей мощности, а мозг гения, соответственно, — на 20 или 30%. На самом деле это всего лишь слова. Кто это считал?

— **Но мы видим у некоторых детей фантастические способности. Достаточно включить телевизор...**

— Да, там показывают людей и детей с возможностями, которые явно превосходят обычные. Это говорит о том, что человек при определенной тренировке, определенных способностях может делать вещи, которые 99% людей недоступны. Например, назвать 20-ю цифру числа  $\pi$ . Или человек запоминает одновременно восемь десятизначных чисел, может их складывать, умножать, делить и т.д. Это говорит о том, что возможности нашего мозга не то что безграничны, они совершенно иные, чем мы представляем. Логика развития нашего центра привела к тому, что мы не только занимаемся наиболее тяжелыми и социально значимыми заболеваниями мозга, такими как инсульт, рассеянный склероз, паркинсонизм, эпилепсия и целый ряд других, но и пробуем заглянуть внутрь здорового мозга. Сейчас мы начинаем проект, связанный с улучшением памяти с помощью стимуляции электромагнитным полем определенных областей мозга.

« Из 7 млрд землян более 1 млрд — инвалиды, из которых 190 млн человек (каждый пятый) — тяжелые инвалиды с болезнями ЦНС, как то: инсульт, черепно-мозговые травмы, рассеянный склероз, детский церебральный паралич и пр. Понимая принципы перестройки зон коры головного мозга, отвечающих за ту или иную функцию, можно помочь этим людям улучшить качество жизни »

— **Сколько вообще заболеваний, связанных именно с мозгом?**

— Множество. Основных — около 700.

— **Но самое страшное — инсульт?**

— Он наиболее распространен. Инсульт — не самое тяжелое заболевание, потому что его все же можно лечить. Есть целый ряд заболеваний, которые лечить нельзя. Пока, во всяком случае.

— **Говорят, вы научились хорошо бороться с инсультами. Почему у вас получается, а у других не очень?**

— Сразу хочу сказать, что инсульт проще предупредить, чем его лечить. Это аксиома. За счет чего мы добились успеха в лечении? Во-первых, высокий уровень диагностики. Мы говорим о томографах, позитронно-эмиссионной томографии. Во-вторых, достижения в области фармакологии, нейрореаниматологии и нейрореабилитации. В настоящее время появились принципиально новые подходы к лечению сердечно-сосудистых заболеваний. Вначале по этому пути пошли кардиологи, а потом неврологи, занимающиеся сосудистой патологией мозга, то есть инсультами. Раньше считалось: если у человека произошел инфаркт миокарда, его какое-то время нельзя трогать. Сейчас же людей с инфарктом на второй день поднимают и говорят: двигайтесь. С инсультом то же самое: когда к нам поступают больные, даже в состоянии комы, мы уже в первые часы кладем руки и ноги этого человека в специальные устройства, где начинается их пассивное движение. Для чего это делается? Существует такая проблема, как тромбоз легочной артерии. Это бич всех реанимационных отделений вне зависимости от того, неврологические это отделения или гинекологические, травматологические и т.д. По нашей статистике, каждый пятый больной с инсультом погибает не от него, а от тромбоза легочной артерии. Вопрос: как ее предупредить? Это можно

сделать именно за счет движения. Если ноги человека двигаются, даже пассивно, в специальных аппаратах, летальность от тромбоэмболии резко снижается. Вообще, большое счастье для тех, кто сегодня занимается неврологией, что министр здравоохранения — невролог.

— **Почему?**

— Все почести в медицине всегда доставались кардиологам. Мы знаем огромное количество людей, у которых стоят один, два, три, четыре стента. Они себя прекрасно чувствуют, ходят на работу, забывают о том, что у них были проблемы с сердцем. А вот деньги из благотворительных фондов чаще всего идут онкологам. Борьба с раком — это престижно и актуально. А ведь в экономически развитых странах инсульты стоят на втором месте после инфарктов миокарда и почти догнали их, онкологические же заболевания занимают третью строку в причинах смертности населения этих стран. Ну а неврологи, занимающиеся инсультами и другими заболеваниями нервной системы? Ни славы, ни грантов. Почему так происходит? Ответ прост: восстановление после инсульта длительное, сложное, поскольку нейроны, наиболее чувствительные структуры — самое сложное, что создано природой, и они восстанавливаются хуже всего, если вообще восстанавливаются. Но сейчас удалось с помощью Министерства здравоохранения наладить систему неврологической помощи, включая нарушения мозгового кровообращения, на местном и региональном уровне. И это, конечно, приносит свои плоды.

« В 1960-х гг. стали появляться многочисленные исследования, демонстрирующие химические и анатомические механизмы пластичности головного мозга у взрослых животных. Так, крысы, находящиеся в специальных клетках, имитирующих сложные условия окружающей среды (голод, холод, темноту), и вынужденные совершать множество различных действий, развивают больше ветвей дендритов (отростков нейронов) и больше синапсов (мест контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал эффекторной клеткой) на нейроне, чем животные, выращенные в благоприятных или стандартных условиях »

С инсультами сегодня можно бороться гораздо эффективнее, чем десять лет назад, это очевидно.

— **Правда ли, что вас во многом стимулировали космические исследования, дали определенный толчок развитию неврологии?**

— Не могу сказать, что во многом. Тем не менее в области реабилитации есть очень интересные устройства, которые мы охотно используем. Мы давно сотрудничаем с Институтом медико-биологических проблем. И две их недавние разработки — противоперегрузочный костюм «Регент» и аппарат «Корвит» для стимуляции биологически активных точек на стопах — широко используем в нашем центре.

— **Расскажите о ваших роботизированных комплексах. Какие вам особенно нравятся?**

— Это интересное направление в восстановительной неврологии. Мне нравятся роботизированные устройства, которые основаны на принципе виртуальной реальности. Сейчас существует много различных приспособлений — очков, шлемов и т.д., которые позволяют человеку находиться в так называемом 3D-мире. До 4D-мира мы пока еще не дошли — это дуновение ветра, брызги воды, запахи... Чем хороша виртуальная реальность? Тем, что обычно это игровая форма, связанная с компьютерами. Технология виртуальной реальности позволяет длительное время поддерживать интерес пациента к выполнению тяжелых, нудных и однообразных движений, которые требуются для восстановления тех или иных нарушенных функций.

— **Это игры?**

— Да, компьютерные игры. Например, ловля кружкой каплей воды, которые падают сверху на экране монитора. Руку человека помещают в специальный аппарат, соединенный с компьютером. Больной, двигая пострадавшей рукой, пытается вовремя переместить кружку и поймать капли. Чем больше капель он поймает, тем лучше. Таким образом идет восстановление нарушенных функций.

Раньше врачи считали, что те двигательные возможности, которые есть у человека спустя год после инсульта, останутся у него на всю жизнь. В отношении речи срок был два-три года. А дальше, мол, ничего уже сделать нельзя. Это был своеобразный приговор больному. А теперь с помощью аппарата «Локомат» все можно изменить. Он заменяет четырех инструкторов лечебной физкультуры. Теперь мы берем больных, которые два-три года назад перенесли инсульт, ставим их в «Локомат», и после 10–15 занятий у них начинается прогресс. То, что роботизированные и компьютеризированные технологии позволили значительно улучшить восстановление после самых тяжелых заболеваний нервной системы, — это факт. И это не отдельные эксперименты, а повседневная врачебная практика.

— **Значит, вы опровергли знаменитую половицу, что нейроны не восстанавливаются?**

— Восстанавливаются, но не всегда и не все, поэтому беречь их все-таки надо. Очень любопытные процессы идут в современной науке. 23% всех статей, которые публикуются во всех научных журналах мира, причем не только медицинских, в той или иной форме касаются клинической медицины, и большая часть этих статей посвящена нейронаукам.

— **И чем это можно объяснить?**

— Медики с руками-ногами более-менее разобрались, с печенью и с сердцем тоже, и наконец они решили приступить к самому сложному — глубокому изучению мозга. Под влиянием то ли фильмов, то ли книг, то ли фантастических романов возникло представление о том, что человек с помощью процессов, которые происходят в мозге, способен сделать совершенно невероятные вещи, я уже говорил об этом.

— **Что вы имеете в виду?**

— Мозг — регулирующий орган для всех остальных органов человека. Известен, например, случай, когда женщина, спасая своего ребенка, падающего с балкона, потянулась за ним через перила, уже сама почти падая, успела его схватить, прижала к себе и в течение почти часа висела на одной руке до тех пор, пока не пришла помощь. Невероятно! В свое время я профессионально занимался плаванием, и мы, весьма тренированные 15-летние ребята, как-то на спор пытались провисеть максимально долго на перекладине. Просто провисеть. Уже через четыре-пять минут у нас начиналась сильная боль в руках, потому что кровь не доходила до пальцев. А женщина висела на одной руке, держа ребенка, целый час! Мозг дал такую команду. Потом ее пальцы разжать не могли...

— **Мне в Арзамасе-16 рассказывали, что однажды при сборке бомбы вдруг пошла цепная реакция. Все бросились врассыпную, перемахнули через забор с колючей проволокой. Правда, один человек побежал совсем в другую сторону — к той самой сборке, чтобы остановить реакцию.**

— И кто это был?

— **Юлий Борисович Харитон.**

— Это еще один пример нестандартного поведения! Возьму на вооружение и этот случай.

— **Можно ли изобретать то, чего нет в природе?**

— Безусловно. Все, что мы делаем, связано исключительно с мозгом.

— **Это и есть нейропластичность?**

— Нейропластичность — это способность мозга создавать новые связи между различными группами нейронов на основании того опыта, который приходит извне. И вот тут мы вступаем в темный лес — я имею в виду проблемы сознания.

« Восстановительная неврология применяет активные технологии для улучшения функций поврежденной нервной системы путем структурной и функциональной избирательной модификации нарушенного моторного и иного контроля. Сегодня технологии нейрореабилитации подразделяются на классические (лечебная гимнастика, массаж, нервно-мышечная электростимуляция, различные виды электро- и теплотерапии, водолечение и механотерапия) и современные (зеркальная терапия, робототерапия, виртуальная реальность, транскраниальная электро- и магнитостимуляция, мозг-компьютер-интерфейс), среди которых есть даже космические »

— **А не опасно ли то, чем вы начинаете заниматься? Можно войти в мозг, установить новые связи и лишить человека страха. А что значит лишить человека страха? Создать послушных солдат. И вновь наука работает сначала на оборону, а уж потом на человека?**

— Это и делают сейчас.

— **Кто и где?**

— Думаю, во многих военных лабораториях в мире занимаются созданием так называемых универсальных солдат. Речь идет, в частности, о подавлении чувства страха, боли и т.д., плюс к этому выработка таких качеств, как смелость, решительность. Все достижения научно-технического прогресса прежде всего пытаются применить в военных целях. Мы ситуацию изменить не сможем: кто-то подсчитал, что человечество жило без войн за всю свою историю всего лишь 100 дней.

— **Кое-кто из ваших коллег высказывает странные идеи о том, что пройдет несколько лет — и мы будем мысли передавать на расстоянии...**

— Прогнозы — вещь скользкая. В 1967 г. в нашем институте был сделан серьезный аналитический доклад о перспективах развития неврологии на ближайшие 30 лет. И основной акцент был на электроэнцефалографии. Ровно через семь лет появилась компьютерная томография, которая совершила революцию в неврологии и нейрохирургии, отодвинув электроэнцефалографию далеко-далеко в сторону. А прошло всего-то несколько лет.

« В течение последних 30 лет создаются и непрерывно совершенствуются уникальные технологии структурно-функционального картирования мозга, способы изучения процессов нейропластичности, методы нейромодуляции. Прогресс в этой области заметно ускорился с наступлением XXI столетия. Все больше внимания уделяется индивидуальному подходу к восстановлению функций, утраченных в результате различных заболеваний нервной системы. Социальная значимость исследований и разработок в данной области в значительной степени определяется увеличением продолжительности жизни населения развитых стран мира, что приводит к росту числа возрастзависимых заболеваний мозга (инсульта, болезни Альцгеймера, Паркинсона и др.) и диктует острую необходимость создания принципиально новых, персонализированных нейрореабилитационных технологий »

В мире никто вообще не мог предсказать, каким образом можно посмотреть мозг неинвазивно, то есть не «влезая» в него. Да еще с высочайшей точностью. Поэтому прогнозы можно делать любые, но в жизни чаще всего бывает иначе.

Что касается передачи мыслей на расстоянии, все намного сложнее. В военной промышленности широко используются беспилотные летательные аппараты. Сейчас много работ и в военной области, и в медицине посвящено технологии мозг-компьютер-интерфейс. Поначалу был жуткий ажиотаж в этой области, потому что уж очень заманчиво было, чтобы человек мыслями приводил в действие тот же танк на поле боя. Но дело в том, что танк в этом случае может ехать только вперед-назад, вправо-влево, а выполнять очень сложные маневры не способен. То же самое пока с инвалидными колясками. Но сбрасывать со счетов эту идею нельзя. Мы сейчас вместе с рядом организаций занимаемся в рамках Национальной технологической инициативы проектом, который называется «Нейроассистивные технологии». Недавно приняли несколько устройств. Первое представляло

собой обычную инвалидную коляску, подсоединенную к компьютеру. Там сидел человек и мысленно отдавал приказы: тележка ездил, поворачивала влево и вправо. Но это был натренированный пилот. Он мог, смотря на окно, на котором находились рольставни, их опускать и поднимать. Мог включать и выключать лампу. Это все я видел своими глазами. Для людей, которые прикованы к инвалидному креслу, это очень полезно и важно.

— **Мир для них становится другим, не так ли?**

— Я больше 30 лет работаю в нейрореабилитации. Могу сказать, что как только больной человек в состоянии взять в руку пульт телевизора и начать переключать программы передач, он уже становится в какой-то степени независимым, то есть он может смотреть то, что хочет. Это для него психологически очень важно. Несколько лет назад к нам попал один очень известный теплофизик, который в основном работал в Австралии и Японии по контрактам. У него произошел стволый инсульт и развился так называемый синдром *locked-in*, или синдром «взаперти». В подобных случаях мы раньше пользовались так называемой азбукой: показывали букву, а пациент не закрывал («нет») или закрывал («да») глаза. Такое общение было очень долгим и сложным как для больного, так и для врача или медсестры. Японцы сделали для теплофизика специальный шлем. У него немного работала нижняя челюсть. Он интеллектуально был абсолютно сохранен. Перед его глазами стоял экран монитора и была компьютеризированная азбука. И теплофизик научился писать, держа во рту компьютерную мышку. Он у нас пролежал где-то полгода. Писал статьи по теплофизике, зарабатывал ими на жизнь. Японцы заключили с ним контракт, несмотря на его заболевание. А сейчас, спустя 20 лет, все делается проще. Надеваются специальные очки, и в них камеры стоят перед глазами. Человек смотрит на алфавит и может очень быстро отвечать на вопросы письменно, открывая и закрывая глаза. Практически каждые два-три месяца появляется что-то новое для облегчения жизни этим тяжелейшим больным, прогресс в этой области идет очень быстро.

— **Михаил Александрович, вершина неврологии — сознание?**

— Да. К нему можно идти несколькими путями. Один путь — философский, но об этом сказано столько, что я даже не пытаюсь что-то добавить. Другой путь — со стороны неврологии и нейрофизиологии. До сих пор непонятно, где у человека локализуется, находится тот субстрат, та область, которая первично формирует сознание. Сознание — это же не функция всего мозга. Хотя в нем есть какие-то места, которые позволяют сознанию быть. Это, например, структура, которая расположена в области продолговатого мозга и чуть выше, которая называется ретикулярной формацией. Она приводит нас (точнее, всех млекопитающих)



в состояние бодрствования. Человек может бодрствовать, но не иметь сознания. Классический пример — вегетативное состояние, когда у человека сохранен ритм «сон — бодрствование», когда у него есть какие-то простейшие реакции, скажем, на яркий свет, на резкое приближение к глазам руки и т.п. Человек находится в состоянии бодрствования, но он не в состоянии сознания. Сознание же без бодрствования невозможно. Сознание в медицине на сегодня определяется с помощью одного очень важного теста: фиксации взгляда. Если подходишь к человеку, а он не просто смотрит на тебя, а глазами следит за твоими движениями, это свидетельствует о том, что у него есть сознание. Существует один тест: берешь зеркало и подносишь к лицу больного. Люди эти на свое лицо реагируют довольно бурно. Некоторые краснеют, некоторые начинают, если они могут, что-то пытаться сказать или активно шевелиться, если способны двигаться. Потом отводишь зеркало в сторону. Если больной следит за своим лицом, это признак сознания. Но сейчас мы занимаемся более глубокими вещами. Дело в том, что в состоянии покоя человек не может ни о чем не думать. Это практически невозможно. Люди, самые продвинутые в плане глубокой медитации, — это адепты духовных практик.

#### — «Святые» в Индии?

— Может быть. Они достигают состояния той самой нирваны, когда ни о чем не думают. Это очень сложно, на это тратятся многие годы. Но обычно мы всегда о чем-то думаем. Даже когда просто лежим на диване и начинаем засыпать. Есть так называемое дремотное, или сумеречное, состояние сознания. Приведу очередной пример из жизни. Д.И. Менделеев и Томас Эдисон — выдающиеся люди, гении. Считается, что Менделеев свою таблицу увидел во сне. Но, возможно, она не во сне ему приснилась, а во время дремотного, то есть сумеречного состояния сознания. Оно возникает у нас, когда мы вот-вот заснем или когда вот-вот проснемся, чаще при первом варианте. Эдисон совершил огромное количество изобретений, создал *General Electric*, фирму, долгие десятилетия бывшую номером один в мире. Как он изобретал? Садился в кресло, клал рядом стальной лист, брал в руку металлический шарик и засыпал. Когда мы засыпаем, в голову подчас приходят какие-то совершенно потрясающие мысли, неординарные решения. Мы думаем, что их запомним и потом запишем, но просыпаемся утром и часто ничего не помним. Что же делал Эдисон? В какой-то момент, когда у него уже наступало сумеречное состояние и он почти засыпал, рука разжималась, металлический шар падал и бился о стальной лист. Этот звук его будил. Рядом лежали на столике ручка и бумага. Эдисон записывал все, что ему пришлось в сумеречном состоянии в голову, и потом спокойно засыпал. Гениальная находка!

#### — Теперь, думаю, в стране будет дефицит металлических листов и шариков...

— Возвращаясь к сознанию. Недавно открыли так называемую сеть пассивного режима работы мозга. С помощью функциональной магнитно-резонансной томографии покоя выяснили, что активность этой сети, включающей в себя кору срединных структур (передняя цингулярная/медифронтальная кора и задняя цингулярная кора / кора предклинья), отражает «внутреннее осознание», то есть осознание своей личности, спонтанные мысли, внутреннюю речь, мечтания. Когда человек находится в состоянии полного расслабления, у него есть ряд областей мозга, которые в той или иной степени все равно возбуждены, то есть к ним идет приток крови, что регистрируется с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. Так вот, у здорового человека одни «сети покоя», у людей, которые находятся в минимальном состоянии сознания, — другие, а у больных в вегетативном состоянии их практически нет. И вот этой проблемой мы сейчас занимаемся параллельно с группами из Милана, Льежа и Гарварда. С помощью навигационной транскраниальной магнитной стимуляции воздействуем на те зоны мозга, которые у здоровых людей функционируют, а у больных нет. И мы сейчас уже добились того, что люди из состояния минимального сознания начали переходить в ясное сознание.

#### — О чем вам хочется самому рассказать, причем обязательно?

— Удивительная вещь: чем старше становишься, тем интереснее жить.

#### — Почему?

— Есть с чем сравнивать — раз. Меньше застреваешь на частностях, смотришь на происходящее глобально именно из-за наличия жизненного опыта — два. Что такое жизненный опыт? Это компромиссы. В том числе с самим собой. Меньше разочарований — они уже позади. Я часто вспоминаю одну аллегию жизненного цикла человека. Ты поднимаешься на высокую гору. Вначале быстро, потом тебе все сложнее и сложнее. Ты понимаешь, что остался один шаг до вершины, и тогда наступает миг счастья: да, я сделал это! А потом возникает некое опустошение, теперь уже надо идти с горы... Но на самом деле ощущение счастья должно продолжаться. Почему? Да потому что когда начинаешь спускаться, ты чувствуешь, что с каждым метром спуска кислорода становится все больше. Ты вдруг начинаешь видеть не только одну вершину, но и другие. Плюс к этому водопады, альпийские луга... И тебе не надо никуда спешить, потому что ты выполнил свою задачу — дошел до вершины. ■

Беседовал Владимир Губарев

# Лечебная «ПОДВОДНАЯ ЛОДКА»

Первый медицинский  
онкологический кластер в России  
работает на протонах

## МЕДИЦИНА

Полтора года назад в Медицинском радиологическом научном центре им. А.Ф. Цыба в Обнинске, филиале ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России, был запущен синхротрон комплекса протонной терапии «Прометеус». Он стал первой российской установкой для высокоточной радиотерапии онкологических больных посредством трехмерного многопольного облучения опухолей тонким сканирующим пучком протонов. С того момента лечение получили более 100 больных. Установка стала частью онкологического кластера на базе ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, где осуществляется комплексный индивидуальный подход к диагностике, подбору терапии и лечению пациентов. Как работает такая система, рассказал и показал журналу «В мире науки» академик **Андрей Дмитриевич Каприн**, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, а также руководитель одного из его филиалов — Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена.

— Хочу начать наш разговор из помещения, где размещены «глаза и мозг» протонного ускорителя, отсюда управляются лечебная камера и собственно процедура, называемая протонной терапией. Это единственный в России на данный момент ускоритель, разработанный и изготовленный специально для медицины, для лучевой терапии особо сложных локализаций опухолей.

Почему особо сложных локализаций? Наш центр сейчас располагает всей современной линейкой лучевой терапии, и мы можем выбирать, какие ее виды использовать для конкретного пациента. Это и кибернож, и гамма-нож, и линейные ускорители, и гамма-излучение, это и брахитерапия всех видов, и низкодозная, и высокодозная лучевая терапия, это и лечение радионуклидами. Пока эта установка используется в основном для лечения опухолей головы и шеи.

**— Вы перечислили очень много методов лечения, связанных с радиационной медициной. Каковы все-таки особенности протонной терапии?**

— Почему голова и шея? Сейчас большая часть мирового опыта накоплена именно в лечении этих локализаций при помощи протонной терапии, поскольку здесь в очень маленьком объеме расположено очень большое количество критических с точки зрения радиочувствительности структур. И зачастую опухоль располагается в непосредственной близости от этих жизненно важных структур — ствола мозга, хиазмы, зрительных нервов. Если луч немножко промахнется, мы, может быть, и излечим опухоль, но резко снизим качество жизни пациента.

В этой связи, безусловно, протонная терапия имеет большие преимущества. Особенность этого аппарата — еще две важные новации. Это использование активного сканирующего пучка, то есть не лечение единым полем, а «создание рисунка»

тоненькой кисточкой. Пучок постоянно меняет энергию. Мы начинаем из глубины, движемся наружу и потихоньку заполняем необходимой дозой весь объем мишени.

Опухоль глаза, меланома глаза, множественные метастатические поражения, опухоли мозга — такие случаи прежде считались отказными. Даже при доброкачественных опухолях, которые располагаются близко, например, от ствола мозга, так называемые медленные убийцы. Есть доброкачественные опухоли, которые растут, сдавливают и замещают и спинномозговой канал, и жизненно важные зоны, где проходят сосуды или нервные окончания. Хирургия здесь бессильна. Не могли мы раньше воздействовать на них и с помощью лучевой терапии, не повредив здоровые ткани. А благодаря избирательности воздействия протонного пучка есть возможность лечить сложные категории пациентов со столь сложными новообразованиями.

Еще, конечно, в наших планах — облучение опухолей у детей, поскольку воздействие на растущий организм и большая ожидаемая продолжительность жизни требуют высокой точности (точности) лечения и снижения лучевой нагрузки на нормальные ткани, что и обеспечивает протонная терапия.

Кроме того, мы смело можем говорить о возможности повторного лечения при рецидивах — при других видах радиотерапии это зачастую невозможно из-за высокой лучевой нагрузки на организм.

Но пока у нас, повторяю, проходят лечение так называемые отказные больные, которые обращались в три-пять центров и не получили помощи. Больше их уже никто не возьмет, и им остается только симптоматическая терапия — вот эта обидная надпись, свидетельствующая о бессилии. И мы тоже не каждому из них, к сожалению,

**Протоны — частицы, которые несут положительный заряд. Однако основная масса энергии высвобождается внутри новообразования и в отличие от рентгеновского излучения не выходит за его границы. Следовательно, отмечается большее соответствие формы пучка лучей параметрам опухоли и меньшее повреждение здоровых тканей, что позволяет эффективно воздействовать на новообразования малого объема. Впервые протонная терапия была применена в лечении рака в США в условиях исследовательской лаборатории. Первая протонная терапия в клинических условиях была также проведена в США в 1990 г.**

можем помочь, но все-таки возможности протонной терапии дают шанс. Более 120 больных уже прошли эту машину, начиная с ноября прошлого года.

**— Отличается ли сама техника, нюансы проведения лечения, от существующих в мире способов лечения на протонных установках?**

— Вот, посмотрите: это лечебная кабина, куда усаживается пациент. В отличие от способов наведения, которые сейчас общеприняты в мире, наши инженеры и конструкторы во главе с членом-корреспондентом РАН В.Е. Балакиным создали особый способ. Обычно при стандартной конструкции установка с пучком поворачивается вокруг пациента. А здесь наоборот — кресло поворачивается, и человек находится в пучке. Специальная фиксирующая маска позволяет зафиксировать мишень с помощью планирующей системы, и пациент медленно вращается, с разных ракурсов позволяя облучать собственно опухолевую ткань. Встроенный компьютерный томограф следит за мишенью и за тем, чтобы она не смещалась.

Работы еще очень много, потому что пока мы можем облучать, как я уже говорил, только опухоли головы и шеи. Если говорить о дальнейшем развитии методов лечения с помощью протонного ускорителя, то, конечно, понадобится специальное оборудование, при помощи которого можно будет разместить и ребенка, и взрослого горизонтально. Но здесь будет необходим апгрейд наводящей системы и самой облучающей трубки. И тогда мы сможем лечить больных с патологиями легких, предстательной железы, молочной железы, то есть другие локализации, достаточно сложные для лучевой терапии на других установках.

**— А сколько специалистов при таком лечении обслуживают одного больного?**

— Для того чтобы эффективно использовать любое оборудование, должна работать команда. Мы все, в том числе и пациент, находимся в одной подводной лодке.

Начнем с физиков, которые создали эту машину, помогают ее эксплуатировать и предложили ряд новаторских идей, о которых мы уже говорили. Это и четкая, слаженная совместная работа биологов, радиобиологов и, безусловно, специалистов по лучевой терапии.

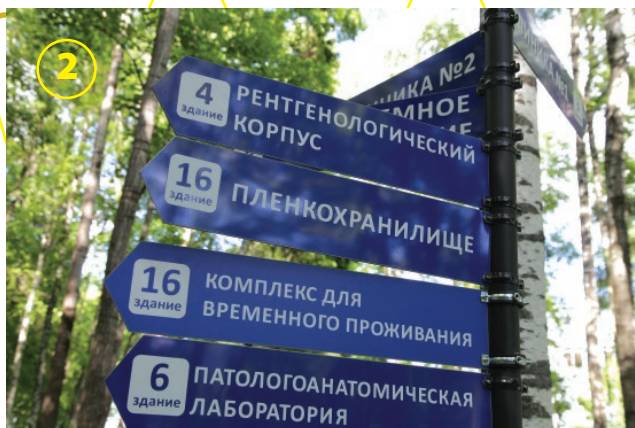
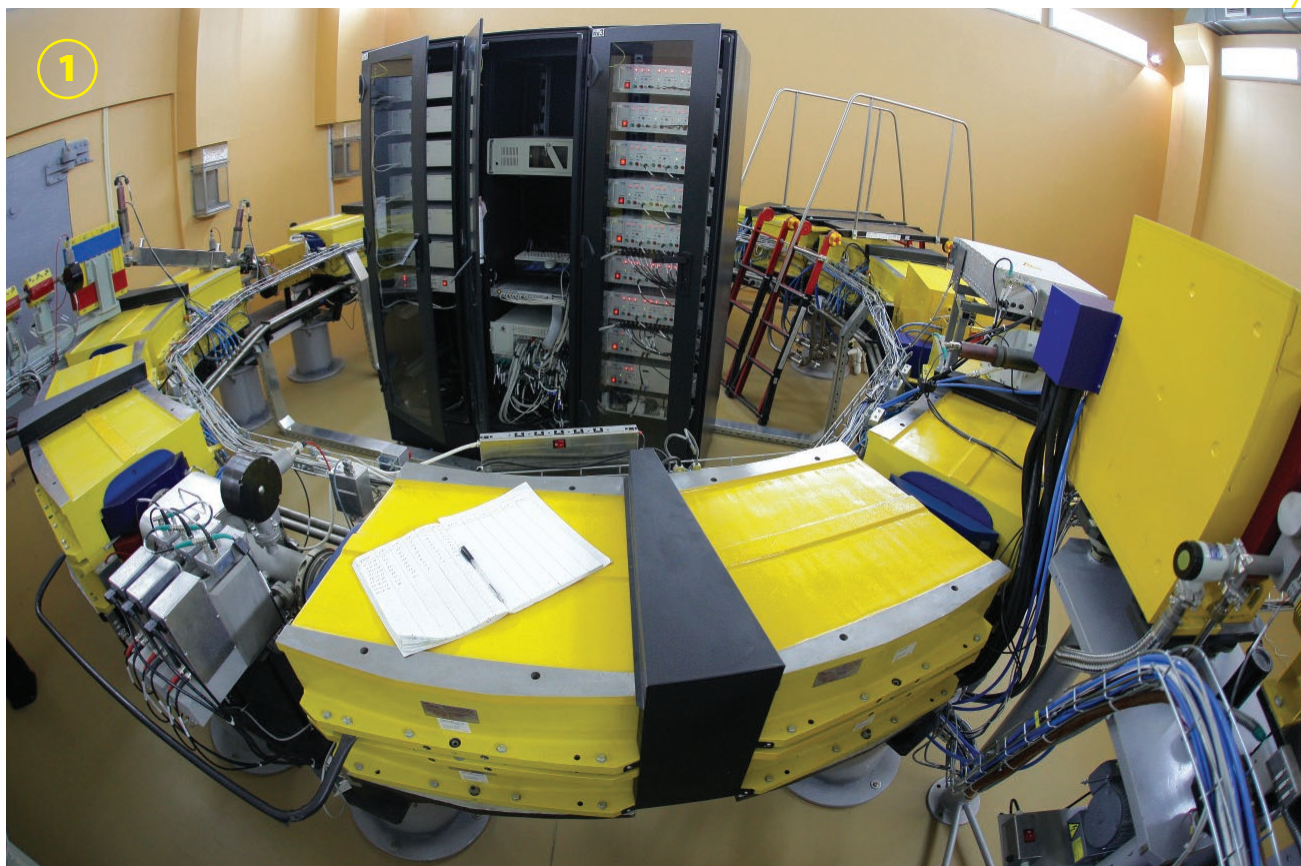
**— Каковы перспективы распространения данного метода лечения?**

— Конечно, невозможно поставить протонный ускоритель и, говоря образно, в открытом поле начать принимать больных. В этом медицинском учреждении должна существовать совершенная клиническая база и должна работать слаженная команда: радиолог, химиотерапевт (клинический фармаколог), онколог-хирург и онколог-терапевт, который занимается данной локализацией. Эта четверка принимает решение о допустимости и эффективности такой терапии.

Как бы ни летел пучок, он должен лететь туда, куда надо, когда надо и столько, сколько надо. Это очень большая ответственность. Поэтому должна



Генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава РФ академик А.Д. Каприн



- 1** Малогабаритный отечественный синхротрон — сердце протонного терапевтического комплекса
- 2** Указатели на территории медицинского радиологического центра
- 3** «А начиналось все с разрухи»: генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России академик А.Д. Каприн демонстрирует фотографию состояния рабочих помещений протонного комплекса до начала модернизации



**4** Новейшие достижения интенсивной терапии воплощены в самом современном реанимационном отделении центра

**5** Так выглядит индивидуальная маска для прецизионной фиксации пациента при проведении сеансов протонной терапии

**6** Российская разработка кресла для позиционирования пациента конструктивно позволяет во время одной укладки проводить и компьютерную томографию, и сеанс облучения протонами



быть четкая планирующая система. Это не творчество отдельных людей, а действительно командный мультидисциплинарный подход, основанный на самых современных представлениях о физике, человеческом организме и лечении тех или иных категорий больных. И поэтому мы очень жестко следуем протоколу о лечении, который обеспечивает и гарантирует безопасность и высокое качество жизни этому пациенту.

Добавим еще дозиметрию и ежедневное обслуживание — то, что для пациента абсолютно незаметно и кажется происходящим само собой. А это огромный коллектив, который в ежечасном режиме обеспечивает работу аппаратуры. Мы тут можем перечислять десятки специальностей людей, которые прямо и косвенно задействованы в лечении пациента. И сказать, что это пять человек или десять, — нет! Весь центр фактически работает на результат, а в нем на сегодня 1740 сотрудников. Вот и считайте...

**— Требуется ли специальная подготовка для врача-радиолога, работающего на протонной установке?**

— Немецкие коллеги, например, говорят, что для протонной терапии надо радиотерапевта учить отдельно. На наш взгляд, это не так, но, конечно, это не может быть и человек «с улицы». Специалист должен дозреть. Как хирург, которому надо вырастить, начиная с простых операций, до сложных. Этот путь можно ускорить, но он не мгновенный. Сегодня у нас, а за рубежом особенно, пока недооценивается человеческий фактор, существует примат техники: вот будет совершенная техника, она все решит. Это не так. Я в свое время был на конференции МАГАТЭ в Вене, где была организована специальная секция лучевых терапевтов, и мне запомнилась фраза: «Сам "Линак" (линейный ускоритель) не лечит». Подразумевалось, что лечит-то врач.

Я начинал работать с такими радиологами, которые еще без всех этих масок, на старых установках добивались минимального количества осложнений. И видел уже радиологов, которые, к сожалению, при высокомоментных машинах не смогли уберечь пациентов от ожогов. То есть от индивидуального мастерства специалистов зависит очень многое.

И все-таки почему мы говорим о жестких протоколах? Это не только протоколы лечения, но и обучение персонала, специальная высококлассная подготовка, дальнейшее повышение квалификации, как это всегда называлось в нашей стране. Любой специалист, какой бы высокой квалификации он ни был, обязан регулярно получать новые знания, изучать новую литературу, общаться со своими коллегами, чтобы повышать и поддерживать свой профессиональный уровень.

**— Пока еще протонная лучевая терапия рассматривается как альтернатива обычной радиотерапии, однако она гораздо более затратна. Вы проводите лечение пациентов в рамках клинического исследования. Станет ли этот метод рутинным? И какой процент онкологических больных в идеале вообще в нем нуждается?**

— Действительно, пока это достаточно редкая и дорогая технология, и надо уметь отбирать те группы пациентов, где будет максимальный эффект. Собственно, чем мы и занимаемся.

Пропускная способность на данный момент — не больше 20 человек в день. Пока мы не вышли на максимальную загрузку, потому что машина находится в режиме отработки. Мы специально отремонтировали учебные классы, потому что собираемся принимать радиотерапевтов на обучение. Людей, которые будут осуществлять дозиметрию, тоже надо учить. У нас, кстати, очень мощная лаборатория дозиметрии, которая может

**В мае 2014 г. вышел приказ Минздрава РФ об объединении нескольких научно-исследовательских институтов в четыре медицинских кластера. Одним из таких кластеров стал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии», в состав которого вошли Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба в Обнинске, старейший онкологический институт в Европе — Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена и Научно-исследовательский институт урологии и интервенционной радиологии им Н.А. Лопаткина.**



определить даже по эмали зуба, какую нагрузку получил человек, находясь в той или иной зоне облучения.

Нельзя говорить, что протонная терапия заменит всю лучевую терапию. По современным консервативным оценкам, 20% всех больных, нуждающихся в лучевом лечении, получают существенный выигрыш при использовании протонной терапии. Для России это означает примерно 50 тыс. больных в год. Но, поскольку до настоящего времени на уровне доказательной медицины не определены локализации, где протонная терапия признавалась бы безальтернативным выбором, каждое государство, исходя из своих финансовых возможностей, формирует собственный перечень новообразований, при которых использование протонной терапии будет оплачено из средств бюджета. Идет этот процесс и у нас. И только от нас — медицинских экспертов — будет зависеть выработка показаний и противопоказаний к используемому методу.

Как я уже говорил, не вызывает сомнений необходимость использования протонов при повторном облучении опухолей, когда толерантность окружающих нормальных тканей значительно снижена. При этом необходимо оценивать величину потенциального выигрыша в продолжительности жизни в зависимости от заболевания. Но, например, вызывает сомнение целесообразность бюджетного финансирования повторного облучения протонами метастазов в мозг или глиобластом.

Если принять во внимание все подобные факторы, с учетом имеющейся в России структуры онкологической заболеваемости минимальную потребность в протонной терапии, которая должна оплачиваться за счет бюджета, можно оценить в 18 тыс. человек. В МРНЦ им. А.Ф. Цыба имеющийся однокабинный протонный комплекс, исходя из уже накопленного опыта, может лечить 400–500 человек в год при эксплуатации в две смены.

Но это сухие цифры, а я хочу обратить внимание на политически важный момент. Что значит купить импортное оборудование? Мы не можем его изменить, усовершенствовать, сделать апгрейд в зависимости от новых задач. В случае с «Прометеусом» — это наша отечественная машина, на которой наши же физики позволяют нам расширить диапазон лечения. Мы ставим перед собой задачу не только квалифицированно и грамотно лечить, но и развивать эту технологию.

Конечно, есть специалисты, которые утверждают, что протонная терапия не так эффективна и не доведена до совершенства. Но самый главный критерий — это результаты лечения. И мы совершенно спокойно и открыто можем смотреть в глаза нашим коллегам, потому что у нас уже есть пациенты, которые пролечены более года назад,

и, естественно, все они находятся под нашим наблюдением. Буквально только что мы вернулись с конгресса в Японии, который был посвящен вопросам протонной терапии, и там представляли результаты нашего лечения. В целом они совпадают с данными всех ведущих центров протонной терапии, которые функционируют уже на протяжении ряда лет. Наши японские коллеги оценили уровень оснащенности нашего центра.

**— Вы упомянули, что международных стандартов для протонной терапии пока не существует. Возможно, это хороший стимул для развития персонализированной онкологии. Ведь необходимо для каждого пациента подбирать индивидуальный протокол?**

— Правильно. Онкология в целом сейчас движется в этом направлении — персонального подхода. Мы начали говорить об индивидуальном лечении. А почему? Потому что нас подгоняют морфологи, с которых все начинается в этой команде. Успехи молекулярно-генетической диагностики последних лет произвели подлинную революцию.

Морфологи говорят: «Не надо стандартов. Некоторые опухоли состоят из гетерогенных клеток, и их много. А есть рентгенорезистентные клетки, которые вообще не поддаются вашему лечению». Кстати, в том числе это работа и профессора нашего центра И.А. Замулаевой, которая доказала, что многие опухолевые клетки устойчивы к лучевой терапии. Мало того, опухоль может состоять из полурезистентных, менее резистентных клеток и т.д. А не нужно ли в таком случае применить, например, комплексную терапию?

Мы уже начали обсуждать необходимость комбинации радиологических методов. Возможно подключение радионуклидов, а может быть бустеров, в том числе и *HIFU*-терапии, бустеров лучевой терапии, усиливающих эффективность лечения. Для этого и создан научно-исследовательский центр радиологии, поэтому здесь работают не только врачи, но и академики и профессура, у которых должно быть креативное мышление и которые должны знать и понимать, что происходит в мировой науке.

**— Мы говорили в основном о лучевой терапии, но в онкологии в последнее время появляется все больше методов и методик — таргетная терапия, иммунотерапия, вакцинотерапия... У каждой при правильном использовании — своя ниша, но ничто не дает стопроцентного результата. Что, по-вашему, дает основания для оптимизма?**

— Повторюсь, нужен индивидуальный подход к пациенту. Сейчас уже нельзя просто лечить рак — мы определяем мутации, генетические особенности, наследственные факторы, отмечаем те виды белков и маркеров, которые сопровождают данное заболевание. Если мы раньше говорили

просто «рак предстательной железы», то теперь мы знаем, что этот рак принимает разнообразные формы: со счетом дифференцировки по Глиссону, с гетерогенностью опухоли, с теми пулами опухолевых клеток, которые представлены. Здесь и находится главная прорывная точка в развитии современной онкологии, которая определяет выбор лечения. Если развивается морфология, значит это естественная подсказка к тому, насколько опухоль будет поддаваться лечению — и какому именно: будет ли опухоль подвержена химиотерапии, насколько будет эффективна лучевая терапия.

Я всегда требую от своих подчиненных, чтобы лечение проводилось под жестким контролем морфолога. Снижаются ли опухолевые маркеры? Уменьшается ли опухоль, есть ли признаки лечебного клеточного патоморфоза? Есть ли признаки реакции опухоли не только на клеточном уровне, но и, например, при подсчете количества циркулирующих опухолевых клеток в крови? Все мы должны это учитывать.

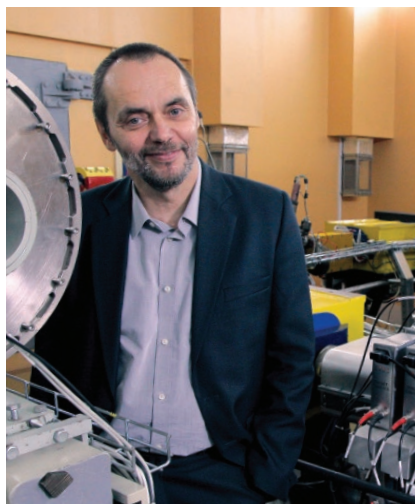
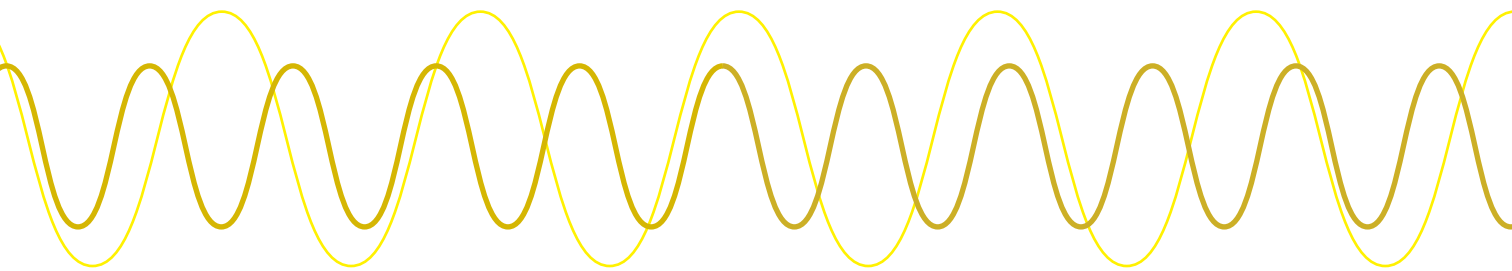
Если говорить о стратегии, то с ростом заболеваемости мы пока ничего сделать не можем, но мы можем — и вполне успешно — бороться со смертностью.

Каждый год среди пожилых людей в России выявляется более 500 тыс. онкологических больных,

а это серьезный демографический показатель. Все-таки в большинстве случаев это болезнь пожилых людей, потому что старение влияет на рост злокачественности. Многие цивилизованные страны научились не только спасать людей, но и, выражаясь медицинским языком, вести их потом в течение многих лет. Мы тоже должны научиться, несмотря на высокие показатели заболеваемости, сокращать уровень смертности, эффективнее выявлять болезнь на ранних стадиях, разрабатывать программы раннего выявления, научить людей ответственно относиться к своему здоровью. Разница между лечением опухоли на первой стадии и тяжелым случаем колоссальна, и, конечно, кто как не мы, врачи, сталкиваемся с этим ежедневно.

Важно понимать, что раньше побочным эффектам лечения уделяли недостаточно внимания. Главной задачей было спасти жизнь. Сегодня ситуация в мире кардинально меняется, меняется она и в нашей стране. Качество жизни пациента во время и после лечения выходит на первый план. Очень важно, как он будет жить дальше, как вернется в общество, станет ли он трудоспособным, сможет ли он приносить пользу. ■

**Беседовала Елена Кокурина**



## **Игорь Александрович Гулидов,**

*доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела лучевой терапии МРНЦ им. А.Ф. Цыба — филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава РФ:*

— Протонную терапию отличают крайне высокая избирательность и минимальная лучевая нагрузка на окружающую опухоль нормальную ткань, что дает существенные преимущества. Кроме того, наш аппарат обладает очень важной отличительной особенностью, новацией — это использование активного сканирующего пучка. Это не просто

лечение единым полем, а постепенное заполнение объема мишени радиоактивной дозой. На цветовом изображении можно увидеть, как распределяется концентрация дозы — от красного (стоцентная нагрузка) до минимальных. Это существенный выигрыш по сравнению с обычно используемой фотонной терапией.

## Комплекс «Прометеус» разработан в наукограде Протвино совместно с обнинскими учеными. Создавшее его предприятие «ПРОТОМ» входит в десятку мировых разработчиков и производителей протонных медицинских комплексов.



### Всеволод Николаевич Галкин,

доктор медицинских наук, профессор, директор МРНЦ им. А.Ф. Цыба — филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава РФ:

— Безусловно, возможность создания такой высокотехнологичной машины стала результатом и симбиозом работы людей многих специальностей. Не секрет, что, к сожалению, нашей промышленности далеко не всегда удается запустить в серию и адаптировать для практических нужд какую-либо аппаратуру. Создаваемые машины — хорошая идея, блестящая реализация, однако не всегда они согласуются с нуждами практики. И вот здесь — тот счастливый случай, когда мастерство, умение и желание всех специалистов сошлись воедино. С одной

стороны, творческий порыв физиков, которые создали эту машину и предложили ряд новаторских идей, с другой — четкая и слаженная совместная работа и биологов, и радиобиологов, и физиков, и, безусловно, специалистов по лучевой терапии, которые вносили свои мысли, изменения. Физики, спасибо им большое, слышали нас. Они подстраивались под нужды практической медицины, учитывали наши пожелания. Это та цепочка от производителя до потребителя, о которой постоянно говорится, но которая, увы, не всегда реализуется.

### Степан Евгеньевич Ульяненко,

руководитель отдела радиационной биофизики, доктор биологических наук:

— Уникальность нашего синхротрона в том, что он очень компактный, всего 5 м в диаметре. В отличие от других, для размещения которых требуются целые отдельные строения, наш спокойно вписался в помещение площадью 7 x 11 м. Конечно, мы должны поблагодарить прежде всего главного конструктора В.Е. Балакина, который со своей командой разработал машину. Специалисты нашего отдела — физики и радиобиологи. Наша задача — правильно рассчитать

для врачей направление, энергию пучка. Более того, как радиобиологи мы должны не просто понимать, что нужно учитывать в системе планирования гетерогенность опухолей, и довести эту технологию до серийного производства. Мы действительно можем сочетать лучшие качества научного центра — ядерную медицину и лучевую терапию. Мы должны не только квалифицированно и грамотно лечить, но и развивать радиобиологию как науку.



ГЕНЕТИКА

# РАЗГАДКА ТАЙ БАС

Выявленные недавно мутации открывают путь к выяснению генетической природы этого заболевания, которое безжалостно уничтожает двигательные нейроны и лишает человека возможности совершать какие бы то ни было движения. Это открытие поможет найти способы борьбы со страшным недугом, долгое время считавшимся неизлечимым

*Эрон Гитлер и Леонард Петручелли*

A

HI



## ОБ АВТОРАХ

**Эрон Гитлер** (Aaron D. Gitler) — генетик, доцент Медицинской школы Стэнфордского университета.



**Леонард Петручелли** (Leonard Petrucelli) — профессор, заведующий отделом нейробиологии Клиники Майо в Джэксонвилле, штат Флорида.



**Б**оковой амиотрофический склероз (БАС) наступает жертву исподволь. Вначале он протекает безболезненно, проявляясь едва заметными симптомами: человек начинает спотыкаться, становится немного неуклюжим, речь утрачивает четкость. Но в конце концов нервные клетки утрачивают способность передавать сигналы от головного мозга мышцам всех органов и тканей. Патология не привлекала к себе особого внимания до тех пор, пока не была диагностирована у легендарного американского бейсболиста, полевого игрока команды *New York Yankees* Лу Герига по прозвищу Железный Конь. За 14 лет спортивной карьеры он не пропустил ни одной игры (2130 матчей). Диагноз был поставлен в июне 1939 г. В прощальной речи на *Yankee Stadium* в Нью-Йорке Гериг назвал свою болезнь «простым невезением», что, конечно, не соответствовало действительности. Она прогрессировала так быстро, что в декабре спортсмен не смог участвовать в процедуре избрания его в Национальную бейсбольную галерею славы, а спустя непродолжительное время оказался прикованным к постели. Умер Гериг в июне 1941 г. в возрасте 37 лет.

Сегодня диагноз БАС поставлен 6 тыс. жителей США (в этой стране болезнь называют по имени спортсмена, ставшего его жертвой). Чаще всего БАС поражает людей в возрасте от 50 до 60 лет, но может начаться и раньше или возникнуть у 80-летних. У заболевших начинают отмирать двигательные нейроны, и, поскольку они отвечают за передачу сигналов от головного мозга через спинной мозг к мышцам, пациенты утрачивают способность совершать какие бы то ни было движения, у них возникают проблемы с речью и даже с глотанием. Обычно высшая нервная

деятельность остается сохранной, и больные БАС обречены до конца жизни наблюдать за разрушением своего организма. Очень скоро они становятся инвалидами-колясочниками, затем — лежачими больными. Неспособные общаться, есть и даже дышать самостоятельно, они погибают от удушья через три-четыре года. Единственный препарат против БАС, одобренный Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (*FDA*), — рилузол, продлевающий жизнь в среднем на три месяца. И нет никакого лечения.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Боковой амиотрофический склероз (БАС) — нейродегенеративное заболевание, известное также под названием «болезнь Лу Герига». Характеризуется поражением нейронов, идущих от головного и спинного мозга к мышцам.
- Применение современных методов секвенирования ДНК позволило установить генетическую основу заболевания. Показано, что мутации в любом из множества специфических генов повышают риск развития БАС.
- Инактивация целевых генов с помощью синтетических антисмысловых олигонуклеотидов — один из способов борьбы с некоторыми формами БАС. Отслеживание хода патологического процесса поможет диагностировать заболевание на начальной стадии и разработать новые подходы к борьбе с ним.

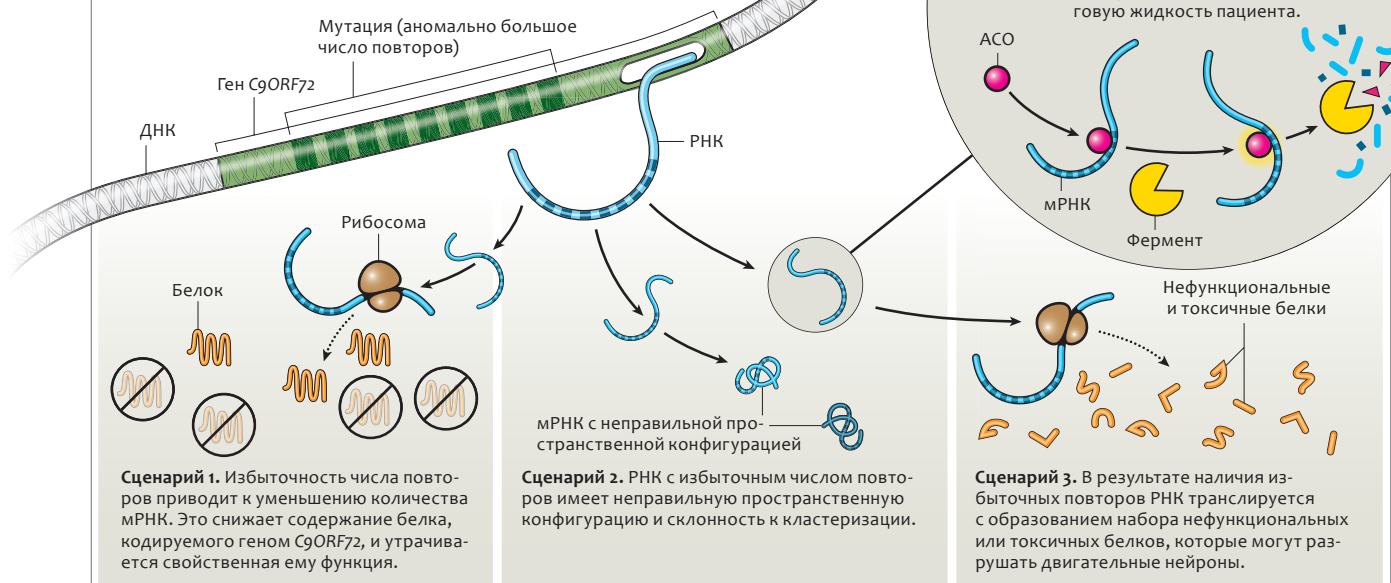
НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ

# Генетические основы БАС

Как показали недавние исследования, за большинство случаев заболевания наследственной формой БАС и некоторые случаи спорадической отвечает увеличение числа специфических повторов в участке ДНК, локализованном в хромосоме 9. Пока генетики занимались выяснением того, как именно мутации приводят к заболеванию, фармакологи проводили тестирование синтетических антисмысловых олигонуклеотидов (АСО) на их способность инактивировать мутантные гены.

## Три возможных сценария

Мутации локализованы в гене C9ORF72, в пределах 72-й открытой рамки считывания хромосомы 9. Синтез aberrантной мРНК, транскрибируемой с этого гена, может привести к повреждению двигательных нейронов тремя путями.



**Сценарий 1.** Избыточность числа повторов приводит к уменьшению количества мРНК. Это снижает содержание белка, кодируемого геном C9ORF72, и утрачивается свойственная ему функция.

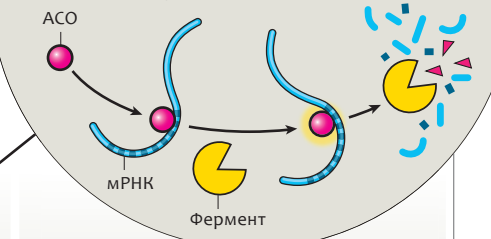
**Сценарий 2.** РНК с избыточным числом повторов имеет неправильную пространственную конфигурацию и склонность к кластеризации.

**Сценарий 3.** В результате наличия избыточных повторов РНК транскрибируется с образованием набора нефункциональных или токсичных белков, которые могут разрушать двигательные нейроны.



## Предотвращение губительного действия мутации

Молекула АСО проникает в клетку и связывается с мРНК, транскрибированную с мутантного гена. Этот маркер распознается одним из клеточных ферментов, который расщепляет мРНК. Цель планируемых клинических испытаний — оценка эффективности такого терапевтического подхода. Для этого АСО предполагается ввести в спинномозговую жидкость пациента.



Впервые это заболевание описал французский невролог Жан-Мартин Шарко (Jean-Martin Charcot) в 1869 г. Представление о том, в чем оно заключается, дает само его название. «Амиотрофический» в переводе с греческого обозначает отсутствие питания для мышц. Слово «боковой» указывает на область спинного мозга, в которой находятся участки погибших клеток. С дегенерацией данной области происходит ее уплотнение: «склероз» как раз и означает «затвердевание». Несмотря на недвусмысленное описание патологии, данное Шарко, БАС во всей его сложности оставался для медиков загадкой. Заболевание почти неизбежно заканчивается смертью больного, однако примерно 10% пациентов живут более десяти лет, а единицы — еще дольше. Причина этого феномена неясна. Среди таких «долгожителей» — знаменитый физик-теоретик Стивен Хокинг (Stephen Hawking), который болен уже более 50 лет. По имеющимся данным, средовые факторы играют незначительную роль в запуске процесса, возможно, лишь повышая склонность к заболеванию у тех, кто к нему генетически предрасположен. Самое загадочное состоит в том, что болезнь имеет в основном

спорадический характер. Генетическая обусловленность проявляется лишь в 10% случаев, и тогда болезнь передается от поколения к поколению.

За последнее десятилетие благодаря появлению новых методов секвенирования ДНК достигнуты ощутимые успехи в выяснении биологической природы БАС. Как показывают недавние исследования, подверженность этому заболеванию может обуславливаться многими генами, действующими независимо один от другого или совместно. Специфические мутации сопряжены с почти 70% случаев наследственной формы БАС и примерно с 10% спорадической. Огромный массив новых генетических данных открывает дорогу к разработке более эффективных методов терапии. При некоторых формах БАС представляется возможным исключение специфических генов с помощью двух препаратов, действующих на разные мишени. В этом году предполагается проведение клинических испытаний указанного подхода. Тем временем идут поиски биомаркеров (это могут быть какие-то вещества в физиологических жидкостях тела или проявление электрической активности в головном мозге), важных для ранней диагностики заболевания

Illustration by Jen Christensen

и отслеживания его течения. Кроме того, это поможет разработке новых методов терапии.

### Первые генетические данные

На долю больных наследственной формой БАС, большинство которых с 50-процентной вероятностью передадут эту патологию потомкам, приходится лишь малая часть общего числа страдающих этим недугом, но изучение именно подобных случаев может создать предпосылки к выяснению генетической природы заболевания. Впервые свидетельства его связи с генетикой появились в 1993 г., когда была выявлена мутация в гене *SOD1* у примерно 20% больных наследственной формой БАС. Этот ген кодирует фермент под названием супероксид-дисмутаза, который участвует в превращении высокореакционноспособных свободных радикалов в менее опасные формы.

Вначале исследователи полагали, что мутация в гене *SOD1* ослабляет антиоксидантную активность фермента и таким образом «развязывает руки» свободным радикалам, позволив им беспрепятственно разрушать двигательные нейроны. Четверть века спустя, однако, мы убедились, что эта гипотеза неверна. Обнаружилось, что мутация скорее всего приводит к тому, что фермент приобретает несвойственные ему деструктивные функции.

В частности, он опосредует изменение конформации неких нейронных белков. Аутопсия умерших больных БАС выявила характерную, одинаковую у всех патологию: кластеры белков в двигательных нейронах. Для оптимального функционирования этих нейронов внутриклеточные белки должны эффективно метаболизироваться; у больных БАС система их метаболизма нарушена. Все белки, в том числе и ферменты, могут функционировать только в том случае, когда они имеют правильную трехмерную структуру. Обнаружилось, что мутации приводят к неправильной укладке белковых молекул и их кластеризации. Клетки помечают такие белки убиквитином, молекулярным маркером, посылающим сигнал о том, что их нужно элиминировать. Когда «очистительная система» оказывается перегруженной, они заполняются «мусором». У людей с некоторыми формами БАС двигательные нейроны забиты aberrантными белками *SOD1*, мечеными убиквитином.



**Видео «испытания ведром ледяной воды».** Этой «эxecуции» подверглись миллионы добровольцев, в том числе участник соревнований «Формула-1» Даниэль Риккардо. Акция привлекла внимание общества к проблеме помощи больным БАС и помогла собрать внушительную сумму денег.

формой БАС. Основной вывод, который следовал из такой работы, состоял в следующем: изменения в белковой молекуле, связывающейся с мРНК, могут лежать в основе БАС. Впоследствии было выявлено еще несколько БАС-ассоциированных генов, которые кодируют белки, участвующие в регуляции работы РНК. В последние годы открытие опосредующих развитие БАС генов приобрело взрывной характер: ежегодно их число увеличивается на один-два. Но по-настоящему революционное открытие было впереди.

### Безумное число повторов

К такому заключению привели результаты обследования нескольких семей с наследственной формой БАС. В 2011 г. две группы ученых независимо одна от другой сообщили об идентификации особого типа мутации в гене *C9ORF72*, расположенном в хромосоме 9. У здоровых людей этот ген содержит короткую нуклеотидную последовательность GGGGCC, которая повторяется 23 раза. У пациентов с мутацией в нем последовательность повторяется сотни, а иногда тысячи раз.

В ходе дальнейших исследований выяснилось, что избыточность повторов отвечает за 40–50% случаев наследственного БАС и за 5–10% спорадического. Интересно, что существует генетическая связь между БАС и другим заболеванием — одной



из форм деменции под названием «лобно-височная дегенерация» (*FTD*). Это состояние характеризуется изменением личности и затруднением принятия решений. Мутация в гене *C9ORF72* может привести к развитию БАС или *FTD*, либо того и другого (БАС-*FTD*). Такая двойственность наводит на мысль, что обе патологии представляют собой часть целого спектра сходных состояний, но каким образом мутации в одном гене могут отвечать за столь разные симптомы — неясно.

В поле зрения исследователей — три механизма на клеточном уровне, которые могли бы объяснить, как мутации в этом загадочном гене приводят к БАС. Избыток повторов может повлиять на процесс транскрипции — синтез мРНК и, следовательно, на трансляцию последней с образованием *C9ORF72*-белка. Уменьшение количества белка приводит к снижению эффективности его работы (заметим, впрочем, что функция *C9ORF72* до сих пор не установлена). Далее, возможно, увеличение числа повторов отрицательно сказывается на самой РНК: ее молекулы кластеризуются в ядре нейрона и образуют что-то вроде воронки, в которую втягиваются связывающиеся с РНК белки, лишаясь возможности выполнять свои обычные функции. И, наконец, в результате беспрецедентного расширения участка ДНК с повторами могут образовываться низкомолекулярные, нефункциональные или токсичные белки.

Сегодня преобладает точка зрения, согласно которой мутации в гене *C9ORF72* приводят к развитию БАС преимущественно по последнему из трех механизмов, хотя вклад в патологический процесс кластеризации РНК тоже не отвергается. Впрочем, все это не так уж важно: в любом случае терапия должна быть направлена на блокирование синтеза как РНК, так и белков, кодируемых мутантным геном.

### Спасительные антисмысловые олигонуклеотиды

Один из наиболее перспективных подходов к борьбе с нейродегенеративными заболеваниями основан на применении так называемых антисмысловых олигонуклеотидов (АСО). Эти синтетические молекулы связываются с мРНК, синтезируемой на целевом гене, что приводит к активации некоего фермента, разрушающего гибриды мРНК-АСО. Антисмысловые олигонуклеотиды могут опосредовать избирательное расщепление РНК, синтезируемых на любом мутантном гене. Как показали опыты на грызунах, несущих мутантный ген *C9ORF72*, синтетические антисмысловые олигонуклеотиды, направленные на разрушение мРНК-кластеров в двигательных нейронах, могут инициировать также разрушение кластеров соответствующих aberrантных белков и препятствовать образованию новых белковых кластеров.

Ожидается, что клинические испытания препаратов на основе антисмысловых олигонуклеотидов,

нацеленных на мутантные *C9ORF72*-гены, начнутся в этом году. Уже сконструирован АСО для терапии наследственной формы БАС, обусловленной мутацией в гене *SOD1*. Предварительные результаты пробных клинических испытаний свидетельствуют о том, что введение препарата в спинномозговую жидкость не опасно для пациента. Выбор места инъекции объясняется тем, что в этом случае лекарственное вещество распространяется по всему спинному и головному мозгу и затем достигает своей цели — двигательных нейронов.

Результативность АСО-терапии при лечении пациентов с другим нейродегенеративным заболеванием, спинальной мышечной атрофией, дает некоторые основания для оптимизма. Дети с такой наследственной патологией (она сходна с БАС) редко доживают до трех лет. Два недавних клинических испытания на детях с применением одного из антисмысловых олигонуклеотидов, мишенью которого выступает ген, ответственный за синтез aberrантной мРНК, дали столь впечатляющие результаты, что в декабре 2016 г. *FDA* дала разрешение на применение АСО-терапии.

### Спорадическая форма БАС

Первый и самый трудный шаг на пути к поиску способа борьбы со спорадической формой БАС — идентификация мутаций, обуславливающих предрасположенность к данной патологии. В настоящее время проводятся широкомасштабный сбор образцов ДНК больных БАС и их анализ.

Для решения этой задачи генетики создали микрочипы, позволяющие проводить так называемый полногеномный поиск ассоциаций (*GWAS*), позволяющий относительно просто сравнивать геномы здоровых людей и людей с БАС. Детальному исследованию подвергаются сегменты ДНК с высокой степенью однонуклеотидного полиморфизма, в которых один из нуклеотидов может различаться у разных людей. *GWAS* — коррелятивный метод, не дающий ответа на вопрос, с какими именно геномными вариантами связан БАС, но он позволяет идентифицировать участки, которые подлежат дальнейшему, более детальному изучению. Несколько недавних международных исследований, охвативших более 10 тыс. больных БАС и более 20 тыс. здоровых людей, выявили целый ряд геномных различий, которые стали предметом изучения. Новые технологии ускорили процесс получения генетических данных: теперь геном одного человека можно секвенировать за один день, и это обойдется в сумму менее \$1 тыс. Еще меньше времени займет секвенирование не всего генома, а только экзонов — сегментов ДНК, кодирующих белки.

Как только будет составлен исчерпывающий каталог генных вариантов, обуславливающих предрасположенность к БАС, можно будет полностью

воссоздать сложный путь, по которому соответствующие мутации повышают риск развития БАС. Для этого нужно будет исследовать, как взаимодействуют друг с другом различные гены и могут ли разнообразные мутантные гены быть причастны к развитию некоторых форм БАС. Кроме того, имеет смысл рассмотреть средовые факторы: возможно, некоторые из них способны запустить патологический процесс. Недавние исследования наводят на мысль, что БАС связан с активацией ретровирусной ДНК, давным-давно встроившейся в геном человека и находящейся в «спящем» состоянии. Может оказаться, что в некоторых случаях эта ДНК перемещается от нейрона к нейрону, вызывая в них повреждения, провоцирующие развитие БАС.

### Новые идеи

Все большее число исследователей указывают на то, что к повреждениям в двигательных нейронах причастны прилегающие к ним глиальные клетки, которые в норме поддерживают структуру нейронов и питают их. Результаты недавних опытов на мышах, несущих мутацию в гене *SOD1*, стали сенсацией. Инактивация мутантного гена в глиальных клетках увеличивала продолжительность жизни животных, несмотря на присутствие токсичного белка *SOD1* в их двигательных нейронах. По-видимому, взаимодействие двигательных нейронов с глиальными клетками помогает контролировать прогрессирование заболевания. Глиальные клетки могут влиять на патологический процесс с помощью продуцируемого ими токсичного фактора; впрочем, природа этого фактора и механизм его действия пока неизвестны. Как только они будут установлены, можно будет блокировать передачу губительного сигнала двигательным нейронам, что замедлит прогрессирование БАС или даже остановит его.

На фоне роста заболеваемости БАС биологи пытаются идентифицировать биомаркеры, которые способствовали бы ранней диагностике патологии и отслеживанию ее прогрессирования. Это могут быть аберрантные белки, которые образуются вследствие увеличения числа специфических повторов в ДНК. В марте этого года один из нас (Леонард Петручелли) сообщил об обнаружении таких белков в спинномозговой жидкости больных БАС и БАС-*FTD*, а также у бессимптомных носителей соответствующих генов. Другой подход к поиску биомаркеров основан на применении методов визуализации для выявления скоплений белка *TDP-43*, которые появляются у больных БАС еще до того, как началась дегенерация нейронов. Все эти биомаркеры могут найти применение и во время клинических испытаний терапевтических подходов к лечению больных БАС.

Прогресс в области геномики и идентификация новых биомаркеров приблизят наступление эры

прецизионной терапии применительно к БАС. В ближайшее время все пациенты будут разделены на группы в зависимости от форм БАС и получат оптимальное лечение или превентивную поддержку.

### Сила соцсетей

Прогрессу в исследованиях БАС за последние десять лет во многом способствовала готовность больных предоставлять пробы своей ДНК для анализа. Сами они и члены их семей своими действиями способствовали привлечению внимания общества к проблемам БАС и созданию фондов поддержки научных разработок и больных, используя для этого всю мощь социальных сетей.

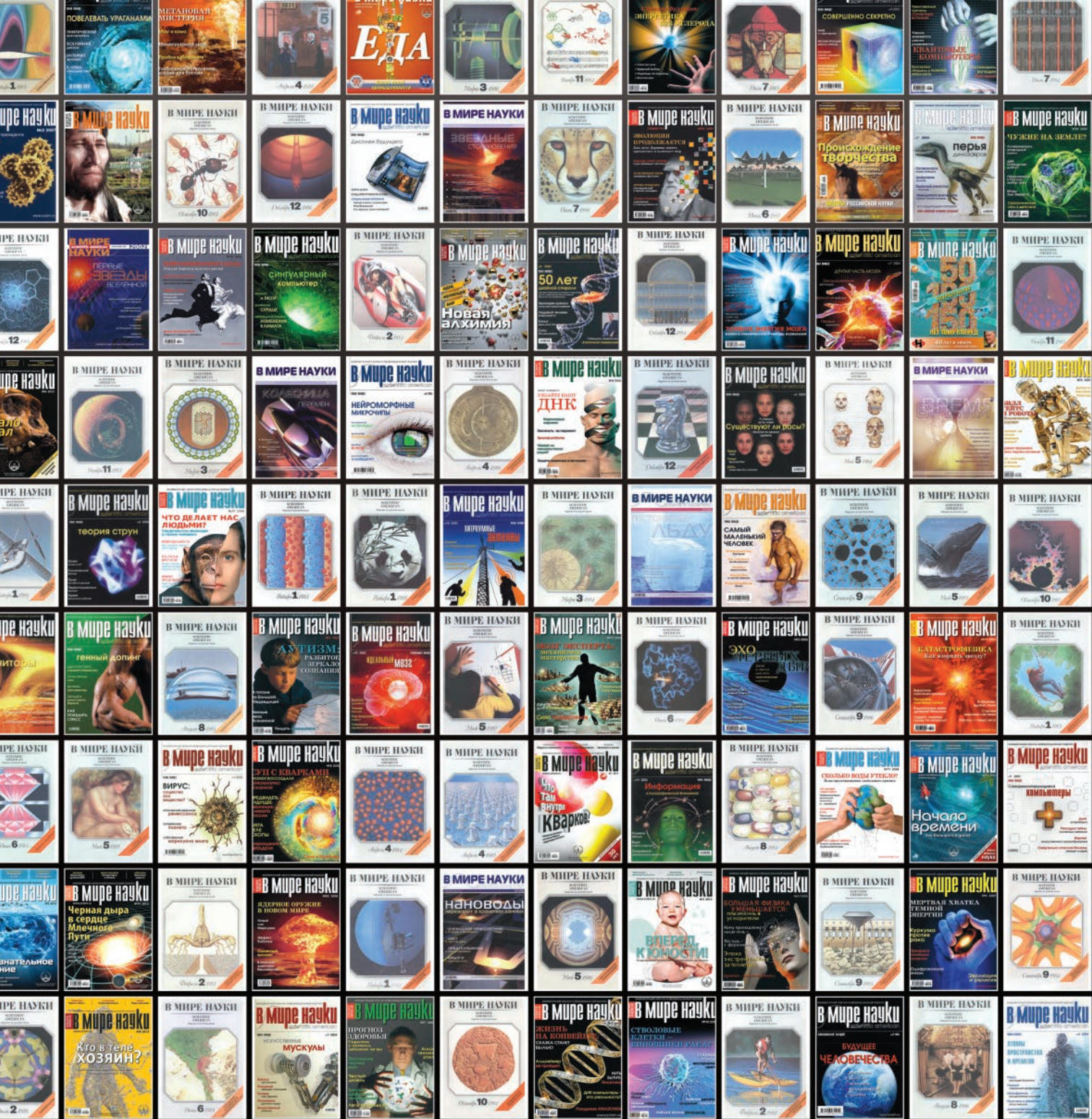
В 2014 г. бывший капитан бейсбольной команды Бостонского колледжа Пит Фрейтс (Pete Frates), которому два года назад, в возрасте 27 лет, был поставлен роковой диагноз, разместил в *Facebook* ролик, демонстрирующий «испытание ведром ледяной воды»; в ролике предлагалось проделать то же самое всем, кто желает внести свои средства в фонд БАС-ассоциации. К кампании тут же присоединились многие знаменитости — Марк Цукерберг, Билл Гейтс, Опра Уинфри, Леонардо Ди Каприо, Леброн Джеймс и другие. За восемь недель в *Facebook* было размещено более 17 млн видео с участием добровольцев, принимающих ледяной душ. Было собрано более \$115 млн, из которых 67% предназначались для финансирования научных разработок, 20% были распределены между больными и службами помощи и 9% направлены на образовательные цели.

БАС — мучительное заболевание, не оставляющее жертве никакой надежды. До того момента, когда Гериг произнес свою знаменитую речь на *Yankee Stadium* и весть о его диагнозе облетела все уголки страны, большинство пациентов с такой же патологией страдали в неизвестности. Но сегодня внимание к этой проблеме приобретает небывалые масштабы, отчасти благодаря таким людям, как Фрейтс. Развернутая им кампания оживила работу БАС-ассоциации, ее годовой бюджет ежегодно увеличивается втрое. Научное сообщество надеется, что подобный всплеск интереса повлечет за собой ускорение прогресса в понимании патогенеза БАС и создание новых подходов к поимке этого коварного убийцы. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Абишер П., Като Э. Болезнь Лу Герига: есть ли спасение? // *ВМН*, № 2, 2008.
- State of Play in Amyotrophic Lateral Sclerosis Genetics. Alan E. Renton, Adriano Chiò and Bryan J. Traynor in *Nature Neuroscience*, Vol. 17, No. 1, pages 17–23; January 2014.



## Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала  
«В мире науки» — на сайте издания  
по адресу: [www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)

**В мире науки**  
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить  
и отдельные статьи



МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

# МАШИНА, БУДЬ ЧЕЛОВЕКОМ!



Искусственный интеллект переживает второе рождение: теперь его создают на основе информации о том, как учатся дети

Элисон Гонник



## ОБ АВТОРЕ

Элисон Гопник (Alison Gopnik) — профессор психологии и философии в Калифорнийском университете в Беркли, изучает проблемы познания ребенком окружающего мира.



Если вы проводите много времени с детьми, то, наверное, вам доводилось удивляться, как эти маленькие человечки могут так быстро столько всего выучить. Философы, начиная еще с Платона, тоже задумывались над этим вопросом, но так и не нашли подходящего ответа. Мой пятилетний внук Оджи уже умеет пользоваться часами, знает названия растений и зверей, не говоря о динозаврах и космических кораблях. Кроме того, он понимает, чего хотят другие люди, что они думают и чувствуют. Он может использовать свои знания для систематизации всего, что он видит и слышит, и строить на их основе новые прогнозы. Например, на днях он заявил, что недавно открытый новый вид тираннозавра, которого показывали в Американском музее естественной истории, был травоядным, и поэтому он не страшный.

При этом все, что получил Оджи от окружающего мира, — это поток фотонов, падающих на сетчатку, и колебания воздуха, контактирующие с его барабанной перепонкой. Нейронный компьютер, находящийся позади его голубых глаз, работает таким образом, что, получив эту ограниченную информацию от органов чувств, выдает предположение о растительноядном тираннозавре. Сможет ли электронный компьютер делать так же — пока не понятно.

В течение последних примерно 15 лет программисты и психологи пытались в этом разобраться. Дети приобретают огромное количество знаний почти без помощи родителей и учителей. И, несмотря на огромные успехи в области искусственного интеллекта, даже самые мощные компьютеры не могут обучаться так же хорошо, как пятилетний мальчик.

Основная задача программистов на ближайшие десятилетия — понять, как на самом деле работает мозг ребенка, и создать столь же эффективную

электронную версию. Сейчас они уже начинают разрабатывать искусственный интеллект на основе того, что нам известно о механизмах обучения у людей.

### Подняться вверх

После первого всплеска в 1950–1960-х гг. в последующие десятилетия интерес к искусственному интеллекту ослаб. Однако за последние несколько лет произошло несколько крупных открытий, особенно в области машинного обучения, и теперь искусственный интеллект стал одной из актуальнейших тем в технологии. О последствиях этих открытий появилось много утопических и апокалиптических прогнозов. Они буквально предвещали бессмертие или конец света, и про обе эти возможности было много написано.

Я подозреваю, что развитие искусственного интеллекта порождает такие сильные чувства из-за нашего глубинного страха перед «почти человеком». Мысль, что некоторые создания, будь

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Как маленькие дети приобретают свои знания? Этот вопрос уже давно волнует философов и психологов, а теперь им заинтересовались и программисты.
- Специалисты в области искусственного интеллекта изучают умственные способности дошкольников, чтобы разработать способы научить машину познавать мир.
- Две разных стратегии машинного обучения, основанные на попытках скопировать естественные способности детей, изменяют подход к разработке искусственного интеллекта.

ПРОТИВОПОЛОЖНЫЕ СТРАТЕГИИ

## Два пути к возрождению искусственного интеллекта

Проблемы, которые среднестатистический пятилетний ребенок решает без затруднений, могут поставить в тупик даже самые мощные компьютеры. Искусственный интеллект в последние годы сделал резкий рывок, и компьютеры могут узнавать информацию о мире примерно так же, как и дети. Машина распознает букву «А» из необработанной сенсорной информации (восходящий подход) или делает предположения на основе существующих знаний (нисходящий подход).

### Восходящий подход (глубинное обучение)

Примеры с буквой «А» учат компьютер различать комбинации светлых и темных точек в разных вариантах написания. Затем, когда машина получает новый входной сигнал, она проверяет, какой комбинации из примеров соответствуют полученные данные, подтверждая, что получена буква — «А». Глубинное обучение — более сложный вариант этого подхода.

Информация на выходе: пиксель за пикселем получающаяся картинка похожа на тренировочный набор данных, следовательно, это «А»

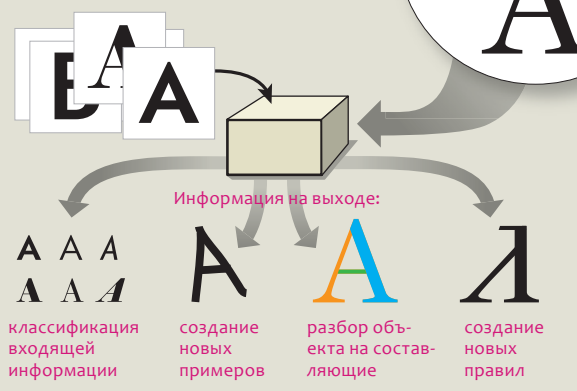


### Нисходящий подход (байесовские методы)

При использовании байесовских методов достаточно одного примера буквы «А», чтобы распознавать похожие образцы. Из собственного набора «частей» машина выстраивает модель буквы, собирая фигуру, состоящую из острого угла и перекладки, которая соединяет его стороны. Получается модель «А», которую можно использовать для узнавания немного разных вариантов написания или изменять разными способами.

Системе достаточно иметь один пример нового понятия, чтобы на выходе выполнить ряд задач

Информация на входе



то средневековый голем, чудовище Франкенштейна или сексуальная Ава, роковая женщина-робот из фильма «Из машины» (*Ex Machina*), могут заполнить брешь между человеческим и искусственным, всегда вызывала большую тревогу.

Но действительно ли компьютеры обучаются лучше, чем люди? Насколько эти жаркие споры отражают истинно революционные достижения? Или это просто шум на пустом месте? На первый взгляд, трудно разобраться в том, как компьютеры распознают, скажем, кошек, произнесенные слова или японские иероглифы. Однако при ближайшем рассмотрении основные идеи, лежащие в основе машинного обучения, оказываются вовсе не такими сложными.

При первом подходе все начинается с тех же фотонов и колебаний воздуха, которые воспринимает Одж и все мы, — эта информация попадает в компьютер в виде точек цифрового изображения или аудиозаписи звука. Затем в этих цифровых данных компьютер пытается выделить ряд элементов, которые можно объединить и идентифицировать как единый объект окружающего мира. Этот восходящий подход произрастает из идей философов Дэвида Юма и Джона Стюарта Милля, психологов Ивана Петровича Павлова, Берреса Фредерика Скиннера и других.

В 1980-х гг. ученые придумали оригинальный способ использования этого восходящего метода, позволивший компьютерам находить значащие закономерности в данных. Эта коннекционная система, она же нейронная сеть, основывалась на принципах работы нейронов, превращающих падающий на сетчатку свет в образ окружающего мира. Нейронная сеть делает нечто похожее. В ней используются взаимосвязанные элементы, подобные биологическим клеткам, и точки с нижнего уровня сети по мере обработки данных на более высоких уровнях превращаются во все более и более абстрактный образ, такой как нос или целое лицо.

Идея нейронной сети недавно пережила переорождение в связи с появлением новой технологии глубинного обучения, которая сейчас используется в коммерческих целях такими крупнейшими предприятиями, как, например, *Google* или *Facebook*. Кроме того, нынешняя популярность таких систем частично связана и с постоянно растущей мощностью компьютеров — это явление известно как закон Мура. Таким образом, можно создать очень большие массивы данных. С лучшими вычислительными возможностями и с огромным объемом данных для обработки нейросетевые системы могут обучаться значительно более эффективно, чем мы могли когда-то предполагать.

SOURCE: "HUMAN-LEVEL CONCEPT LEARNING THROUGH PROBABILISTIC PROGRAM INDUCTION" BY BRENDEN M. LAKE, RUSLAN SALAKHUTDINOV AND JOSHIAB. TENENBAUM, IN SCIENCE, VOL. 351, DECEMBER 11, 2015 (Bayesian example), illustration by Jen Christensen

Все эти годы создатели искусственного интеллекта колебались между этим восходящим алгоритмом машинного обучения и альтернативным нисходящим подходом. Нисходящий метод использует то, что машина уже знает, чтобы помочь ей выучить что-то новое. Платон, а также философы-рационалисты, такие как Рене Декарт, были приверженцами нисходящего подхода в обучении. И это сыграло важную роль в первых системах искусственного интеллекта. В 2000-х гг. этот принцип также пережил второе рождение в виде вероятностного, или байесовского, моделирования.

При нисходящем подходе работа начинается с того, что формулируются абстрактные и широкие гипотезы о мире, точно так же как делают ученые. Затем система строит прогнозы, как будут выглядеть данные, если верны ее гипотезы. Как и ученые, такие системы пересматривают свои гипотезы в зависимости от наблюдаемого результата.

### Нигерия, виагра и спам

Восходящий метод, вероятно, более понятен, поэтому давайте начнем с него. Представьте, что вы пытаетесь добиться, чтобы компьютер отличал важные сообщения от спама, который попадает в папку «Входящие». Можно заметить, что спам имеет определенные отличительные черты: большой список адресатов, отправлено из Нигерии или Болгарии, предлагается получить приз в миллион долларов или, возможно, в нем говорится о виагре. Однако полезные письма могут выглядеть так же. Вы же не хотите пропустить сообщение о повышении в должности или получении научной премии.

Если вы сравните достаточное число образцов спама с другими электронными письмами, то заметите, что только в спаме можно встретить ряд признаков, скомбинированных определенным образом. Например, сочетание Нигерии и сообщения о выигрывании приза в \$1 млн предвещает неприятности. На самом деле есть довольно много признаков более высокого уровня, отличающих спам от полезных сообщений, которые не так очевидны, — например, опечатки или IP-адреса. Если вы сумеете выделить их, то сможете точно отфильтровать спам без всякой боязни пропустить сообщение о доставке вашей виагры.

Восходящий подход в машинном обучении позволяет выявлять значимые признаки, чтобы решать задачи такого типа. Для этого нейронная сеть должна пройти процесс самообучения. Она изучает миллионы сообщений из огромных баз данных, где каждое письмо помечено как спам или как обычное письмо. Затем компьютер вычленяет набор идентифицирующих признаков, которые отделяют спам от всего остального.

Аналогичным способом сеть может проверить изображения из интернета, помеченные как «кошка», «дом», «стегозавр» и т.д. Находя общие особенности

в каждом наборе изображений, то, что отличает всех кошек от всех собак, сеть затем может узнавать новые изображения кошек, даже если она никогда не видела их раньше.

Один такой восходящий метод называется неконтролируемым обучением, пока он еще только начинает развиваться, но уже может находить разные образы в наборе данных, которые никак не помечены. Он просто выявляет совокупность свойств, характерных для данного объекта: например, носы и глаза всегда находятся вместе, образуя лицо, и отличаются от гор и деревьев на заднем плане. В современных технологиях глубокого обучения выявление объектов происходит за счет разделения задач распознавания между разными уровнями нейронной сети.

В статье, опубликованной в журнале *Nature* в 2015 г., показано, как далеко может продвинуться технология, использующая восходящий подход. Исследователи из компании *DeepMind*, принадлежащей *Google*, применили комбинацию из двух вариантов восходящего подхода (глубинное и стимулированное обучение), чтобы компьютер мог освоить видеоигры на приставке *Atari 2600*. Изначально компьютер ничего не знал о том, как устроены эти игры. Алгоритм глубокого обучения помог системе выделить объекты на экране, а алгоритм стимулированного обучения подкреплял лучшие результаты. В итоге компьютеры достигли высокого уровня прохождения некоторых игр, а в отдельных случаях делали это лучше, чем самые опытные люди-игроки. С другой стороны, в ряде игр, которые человек осваивает так же легко, компьютеры потерпели неудачу.

Возможность обучать искусственный интеллект на огромных выборках, таких как миллионы фотографий *Instagram*, электронных писем или записей голоса, позволяет решить задачи, которые раньше считались недоступными, например, распознавание изображений или речи. И все же надо помнить, что у моего внука нет никаких проблем с тем, чтобы узнать животное или ответить на вопрос, даже при том что у него выборка для обучения была гораздо меньше. Некоторые задачи, элементарные для пятилетнего ребенка, ставят в тупик компьютер — оказалось, что для машины они значительно сложнее, чем научиться играть в шахматы.

Компьютеру, чтобы обучиться распознавать мохнатые и усатые лица, часто нужны миллионы примеров упорядоченных объектов, в то время как нам для классификации достаточно лишь нескольких. После интенсивного обучения компьютер может узнать кошку на изображении, которое он никогда не видел. Однако то, как он это делает, совершенно не похоже на процесс обобщения у человека. И, поскольку программа «рассуждает» по-другому, появляются ошибки. Некоторые изображения кошек не будут отмечены как кошки. Кроме



того, компьютер может неверно увидеть на изображении кошку в случайном пятне, которое никогда не обманет человека.

### Спуститься вниз

Другой подход к машинному обучению, изменивший искусственный интеллект в последние годы, ориентирован в ином направлении — «сверху вниз». Он предполагает, что мы можем получить общую информацию из конкретных данных, потому что мы уже знаем многое о мире, а особенно потому, что наш мозг уже способен понимать основные абстрактные понятия. Как и ученые, мы можем использовать эти понятия для формулировки гипотез о мире и составления прогнозов, каковы должны быть факты или события, если наши гипотезы верны. Это прямо противоположно восходящему подходу, когда машина пытается найти какую-либо закономерность в исходных данных.

Эту идею можно проиллюстрировать вновь примером из спама, рассмотрев реальный случай, произошедший со мной. Я получила электронное письмо от редактора журнала с непонятным названием с упоминанием одной из моих работ и просьбой написать статью и опубликовать ее у них. Никакой Нигерии, миллиона долларов или виагры — это сообщение не содержало ничего из обычных признаков спама. Однако с помощью того, что я уже знала, и отвлеченных рассуждений о процессе возникновения спама я смогла понять, что это подозрительное письмо.

Во-первых, я уже знала, что спамеры пытаются получить деньги от людей, играя на их жадности, а ученые так же жаждут публикаций, как обычные люди выигрыша в миллион долларов или улучшенных сексуальных способностей. Еще я знала, что настоящие журналы с открытым доступом покрывают свои издержки за счет авторов, а не подписчиков. Кроме того, моя работа не имела ничего общего с названием этого журнала. Сложив все вместе, я выдвинула правдоподобную гипотезу, что это письмо пытается обмануть ученых, чтобы они заплатили за свою публикацию в этом лже-журнале. Я могу прийти к такому выводу на единственном примере, и я могу протестировать свою гипотезу, проверив добросовестность издателя через поисковые системы.

Специалисты по информатике назвали бы мои рассуждения порождающей моделью, которая способна представить такие абстрактные понятия, как жадность и обман. Эта же модель может описать процесс, который использовался для придумывания гипотезы, процесс рассуждения, приведший к выводу, что это письмо было спамом. Этот прием позволяет мне объяснить, как работает этот тип спама, а также помогает вообразить другие формы спама, даже такие, про которые я ничего не видела и не слышала раньше. Когда я получаю

письмо от журнала, эта модель позволяет пройти шаг за шагом в обратном порядке и понять, почему это должно быть спамом.

Порождающие модели имели большое значение во время первой волны работ по искусственному интеллекту и когнитивной науке в 1950–1960-х гг. Однако у них есть недостатки. Во-первых, большинство наблюдаемых явлений может, в принципе, объясняться многими различными гипотезами. В моем случае это письмо могло быть на самом деле честным, даже если это кажется маловероятным. Таким образом, порождающая модель должна включать в себя предположения о вероятности, и это наиболее важное усовершенствование последнего времени в таких методах. Во-вторых, часто бывает непонятно, откуда берутся базовые абстрактные понятия, на которых строится порождающая модель. Такие мыслители, как Рене Декарт и Ноам Хомский, полагали, что эти понятия твердо закреплены у нас уже при рождении. Но неужели мы приходим в этот мир со знанием, что жадность и обман приводят к проигрышу?

Яркий пример современного применения нисходящих методов — это байесовская модель. Она как раз имеет дело с этими двумя вопросами. Названная так в честь статистика и философа XVIII в. Томаса Байеса, она объединяет порождающую модель с теорией вероятности, используя прием, который называется «байесовский вывод». Вероятностная порождающая модель показывает, насколько вероятно то, что вы увидите какую-то структуру в данных, если верна определенная гипотеза. Если это электронное письмо — обман, то оно, вероятно, взывает к жадности читателя. Само собой, письмо может взывать к жадности и при этом не быть спамом. Байесовская модель объединяет ваши представления о потенциальных гипотезах с наблюдаемыми данными, позволяя довольно точно рассчитать, с какой вероятностью перед нами нужное письмо или спам.

Такой нисходящий метод лучше, чем восходящий, соответствует нашим представлениям о том, как обучаются дети. Именно поэтому я со своими коллегами уже 15 лет использую байесовскую модель в наших исследованиях развития детей. И наша лаборатория, и другие ученые применяют этот подход, чтобы понять, как дети познают причинно-следственные связи, и прогнозировать, как и когда дети сформируют новые знания о мире и поменяют уже имеющиеся у них представления.

Байесовский метод отлично подходит и для того, чтобы обучить машину учиться так же, как это делают люди. Сотрудник Массачусетского технологического института Джошуа Тененбаум (Joshua Tenenbaum), с которым у меня была когда-то совместная работа, Брендэн Лэйк (Brenden Lake) из Нью-Йоркского университета и их коллеги опубликовали статью в 2015 г. в журнале *Science*. Они

разработали систему искусственного интеллекта, которая могла распознавать незнакомые рукописные буквы. Эта задача проста для людей и требует больших усилий от компьютера.

Подумайте о ваших собственных навыках распознавания. Даже если вы никогда раньше не видели иероглифов на японских свитках, вы скорее всего сможете сравнить два из разных свитков и сказать, одинаковые это или разные символы. Возможно, вы сможете их нарисовать или даже придумать несуществующий японский иероглиф и понять, что эти иероглифы заметно отличаются от корейских или русских символов. Это как раз то, что умеет делать программа, созданная Тененбаумом с коллегами.

При использовании нисходящего подхода компьютер должен был познакомиться с тысячами примеров, выявить закономерности и применить эту информацию для анализа новых изображений. Вместо этого байесовская программа дала компьютеру общую схему, как начертить символ. Например, линия может пойти направо или налево. После того как программа заканчивала с одним символом, она переходила к следующему.

Когда программа видела определенный символ, она могла сделать предположение о последовательности движений, необходимых для его написания. Затем она сама совершала схожий набор действий. Это развивается так же, как моя цепочка рассуждений, запущенная сомнительным письмом из журнала. Вместо того чтобы выяснять, насколько полученное письмо похоже на обман, модель Тененбаума определяет, может ли эта конкретная последовательность действий привести к определенному результату. При использовании одного и того же набора данных нисходящий алгоритм оказывается более эффективным, чем глубинное обучение, кроме того, он больше похож на мышление человека.

### Идеальная пара

Эти два ведущих подхода к обучению машин — принцип восходящего анализа и метод нисходящей пошаговой детализации — имеют дополняющие друг друга сильные и слабые стороны. С восходящим алгоритмом компьютеру не нужно понимать что-нибудь про кошек, чтобы начать учиться, но ему нужно очень большое количество данных. Байесовская система может обучиться на малом количестве примеров и делать более широкие обобщения. Однако при использовании этого метода требуется много предварительной работы, чтобы сформулировать правильный набор гипотез. И разработчики обоих типов систем могут столкнуться со схожими затруднениями. Эти два подхода работают только для относительно узких и четко определенных проблем, таких как распознавание письменных знаков или кошек или игра в видеоигры.

Дети не испытывают затруднений при тех же самых ограничениях. Специалисты по психологии развития убедились, что дети каким-то образом комбинируют лучшее от каждого подхода и затем продвигаются гораздо дальше. Оджи может обучиться, используя только один или два примера, как при нисходящем методе. Но он может также выводить новые закономерности из имеющихся данных, подобно системе, работающей по принципу восходящего анализа. Эти закономерности не были ему очевидны с самого начала.

На самом деле Оджи может гораздо больше. Он не только мгновенно узнает кошек и называет разные буквы, он может создавать поразительно новые и творческие рассуждения, которые выходят далеко за пределы его знаний или опыта. Недавно он объяснил, что если взрослый хочет снова стать ребенком, то он не должен есть полезные для здоровья овощи, потому что из-за них дети становятся взрослыми. У нас нет почти никакого представления о том, как появляются творческие рассуждения такого рода.

Всякий раз, когда мы слышим, что искусственный интеллект — это экзистенциальная угроза, мы должны вспоминать про таинственную силу человеческого мышления. Словосочетания «искусственный интеллект» и «машинное обучение» звучат страшно. В некотором смысле так оно и есть. Военные исследуют способы использования этих систем для управления оружием. Однако естественная глупость может нанести больше вреда, чем искусственный интеллект, и людям сейчас надо быть гораздо умнее, чем мы были в прошлом, чтобы правильно контролировать новые технологии. Закон Мура — это серьезная сила, он может иметь важные практические последствия, даже если прогресс в области программирования будет связан только с количественным ростом данных и вычислительной способности, а в понимании механизмов мышления прорыва не произойдет. Тем не менее не надо думать, что мы вот-вот выпустим в мир нового технологического голема. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Бенджо Д. Компьютеры тоже учатся // ВМН, № 8–9, 2016.
- Bayesian Networks, Bayesian Learning and Cognitive Development. Alison Gopnik et al. in *Developmental Science*, Vol. 10, No. 3, pages 281–287; May 2007.
- Human-Level Concept Learning through Probabilistic Program Induction. Brenden M. Lake et al. in *Science*, Vol. 350, pages 1332–1338; December 11, 2015.
- The Gardener and the Carpenter: What the New Science of Child Development Tells Us about the Relationship between Parents and Children. Alison Gopnik. Farrar, Straus and Giroux, 2016.



## АВГУСТ 1967

**Эффективное сельское хозяйство.** То, что в производстве пищевых продуктов и волокна занято всего 5% рабочей силы США, обусловлено главным образом механизацией сельского хозяйства. Значительную роль сыграли и другие техни-

ческие достижения — химические удобрения, пестициды, выведение новых сортов растений, — но главным фактором все же остается механизация. Затраты на сбор и переработку урожая составляют не менее половины себестоимости пищевых продуктов. И именно эти процессы сельскохозяйственного производства труднее всего механизировать. Тем не менее механизация сбора урожая в США достигла таких успехов, что, несмотря на дороговизну машин и других технических средств, американские семьи тратят на питание всего 18% своего дохода, и это самая малая доля в мире.

**Расширяется ли дно океанов.** Гипотеза о расширении дна океанов призвана объяснить некоторые характеристики океанских бассейнов и континентов тем, что материал, изливающийся из глубин земных недр, формирует срединно-океанические хребты, а затем, по мере поступления новых количеств материала, происходит спрединг — раздвижение литосферных плит в обе стороны от этих хребтов. Недавнее открытие параллельных этим хребтам чередующихся полос нормальной и противоположной намагниченности говорит в пользу этой гипотезы, свидетельствуя, по-видимому, о подъеме расплавленных горных пород в эпохи прямой и обратной геомагнитной полярностей.



## АВГУСТ 1917

**Защита диких цветов.** Последние 15 лет группа любителей природы ведет в стране серьезную кампанию в защиту местных цветов и других диких растений. Согласно обзору, который опубликовала Элизабет Бриттон (Elizabeth G. Britton) в *American Museum Journal*, не-

которые из этих растений нуждаются в срочной защите, поскольку в ряде районов страны, где они

были некогда широко распространенными, ныне почти исчезли. Это движение в защиту растений началось в 1901 г. с выделения \$3 тыс. на «исследование и защиту наших родных растений». При этом Американское общество защиты диких цветов обеспечило распространение описаний растений, листовок, плакатов и диакопных слайдов для иллюстрирования лекций в школах и колледжах.



**Обработка промышленных грузов:** эффективный канатный толкач грузовых вагонов, 1917 г.

## Канатный толкач для грузовых вагонов.

Оперативное маневрирование грузовыми вагонами и быстрая их разгрузка — важнейший на сегодня фактор мобилизации промышленности для военных целей, особенно при работе с железной рудой на заводских путях. На иллюстрации внизу показан новый толкач, предназначенный для этих работ и позволяющий обойтись без маневровых локомотивов. Он приводится в движение одним тросом, натянутым между рельсами по всей длине разгрузочной платформы (130 м). Оба конца троса прочно закреплены на бетонных основаниях через пружинные устройства, обеспечивающие его натяжение.



## АВГУСТ 1867

**Обучение стоматологии.** 40 лет назад стоматологов обычно называли зубодерами. В 1820 г. в США было всего 30 практикующих стоматологов, в 1850 г. их было уже 2923, а сегодня их число достигло примерно 5 тыс. В течение нынешнего года для желающих приобре-

сти эту профессию были открыты колледж в Нью-Йорке (ныне Стоматологический колледж Нью-Йоркского университета) и кафедра в Гарвардском колледже.

**Позор Нью-Йорка.** Все рынки Нью-Йорка — это позор для города и его жителей. Просто удивительно, что такие грязные, неудобные и подозрительные заведения, как наши рынки, не вытеснены структурами, вызывающими доверие у американского бизнеса. На месте развалюх, гордо называемых рынками, можно возвести здания, архитектурой которых город мог бы гордиться и которые могли бы при этом приносить доход. В Нью-Йорке мало объектов, которые больше нуждались бы в обновлении за счет города, чем зловонные здания нынешних рынков. ■

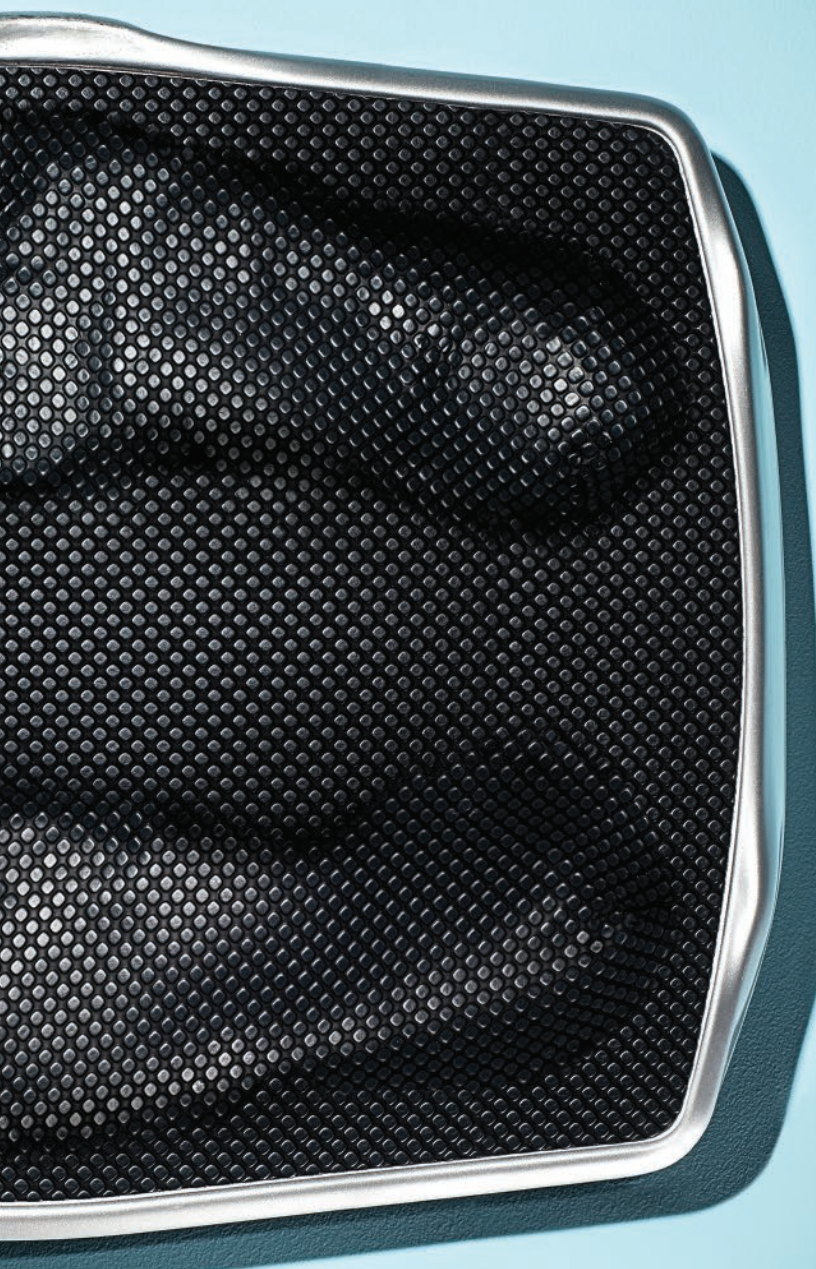
# НЕПРИЯТНАЯ ПРАВДА О СНИЖЕНИИ ВЕСА

ЗДОРОВЬЕ

Исследования последних 20 лет подтвердили: чтобы похудеть, надо сжигать больше калорий, чем потреблять. Но то, что вы едите, намного важнее объемов физических упражнений

*Сати Крупа Дас и Сьюзан Робертс*





Глобальная эпидемия ожирения — один из самых серьезных вызовов для здоровья человечества. В 2014 г. около 600 млн, или 13% взрослого населения планеты, страдали ожирением — количество, которое увеличилось более чем вдвое с 1980 г. В настоящее время 37% взрослых американцев страдают ожирением и еще 34% имеют избыточный вес. Если текущая тенденция сохранится, то, по прогнозам экспертов, к 2030 г. ожирением будет страдать половина всего населения Америки.

Если бы увлечение диетами, телевизионные реалити-шоу и сила воли могли оказывать значительное влияние, изменения были бы видны уже сейчас. Ожирение (характеризуется накоплением избыточного количества жира, вес тела составляет 120% и более от идеального веса) — слишком сложная проблема, чтобы решать ее на скорую руку. Выяснить, почему мы едим то, что едим, как организм контролирует вес и как заставить людей изменить нездоровые привычки, — нелегкая задача. Наша лаборатория в течение последних двух десятков лет со всей точностью, которую обеспечивает наука, занималась разработкой более эффективных методов лечения ожирения и поддержания здорового веса.

Многое из нашей работы опровергло распространенные убеждения и открыло двери для применения новых методов. Например, мы показали, что физические упражнения — не самое важное, на чем нужно сосредоточиться, когда вы хотите похудеть, хотя это полезно для здоровья, в том числе для поддержания здорового веса. Как предполагали многие эксперты и как теперь доказано нами и другими исследователями, что и как много вы едите, играет

## ОБ АВТОРАХ

**Сай Крупа Дас** (Sai Krupa Das) — научный сотрудник Лаборатории энергетического метаболизма Научно-исследовательского центра питания и старения человека им. Джина Мейера при Министерстве сельского хозяйства США и преподаватель медицинского факультета в Университете Тафтса.



**Сьюзан Робертс** (Susan B. Roberts) — старший научный сотрудник и руководитель Лаборатории энергетического метаболизма Научно-исследовательского центра питания и старения человека им. Джина Мейера, профессор психиатрии и сотрудник педиатрического отделения Медицинской школы Университета Тафтса, профессор-диетолог в Школе диетологии и стратегии им. Джеральда и Дороти Фридман при Университете Тафтса.



решающую роль в том, будете ли вы сбрасывать килограммы. Но в нашем исследовании мы продвинулись намного дальше, показав, что разные люди худеют более эффективно с разными продуктами. Это открытие позволило нам создавать индивидуальные планы похудения для каждого, что намного результативнее, чем универсальные советы.

Мы полагаем, что новые данные помогут улучшить здоровье миллионов людей во всем мире. Ожирение увеличивает риск появления всех основных неинфекционных заболеваний, включая сахарный диабет II типа, болезни сердца, паралич и несколько видов рака, — достаточно для снижения потенциальной продолжительности жизни человека на 14 лет. Исследования показывают, что, помимо прочего, избыточный вес также влияет на способность нашего организма бороться с инфекциями, качество сна и естественные возрастные процессы. Понадобилось много времени, чтобы понять, как бороться с этой эпидемией.

### Экономный расход

Рецепт похудения можно свести к простой математической формуле: сжигайте больше калорий, чем потребляете. В течение десятилетий эксперты полагали, что не так уж важно, как создается этот дефицит: если правильно питаться, то можно безопасно худеть, увеличивая физическую нагрузку и снижая потребление пищи в любом сочетании. Такой подход не принимает во внимание сложность человеческой физиологии и психологии и в реальных условиях обречен

на неудачу. Поэтому для того, чтобы разобраться в деталях и предложить научную основу для управления весом, понадобилось намного расширить диапазон исследований и потратить гораздо больше времени, чем ожидалось.

В 1990-х гг., на первом этапе нашего исследования, необходимо было определить базовое условие: сколько энергии требуется человеческому телу в среднем? На этот прямой вопрос не так легко ответить. Конечно, люди получают энергию с едой. Но для использования энергии организмом необходимо расщепление пищи в процессе обмена веществ, чтобы она стала подобной топливу для машины. Кислород, которым мы дышим, помогает сжигать это топливо, а все, что не используется прямо сейчас, накапливается в печени в виде гликогена (вид углеводов) или жира. Когда в печени не остается свободного места, излишки накапливаются в жировых клетках по всему телу. Кроме того, в процессе обмена веществ образуется диоксид углерода, который мы выдыхаем, и другие побочные продукты, которые выводятся с мочой и калом. Обмен веществ протекает с разной степенью эффективности у разных людей и при различных условиях в пределах одного организма.

Довольно долго для определения количества энергии, которую затрачивает человек, использовался метод, когда люди в течение двух недель жили в специализированной лаборатории (такой, как наша), где исследователи могли оценивать, что испытуемые едят, и отслеживать их вес. В другом методе добровольцев помещали в герметичную

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Долгие годы диетологи считали, что, когда речь идет об увеличении или снижении веса, все калории одинаковы, и что диета и физические упражнения равно эффективны для профилактики ожирения.
- Новые свидетельства, которые ученые тщательно собирали в течение последних 20 лет, подтвердили, что существует ряд важных отклонений от общепринятой точки зрения.
- Оказалось, что состав продуктов — содержание белка и клетчатки — почти настолько же важен, как и количество потребляемой пищи. Полезный эффект от физических упражнений оказался гораздо меньше, чем многие предполагали.
- Более глубокое, научное понимание, почему же мы набираем вес и как лучше всего его снижать, могло бы внести решающий вклад в борьбу с ожирением.

комнату (калориметр) и измеряли количество вдыхаемого кислорода и выдыхаемого углекислого газа. По этим измерениям оценивалась базовая потребность в энергии. Оба метода несовершенны, и ни в одном из них не удастся воспроизвести условия повседневной жизни.

Намного проще использовать так называемую дважды меченую воду, которая содержит крошечные количества дейтерия ( $^2\text{H}$ ) и кислорода-18 ( $^{18}\text{O}$ ) — безопасные нерадиоактивные изотопы. В течение одной-двух недель после того, как человек выпьет дважды меченую воду, организм выделяет дейтерий и немного кислорода-18 с мочой (остальной кислород-18 входит в состав выдыхаемого диоксида углерода). Исследователи отбирают пробы мочи и сравнивают, насколько быстро выводятся эти два изотопа из организма в течение этого времени. На основе полученных данных можно определить количество сжигаемых калорий, не нарушая повседневный распорядок дня испытуемого.

Метод был разработан в 1950-х гг., но использование дважды меченой воды в экспериментах с участием людей стоило очень дорого. К концу 1980-х гг. цены снизились и стало возможным применение этого метода, хотя было время, когда нашей лаборатории приходилось тратить \$2 тыс. на выполнение одного измерения. В результате потребовалось более 20 лет, чтобы собрать достаточно данных для определения количества энергии, необходимой организму, чтобы не набирать и не терять вес.

Эксперименты, проводившиеся нами и другими исследователями, помогли определить, что людям не требуется много калорий, чтобы оставаться здоровыми и активными, и избыточное питание быстро приводит к набору веса. В этом отношении мы не отличаемся от других приматов, включая шимпанзе и орангутанов. Для поддержания веса среднему (обычный рост и здоровый вес) взрослому мужчине-американцу требуется около 2,5 тыс. ккал, тогда как средней взрослой женщине-американке, не страдающей ожирением, требуется около 2 тыс. ккал. Большая потребность в энергии у мужчин связана с тем, что их туловище обычно больше и обладает большей мышечной массой.

Исследования других биологических видов, таких как благородный олень (*Cervus elaphus*; в одном из экспериментов средний вес шестилетних самцов составлял 100 кг) и серый тюлень (*Halichoerus grypus*; средний вес трех взрослых самок — 120 кг), показали, что им для поддержания размеров требуется в два-три раза больше калорий, чем приматам, — килограмм на килограмм.

Можно предположить, что столь низкая энергетическая потребность у американцев связана с сидячим образом жизни, но ученые установили, что такая потребность в энергии наблюдается и у популяций коренных народов, ведущих очень активную

### Увеличенный масштаб

# 37%

взрослых американцев **страдают ожирением**



# 34%

взрослых американцев **обладают избыточным весом**

жизнь. Герман Понцер (Herman Pontzer) из Хантерского колледжа с коллегами определяли энергетические потребности народности хадза — группы охотников-собирателей в северной Танзании — и выяснили, что мужчинам требуется в среднем 2649 ккал в день. Женщинам, которые, как и мужчины этой народности, меньше, чем люди в других регионах, требуется всего 1877 ккал. В другом исследовании было показано, что у якутов, народа Восточной Сибири, энергетическая потребность составляет 3103 ккал для мужчин и 2299 ккал для женщин. Мужчинам племени аймара, населяющего плоскогорье Альтиплато в Андах, требуется 2653 ккал в день, женщинам — 2342 ккал.

Несмотря на то что наша энергетическая потребность не изменилась, по данным правительства, в наше время американцы каждый день потребляют на 500 ккал (равнозначно сэндвичу с курицей, приготовленной на гриле, или двум тако с говядиной в ресторане быстрого питания) больше, чем в 1970-х гг. Лишние 50–100 ккал — одно или два маленьких печенья — могут вызвать прибавку в весе от одного до трех килограммов в год, которые легко превращаются в 10–30 кг через десять лет. Стоит ли тогда удивляться, что многие из нас набирают избыточный вес или страдают ожирением?

### Сложные калории

Формула для поддержания стабильного веса — потреблять не больше калорий, чем требуется организму для обогрева, нормального функционирования и физической активности, — это просто иной способ сказать, что первый закон термодинамики справедлив для биологических систем: общее количество энергии, поступившей в замкнутую систему (в данном случае организм), должно равняться

общему количеству выделенной или сохраненной энергии. Но из этого не следует, что организм должен использовать все источники питания с одинаковой эффективностью. Тогда появляется следующий вопрос: все ли калории вносят одинаковый вклад в увеличение веса?

Исследования в этой области продолжаются, и чтобы понять, почему потребовалось так много времени для получения точных ответов, необходимо вернуться в конец 1890-х гг. в небольшую общину Сторрса в штате Коннектикут. Там химик Уилбур Этуотер (Wilbur O. Atwater) построил первую в США исследовательскую станцию для изучения производства и потребления пищи. Фактически именно Этуотер впервые доказал, что первый закон термодинамики справедлив для человека так же, как и для животных. Некоторые ученые в то время полагали, что люди составляют исключение.

Техника эксперимента в лабораториях по изучению метаболизма мало изменилась со времен Этуотера. Для определения количества энергии, которое организм может извлечь из трех основных компонентов пищи — белков, жиров и углеводов, — ученый пригласил трех мужчин-добровольцев поочередно пожить в калориметре несколько дней. В течение этого времени Этуотер с коллегами оценивали все продукты, которые ели подопытные, а также все, во что превращалась эта пища, — от количества выдыхаемого углекислого газа до количества азота, углерода и других компонентов в моче и кале добровольцев. В результате исследователи определили, что организм может извлекать около 4 ккал энергии на грамм из белков и углеводов и 9 ккал/г из жиров, — эти значения известны как факторы Этуотера.

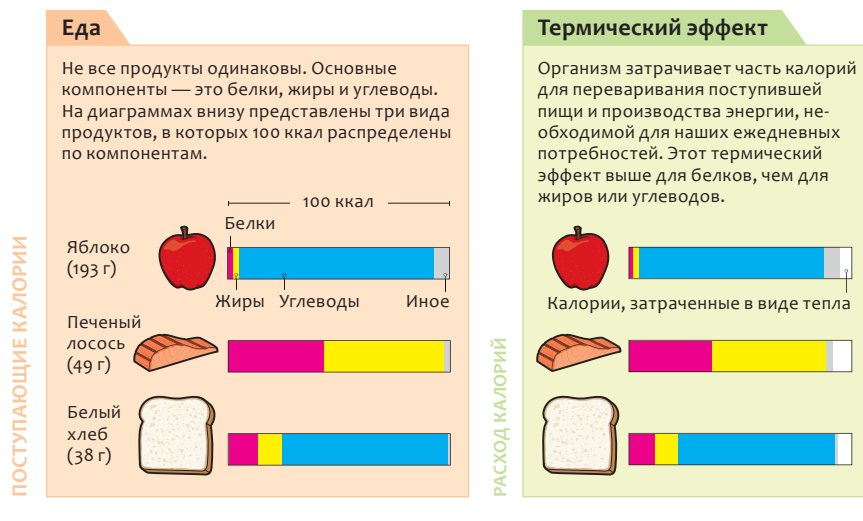
Конечно, пища не поступает в организм в виде чистых углеводов, белков или жиров: лосось состоит из белков и жиров, яблоки содержат углеводы и клетчатку, в молоке содержатся жиры, белки, углеводы и много воды. Оказалось, что физические свойства и состав продуктов играют более важную, чем предполагали ученые, роль в том, насколько полно организм может извлекать и усваивать калории.

Например, в 2012 г. Дэвид Баэр (David Baer) из Центра изучения питания человека Службы сельскохозяйственных исследований при Министерстве сельского хозяйства США в Белтсвилле, штат Мэриленд, доказал, что организм не способен извлечь все

ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ

## Уравнение сохранения энергии

Законы термодинамики применимы к биологическим системам так же, как и к любым другим во Вселенной. Количество калорий, которое мы усваиваем из пищи, должно равняться количеству калорий, выделяемых или запасаемых нашим организмом. Но самые простые способы уравнивания обеих частей не обязательно подходят для живых организмов. Переваривание пищи у разных людей происходит с разной эффективностью, для функционирования организма разным людям требуется разное количество энергии. Рисунок иллюстрирует некоторые из существующих сложностей.



калории, которые указаны для некоторых орехов в таблице пищевой ценности на этикетке. Это зависит от того, как орехи обработаны. Так, сырой цельный миндаль усваивается труднее, чем предсказал Этуотер, так что мы получаем на треть меньше калорий, тогда как из миндального масла могут усваиваться все калории.

Цельные зерна, овсянка и богатые клетчаткой крупы также усваиваются менее эффективно, чем мы привыкли думать. В недавно проведенном исследовании мы наблюдали, что произойдет, если добровольцы будут питаться цельнозерновой пищей, которая содержит 30 г пищевых волокон (в отличие от традиционной американской еды с вдвое меньшим содержанием клетчатки). Мы зафиксировали увеличение количества калорий, выводимых с калом, и одновременно увеличение интенсивности обмена веществ. В сумме эти изменения дают около 100 ккал в день, что может значительно повлиять на вес в течение ряда лет.

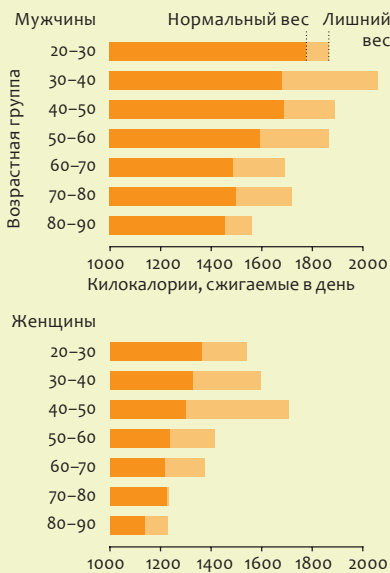
Таким образом, мы и другие исследователи доказали, что не все калории одинаковы, по крайней мере это справедливо для орехов и богатых клетчаткой круп. При изучении эффективности усвоения разных продуктов и их влияния на уровень метаболизма в дальнейшем, вероятно, появятся и другие примеры такой диспропорции, от которой зависит, насколько легко или трудно человеку управлять своим весом.

SOURCES: U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOOD COMPOSITION DATABASES (food data); WHICH PROTEIN WEIGHT LOSS DIETS ARE THE SAFEST? THE NEW YORK TIMES; HOW TO GET THE MOST FROM YOUR FOOD; JULIE EISENBERG ET AL., "MULTIPLYING CALORIES: THE THERMIC EFFECT OF FOOD," JOURNAL OF NUTRITION, 136(10), 2006, pp. 1175-1180; JOURNAL OF NUTRITION REVIEWS, VOL. 60, NO. 7, JULY 2002 (thermic effect data); Graphic by Brownbird Design (food illustrations) and Amanda Montanice (graphics)



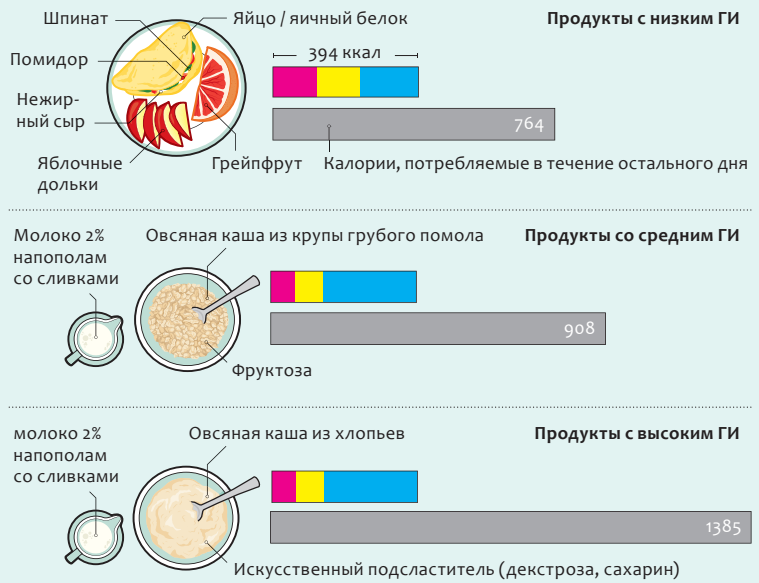
### Основной обмен веществ

Организму требуется определенное количество энергии в состоянии покоя (основной обмен веществ), чтобы жить. Данные взрослого населения США показывают, как различается основной обмен веществ в зависимости от пола, возраста и веса.



### Гликемический индекс

С помощью гликемического индекса (ГИ) оценивают, насколько быстро в организме различные продукты превращаются в глюкозу. Продукты с большим содержанием белка и клетчатки имеют низкий ГИ и создают чувство насыщения. У продуктов с легко усваиваемыми углеводами высокий ГИ. Исследования показали, что употребление продуктов с высоким ГИ приводит к большему потреблению калорий в целом.



### Расход энергии

Довольно о том, что мы едим. Теперь о второй части уравнения энергетического баланса — затратах энергии. И здесь исследователи обнаруживают удивительно большое количество вариантов.

Один из самых распространенных советов для желающих похудеть — больше заниматься физическими упражнениями. Действительно, физическая активность помогает поддерживать сердце, мозг, скелет и другие части тела в хорошем состоянии. Но детальные измерения, проведенные в нашей лаборатории, показывают, что в результате физической активности тратится всего лишь около одной трети всей энергии (при стабильном весе). На основной обмен веществ — энергию, которая требуется для поддержания нормального функционирования организма в состоянии покоя, — приходятся остальные две трети. Интересно, что самое большое количество энергии требуется мозгу, сердцу и почкам, а не скелетным мышцам, хотя силовые тренировки могут незначительно усиливать основной обмен веществ.

Кроме того, как известно любому человеку, достигшему среднего возраста, со временем обмен веществ меняется. Людям старшего возраста требуется меньше калорий, чем в молодости. Уровень обмена веществ у каждого человека также индивидуален. В рамках одного исследования, опубликованного в 1986 г., проводили измерения уровня обмена

веществ у 130 человек из 54 семей. Ученые зафиксировали, что с учетом возраста, пола и комплекции разница между семьями составляет около 500 ккал в день. Неизбежный вывод: когда речь идет об уровне обмена веществ и способности снижать или поддерживать вес, родословная имеет значение.

Но, предположим, вы начали худеть. Естественно, уровень вашего обмена веществ и потребность в энергии должны уменьшиться, поскольку ваше тело становится меньше, следовательно, и сниженные веса замедлится. Это просто физика — первый закон термодинамики. Но человеческий организм также находится под эволюционным давлением, в ходе которого предпочтение отдавалось тем, кто сохранял запасы энергии за счет ее более экономного расходования. И действительно, эксперименты показали, что во время активного снижения веса уровень метаболизма падает чуть больше, чем ожидалось. Когда вес стабилизируется на новом, более низком уровне, физические упражнения могут помочь в поддержании веса, таким образом компенсируя снижение энергетической потребности уменьшившегося тела.

### Голодный мозг

Различия в факторах Этуотера и уровне обмена веществ — это еще не конец истории. Накопленные в ходе исследований данные показали, что мозг играет центральную роль в приведении организма

SOURCES: HUMAN ENERGY REQUIREMENTS: REPORT OF A JOINT FAO/WHO/UNU EXPERT CONSULTATION. WORLD HEALTH ORGANIZATION. FOOD AND NUTRITION ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS AND UNITED NATIONS UNIVERSITY. 1985. (basic metabolism data); HIGH GLYCEMIC INDEX FOODS, OVEREATING, AND OBESITY. BY DAVID S. LUDWIG ET AL., IN PEDIATRICS, VOL. 105, МАРЧ 1999 (glycemic index data)

в состояние готовности к присутствию пищи, координируя входящие сигналы от целого ряда рецепторов. Затем наш мозг генерирует чувства голода и искушения, чтобы быть уверенным в том, что мы поедим.

Иными словами, голод сохраняет нам жизнь, поэтому нет смысла бороться непосредственно с ним. Наоборот, ключ к успешному управлению весом — в том, чтобы предупредить само появление чувства голода и искушения.

Эксперименты с одnorазовым питанием, проводившиеся в нескольких лабораториях, включая нашу, показывают, что пища с более высоким содержанием белка или клетчатки, а также та, что не вызывает резкого увеличения уровня сахара (глюкозы) в крови, более сытная и лучше утоляет голод. (Основным источником сахара в крови выступают углеводы, но глюкоза также образуется и в результате переработки белков). В обзоре, опубликованном Сюзан Робертс в 2000 г., показано, что в течение нескольких часов после завтрака, состоявшего из продуктов с высоким гликемическим индексом (интенсивно обработанные хлопья), поглощение калорий было на 29% выше, чем после завтрака с низким гликемическим индексом (овсяная каша из крупы грубого помола или омлет).

Недавно в нашей лаборатории были получены предварительные данные, согласно которым, если выбирать правильные продукты, можно ослабить чувство голода при снижении веса. Перед тем как распределить 133 добровольца по группам, мы попросили их заполнить анкету с детальными вопросами о том, как часто, когда и насколько интенсивно они испытывают чувство голода. Затем мы случайным образом распределили участников в программу снижения веса и в «лист ожидания», служивший контрольной группой. В программе снижения веса основной акцент был сделан на продукты, богатые белком и клетчаткой и с низким гликемическим индексом (например, рыба, бобы, яблоки, овощи, курица, приготовленная на гриле, и пшеничные зерна).

Удивительно, но после шестимесячного курса участники экспериментальной группы отмечали снижение уровня голода по сравнению с оценкой, данной до начала программы. Изменения были заметны также и на весах: к концу исследования испытуемые похудели в среднем на 8 кг, тогда как участники контрольной группы набрали 0,9 кг.

Интересно также, что в экспериментальной группе отмечалось меньшее тяготение к определенным продуктам. Из этого следует, что, возможно, произошли изменения в том, какую еду мозг воспринимает как приятную. Поэтому мы провели сканирование мозга 15 добровольцев в момент, когда они просматривали изображения различных продуктов. Результаты показали, что после пребывания в экспериментальной группе активность

центра удовольствия в мозге увеличивалась в ответ на изображения курицы, приготовленной на гриле, цельнозерновых сэндвичей и богатых клетчаткой круп. При этом мозг участников программы стал меньше реагировать на изображения картофеля фри, жареной курицы, шоколадного печенья и других ведущих к ожирению продуктов.

## Индивидуальные диеты

Различия в свойствах продуктов, уменьшающих чувство голода, эффективности, с которой пища усваивается, и несомненной, хотя и ограниченной, способности нашего метаболизма адаптироваться к меньшему поступлению энергии превращают управление весом в сложную систему. Постоянно выявляются особые обстоятельства, которые по-разному влияют на разных людей. Например, хорошо известно, что у большинства людей, страдающих ожирением, секретируется пропорционально более высокий уровень инсулина — гормона, который помогает организму перерабатывать глюкозу. Эта резистентность к инсулину приводит к появлению новых проблем с обменом веществ, таким как увеличение риска инфаркта и развития диабета II типа. Когда люди с подобными нарушениями участвовали в шестимесячной программе снижения веса (больше белка и клетчатки, меньше углеводов и продукты с низким гликемическим индексом), они худели больше, чем при высокоуглеводном рационе с высоким гликемическим индексом. Люди с низким уровнем инсулина, наоборот, одинаково успешно худели на диетах с разным соотношением белков и углеводов и гликемическим индексом продуктов.

Сегодня мы регулярно помогаем добровольным участникам исследований сбросить вес и не набрать его опять. Несмотря на то что ранее описанный эксперимент со 133 добровольцами длился шесть месяцев и участники должны были посещать еженедельные встречи и отвечать на электронные письма большую часть времени, выбыло только 11%. Во время последнего визита к исследователям некоторые участники эксперимента даже плакали, потому что им не хотелось прощаться. Принимавшим участие в исследовании удалось не только похудеть, они преуспели даже больше, чем ожидали: они изменились психологически так же, как и физически. Один из участников отметил: «Наука работает».

**Перевод: С.М. Левензон**

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Понцер Г. Парадокс физической активности // В мире науки, № 4, 2017.
- Eating Behaviors as Predictors of Weight Loss in a 6 Month Weight Loss Intervention. Payal Batra et al. in Obesity, Vol. 21, No. 11, pages 2256–2263; November 2013.

6+



# СНИМАЙ НАУКУ!

\*ПРИЁМ ЗАЯВОК С 1 АВГУСТА



**СНИМАЙ** НАУЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ,  
ОПЫТЫ, ЭКСПЕРИМЕНТЫ  
ИЛИ СОЗДАВАЙ ГРАФИЧЕСКИЕ  
ВИЗУАЛИЗАЦИИ 🖱️

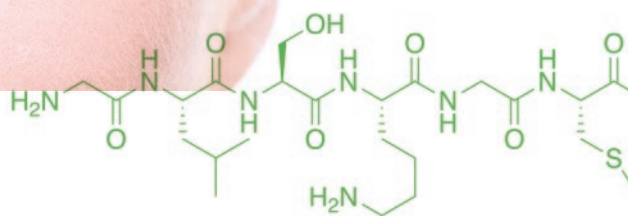


**ЗАГРУЖАЙ**  
СВОИ РАБОТЫ  
НА САЙТ **NAUKATV.RU** 🖱️

**ПОПАДИ В ЭФИР**  
ТЕЛЕКАНАЛА «**НАУКА**»  
И ПОЛУЧАЙ КРУТЫЕ ПРИЗЫ 👍



# нам без старости



Сколько лет жизни отведено человеку? Некоторые ученые считают, что ее средняя продолжительность составляет 80–90 лет, кто-то добавляет к этой цифре еще десятилетие, особо смелые считают, что ее можно довести до векового рубежа. Директор Санкт-Петербургского института биорегуляции и геронтологии **Владимир Хацкелевич Хавинсон** уверен: человек может прожить 110–120 лет. И у него есть тому веские доказательства.

## Сколько нам жить осталось?

Всемирная организация здравоохранения постоянно радуется, публикуя данные о росте средней продолжительности жизни. Статистика и правда выглядит тем радостнее, чем больший период охватывает. Палеонтологи и антропологи, исследуя стоянки и захоронения древних людей, утверждают, что во времена бронзового и железного веков, а это примерно 2–5 тыс. лет назад, человек в Европе в среднем жил 30 лет. К XIII в. этот показатель вырос до 32 лет, к XVI в. — до 34, к началу XIX в. — до 37, спустя полвека дошел до 40, к 1900 г. — до 45, к 1965 — до 65, к 2000 — до 76. Значительную роль в таком росте сыграло снижение детской смертности и числа военных конфликтов, но даже если взять выборку из аристократов, уже перешагнувших 20-летний рубеж, то в XVI в. они в среднем доживали до 48 лет и чрезвычайно редко — до 70. Так что прогресс несомненен.

К сожалению, Россия по этому показателю не входит в число стран-лидеров. Более того, она и в первую половину рейтинга не попадает. В списке из 224 стран мы занимаем 153-ю позицию с показателем 70,8 лет. Чуть хуже нас — Молдавия и Непал (по 70,7 лет), чуть лучше — Казахстан (70,8) и Гондурас (71,1). Про нынешний год говорить пока рано, но в прошлом году дольше всего люди жили в княжестве Монако (89,5) и в Японии (85 лет), а меньше всего — в Гвинее-Биссау (50,6) и Республике Чад (50,2). Тем не менее, если вспомнить, что еще в 2008 г., меньше десятилетия назад, продолжительность жизни в нашей стране составляла 65,4 года, надо признать, что мы хорошими темпами движемся в правильном направлении.

Человеческую жизнь можно разбить на три совершенно конкретных периода: от рождения до способности к воспроизводству — детство, далее — зрелость, а после утраты этой способности — старость. Расцвет, активное функционирование и последующее угасание. В свою очередь, старость принято уже условно разбивать на три возраста: пожилой — 60–74 года, старческий — 75–89 лет, и 90–99 — возраст долгожительства. И вот тут начинается самое интересное.

Долгожители были всегда. И если средняя продолжительность жизни менялась, максимальный возраст долгожителей был всегда примерно одним и тем же. Судите сами по известным примерам: древнегреческий поэт и философ Ксенофан, родившийся в VI в. до н.э., прожил примерно 110 лет; философ Демокрит, V в. до н.э., — 109 лет; первый из скептиков, Пирон, — около 120 лет. Из тех, кто поближе к нам: последний кошевой атаман Запорожской Сечи Петр Калнышевский родился в 1691 г., а умер в 1803 г., прожив 112 лет; жена маршала Чан Кайши Сун Мэйлин почил

в возрасте 106 лет; 112 лет прожил русский и советский поэт Саша Красный; 111 — американская писательница Фредерика Маас; 110 — австрийский математик Леопольд Вьеторис; и т.д.

Если взять людей не столь знаменитых, а известных исключительно своим долгожительством (документально подтвержденным), то мы увидим, что возраст человека может доходить до 122 лет, как это было с француженкой Жанной Кальман. Известны более 1 тыс. человек, которые прожили более 110 лет, и эти данные подтверждены документально.

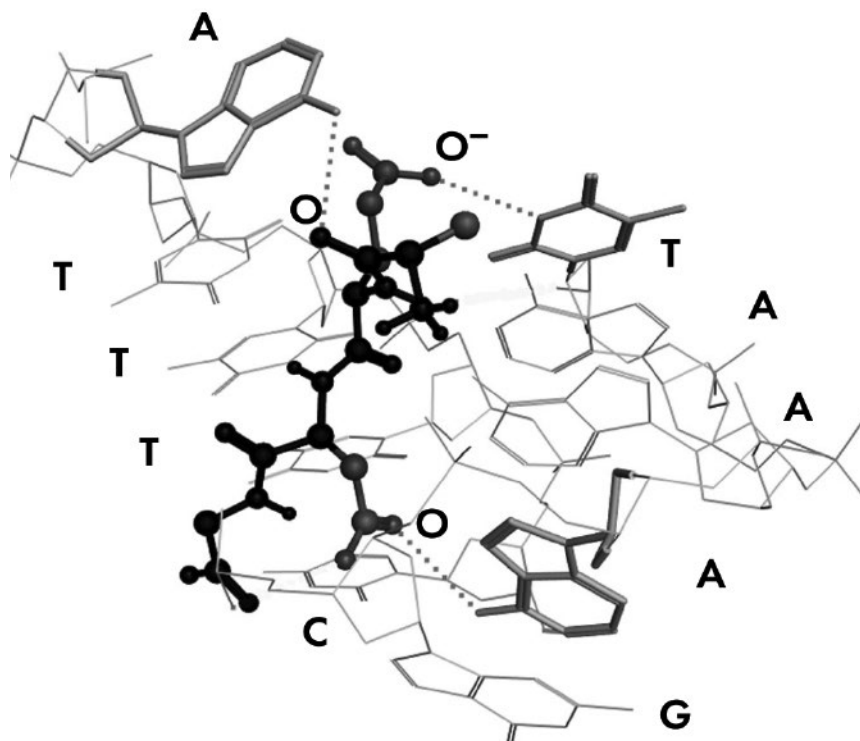
Из всего этого можно сделать оптимистичный вывод: человеческий организм может работать 110–120 лет, а возможно, и несколько больше. Великий физиолог и естествоиспытатель, нобелевский лауреат И.П. Павлов считал, что резервов человеческого мозга, в частности памяти, может хватить максимально на 150 лет. После чего наступит банальное переполнение информацией. Многие на своих компьютерах и смартфонах сталкивались с ситуацией, когда «место на диске заканчивается, пожалуйста, удалите ненужные файлы». В человеческом варианте это может выразиться в том, что человек просто перестанет воспринимать новую информацию. Вряд ли кому-то такая «жизнь» может понравиться.

Максимальный барьер в полтора столетия еще в середине XVIII в. определил для человека и знаменитый французский биолог, математик и естествоиспытатель Жорж Луи Леклерк де Бюффон. Он посчитал у различных животных — у собаки, кошки, лошади, домашней козы, коровы и т.д. — соотношение периода роста скелета и средней продолжительности жизни. У всех оно оказалось примерно одинаковым и равным один к шести или один к семи. Учитывая, что человек растет до 20 лет, получаем продолжительность жизни в районе 120–140 лет.

Многие современные генетики и биологи путем различных современных расчетов приходят к тем же цифрам. Американский молекулярный генетик из Медицинского колледжа им. Альберта Эйнштейна Ян Виг в исследовании, результаты которого были опубликованы в октябре 2016 г., рассчитал, что для большинства людей максимальный возраст может составить 115 лет. Демограф из Нидерландов Йуп де Бир, проанализировав данные о женщинах-долгожительницах, вычислил, что реальная продолжительность жизни может достичь 125 лет. И подобных примеров масса.

Условно говоря, сегодня человек имеет «гарантированный срок эксплуатации», равный примерно 70 годам, в то время как его ресурс рассчитан на 110–120. Почему мы не вырабатываем этот ресурс? И как максимизировать эксплуатационный период нашего тела? Тут большее значение имеют даже не глобальные характеристики, а, казалось бы, мелочи, от которых эти характеристики и зависят.

Условно говоря, сегодня человек имеет «гарантийный срок эксплуатации», равный примерно 70 годам, в то время как его ресурс рассчитан на 110–120. Почему мы не вырабатываем этот ресурс? И как максимизировать эксплуатационный период нашего тела? Тут большее значение имеют даже не глобальные характеристики, а, казалось бы, мелочи, от которых эти характеристики и зависят



Взаимодействие пептида AEDG с основаниями азотистых ДНК (последовательность АТТТС). Пунктирная линия обозначает водородные связи между атомами пептидов и ДНК.

## Мал пептид, да дорог

«Жизнь есть способ существования белковых тел» — такое определение предложил в середине XIX в. немецкий философ Фридрих Энгельс. Определение спорное, но большинством ученых до сих пор признанное. Действительно, любой живой организм на нашей планете — не что иное, как саморегулируемая колония огромных белковых молекул. Каждый белок — сложное и многофункциональное образование, состоящее из сотен и тысяч аминокислот. Но среди них есть и простейшие, состоящие менее чем из сотни аминокислот. Первым такие мини-белки исследовал в 1900 г. немецкий химик, лауреат Нобелевской премии Эмиль Фишер. Он же дал им название «пептиды», что в переводе с греческого значит «питательные», «переваренные». Такое странное название было связано с тем, что ученый посчитал их продуктом деградации и распада сложных животных белков в процессе пищеварения. В свою очередь, пептиды он разделил на короткие олигопептиды, состоящие менее чем из 20 аминокислот, и длинные полипептиды, в которых этих аминокислот от 20 до 100.

Долгое время ученые не рассматривали пептиды, как короткие, так и длинные, всерьез. Даже в энциклопедических словарях говорилось, что они «представляют собой промежуточные продукты распада белка в животных и растительных организмах». Только во второй половине прошлого века выяснилось, что эти мини-белки играют в жизни биологических организмов, к числу которых относятся и люди, важнейшую роль регуляторов — своеобразных мельчайших ключиков, открывающих большие возможности и помогающих нашим клеткам использовать свои резервы по максимуму.

В СССР в 70–90-х гг. XX в. фундаментальные исследования по пептидам были проведены научными коллективами под руководством академиков РАН В.Т. Иванова и Н.Ф. Мясоедова. Ряд исследований были выполнены под руководством профессора В.И. Дейгина.

Член-корреспондент РАН, президент Европейской ассоциации геронтологии и гериатрии (2011–2015), заслуженный

деятель науки РФ, доктор медицинских наук, профессор В.Х. Хавинсон занимается пептидами уже более 40 лет. В 1992 г. он создал Санкт-Петербургский институт биорегуляции и геронтологии, вошедший в структуру СЗО РАМН. По мнению ученого, в среднем современные люди стареют преждевременно, в то время как физиологический возраст старения — 90–95 лет. И одно из средств достижения этого возраста — пептиды. Те самые «мелочи», с помощью которых ему удается настроить организм, открыть в его недрах второе дыхание тогда, когда первое уже начало иссыхать.

«Жизнь на земле возникла в момент соединения аминокислот в короткие цепочки, называемые пептидами, и соединения их с ДНК, что и дало толчок к синтезу белков, — рассказывает В.Х. Хавинсон. — Поэтому именно пептиды с аминокислотами можно назвать основными кирпичиками нашего биологического мироустройства. За миллиарды лет возникли белки несравненно более сложные и специфичные. Но и пептиды не потеряли своего значения. Исследования, проведенные в нашем институте и других научных учреждениях в России и за рубежом, убедительно доказали, что они выступают регуляторами активности наших генов».

Генный набор во всех клетках одного организма одинаков, у человека он включает в себя порядка 35 тыс. различных генов. Каждый из них регулирует и контролирует синтез определенного белка. Тем не менее разные группы клеток производят свои специфические белки. Клетки печени — одни,

гипофиза — другие, селезенки — третьи и т.д. Пептиды, выборочно попадая в целевые клетки, помогают им сориентироваться и запустить производство именно того белка, который данной клетке в данный момент и в данном месте необходим. Если белок нормальный и полноценный, все наши органы и системы функционируют хорошо, без перебоев. Такова, по словам профессора В.Х. Хавинсона, огромная роль пептидов — регуляторов синтеза белка, а следовательно, жизни. Кроме того, это своеобразные геропротекторы, регулирующие метаболические процессы на клеточном уровне. Пептиды заставляют стареющую клетку работать так, как она работает в молодом и здоровом организме. В результате восстанавливается биологическая и функциональная активность органов и тканей, нормализуется синтез белка.

Еще одно важное открытие, сделанное в институте, заключается в доказательстве универсальности пептидов. Полноценные белки, состоящие из 100 и более аминокислот, в силу сложности достаточно специфичны. Клетки печени коровы вырабатывают белки, очень похожие на те, что вырабатывает печень человека. Очень похожие, но, тем не менее, отличающиеся. Эти отличия «замечает» иммунная система и объявляет «чужаку» тотальную войну на уничтожение, оборачивающуюся мощной аллергической реакцией. А вот с пептидами такого не происходит, уж слишком они просты. Соответственно, пептиды, выделенные из органов и желез самых разных животных или синтезированные промышленным путем, прекрасно подходят и человеку.

«Вся наша жизнь, — продолжает свой рассказ профессор В.Х. Хавинсон, — представляет собой взаимодействие двух информационных молекул — пептидов и состоящую из нуклеотидов спираль ДНК. Каждый пептид регулирует конкретный ген, поэтому нашему организму для полноценной работы необходимо разнообразие пептидов. Практически все они содержатся в пище, только в очень небольшой концентрации. В пожилом и старческом возрасте концентрация природных пептидов в организме постепенно снижается. Соответственно, снижается и клеточное белковое производство. Для того чтобы вернуть человека в молодость, необходимо



Член-корреспондент РАН, президент Европейской ассоциации геронтологии и гериатрии (2011–2015), заслуженный деятель науки РФ В.Х. Хавинсон



восполнить создавшийся в организме пептидный дефицит. Для пожилого человека пептидные биорегуляторы — это те же витамины, без которых организм слабеет и дряхлеет».

## Молчание телят

Когда полвека назад ученый начал свои исследования, он и представить не мог, во что это выльется.

«В 1968 г. мы с моим другом Вячеславом Морозовым были слушателями четвертого курса ленинградской Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. В то время мы увлекались теорией стресса известного канадского ученого, классика патофизиологии Ганса Селье. В соответствии с ней во время любого потрясения в первые 24 часа идет угнетение тимико-лимфатической системы. Удар, стресс, операция — происходит угнетение иммунной системы. Это первая стадия общего адаптационного синдрома, стадия тревоги. Вторая стадия — резистентность, восстановление. И третья — либо выздоровление, либо, если стадия резистентности не наступает, истощение и смерть. Представим, что солдат получил тяжелую травму или у него контузия. У человека лимфоциты в норме должны быть около 2 тыс., а у пострадавшего — меньше 500. Если солдат более или менее генетически нормальный, у него через двое-трое суток после операции начинается восстановление. Но у 30% пациентов, в зависимости от дефектов генетики, восстановление не начинается, наступает осложнение — инфекционное воспаление. Это бич всех клиник — послеоперационные воспалительные процессы. Люди умирают или лечатся месяцами. Вот мы и задумались, как помочь организму восстановиться.

Во время стадии тревоги прежде всего угнетаются две железы — тимус и эпифиз. Эпифиз человека — маленькая железа в центре мозга, всего 0,2 г, но она регулирует всю эндокринную систему. Это величайший орган, "третий глаз", центральный пост всей эндокринной системы. Мы решили создать для усиления стадии резистентности препараты из тимуса и эпифиза животных. Работа пошла удачно, на шестом курсе, в 1971 г., мы получили первую премию на конкурсе научных проектов слушателей академии — 50 рублей на двоих.

Первым нашим препаратом был тималин — регулятор иммунитета. Он как раз и усиливал стадию резистентности. Затем нам удалось выделить активное начало и синтезировать химически чистые пептиды (это исследование проведено совместно с академиком РАН В.Т. Ивановым и профессором В.И. Дейгиным). Мы обнаружили механизм взаимодействия пептидов с ДНК — они подходят к гену, как ключ к замку, встраиваются и дают импульс к синтезу белка. Так начались

наши разработки. Впоследствии оказалось, что при стрессе страдают не только иммунная и эндокринная системы, но и другие органы. Мы начали делать препараты из разных органов животных с целью восстановления их функций уже у людей.

Совместно с Владимиром Анисимовым, тогда молодым сотрудником НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова, а ныне профессором, членом-корреспондентом РАН, президентом Геронтологического общества РАН, мы начали первые опыты по продлению жизни. Исходили из того, что старение — это хронический стресс. Только при обычном стрессе все происходит быстро, а при старении органы угнетаются постепенно, на протяжении многих лет. При старении снижается синтез белка, наши же пептиды в большей или меньшей степени его восстанавливают. Поэтому, когда мы начали эксперименты на животных, нам очень быстро уда-

**Затем нам удалось выделить активное начало и синтезировать чистые пептиды. Мы обнаружили механизм взаимодействия пептидов с ДНК — они подходят к гену, как ключ к замку, встраиваются и дают импульс к синтезу белка. Так начались наши разработки**

лось добиться восстановления функций стареющих органов. Более того, удалось продлить жизнь животных до верхнего видового предела. Лабораторные крысы, которым вводились выделенные из эпифиза пептиды в возрасте двух лет, что соответствует 70–80 человеческим годам, становились похожими на молодых собратьев, имели блестящую шерсть, сохраняли сексуальную активность. Более того, к ним частично вернулась репродуктивная способность! А это значит, что из старости часть из них вернулась обратно в зрелость. Крысы, получавшие препарат, жили намного дольше, чем их собратья в контрольной группе. Животные становились еще и здоровее — их состояние улучшалось очень быстро. Все системы организма работали на оптимальном уровне для их возраста. Повторили эксперименты, каждый из которых длился два-три года, 25 раз. Результаты — те же! Проверили на обезьянах — с тем же успехом. Мы поняли, что стоим на пороге мирового открытия».

Нельзя сказать, что путь молодых ученых был усыпан розами и лилиями. Все новое в науке изначально встречается в штыки и подвергается сомнению. Таков ее основополагающий принцип — не верить, пока не докажут. К счастью, здоровое зерно в новой теории нашли известные и уважаемые ученые. Молодых исследователей поддерживали главный хирург Министерства обороны СССР академик А.А. Вишневский, директор Института экспериментальной медицины академик Н.П. Бехтерева, директор Института эволюционной физиологии им. И.М. Сеченова академик Е.М. Крепс, начальник Центрального военно-медицинского управления Минобороны СССР академик Ф.И. Комаров, заведующий отделом патологоанатомии Института хирургии им. А.В. Вишневского академик Д.С. Саркисов, автор элевационной теории старения доктор медицинских наук, профессор В.М. Дильман, один из основоположников советской и российской гемостазиологии профессор, заслуженный деятель науки РФ Б.И. Кузник (которому в сентябре 2017 г. исполняется 90 лет). Большое внимание исследованиям В.Х. Хавинсона и В.Г. Морозова уделил основоположник клонирования ученый-эмбриолог Г.В. Лопашов из Института биологии гена РАН. Кстати, он прожил почти 98 лет. Все это вылилось в то, что во второй половине 1980-х гг. в Военно-медицинской академии, выпускниками и сотрудниками которой были В.Х. Хавинсон и В.Г. Морозов, открыли специальную проблемную лабораторию биорегуляторов, руководство которой поручили В.Х. Хавинсону.



Первой пациенткой, систематически получавшей препарат сетчатки начиная с возраста 70 лет, стала мама В.Х. Хавинсона. Недавно ей исполнилось 96.

«Мы разрабатывали препараты, повышавшие боеспособность личного состава вооруженных сил СССР. Работы велись под грифом "Секретно". Тогда в НАТО пытались создать боевой лазер, разрушающий сетчатку глаза военнослужащих. Нам было поручено разработать средство, защищающее и помогающее восстановить глаз человека после такого воздействия. Для этого нам нужны были в больших количествах глаза вышших животных. Руководство Военно-медицинской академии обратилось в Госкомитет СССР по науке и технике, и нам предоставили 200 тыс. глаз телят с Ленинградского мясокомбината им. С.М. Кирова. Мы выделили из них специфические пептиды сетчатки. Испытали сначала на крысах, потом на кроликах. Результаты — самые радостные. Получили разрешение Минздрава и начали испытания на людях. Препарат стал высочайшим достижением России, такого нет ни в США, ни в Европе. С его помощью лечат дегенеративные заболевания сетчатки, не только останавливая ухудшение зрения, но и частично восстанавливая его».

Одной из первых на себе испытала препарат мама В.Х. Хавинсона Анна Яковлевна, у которой были диагностированы сахарный диабет II типа и осложнение — диабетическая ретинопатия: «У нее резко снижалась острота зрения, что нередко происходит при диабете. Она, по сути, слепла. Мы начали вводить ей наш препарат, и зрение довольно быстро восстановилось. Сейчас она принимает его регулярно, и до сих пор зрение у нее хорошее, хотя маме уже 96 лет. Она принимает и другие наши

препараты, нормализующие состояние организма, благодаря чему по-прежнему ведет активную, насыщенную жизнь, сама ухаживает за садом, любит заниматься цветами, внуками и правнуками. Она даже волосы до сих пор не красит — у нее почти нет седины».

## Некогда стареть

Вслед за препаратом из сетчатки последовали другие — из печени, поджелудочной железы, сердца, мочевого пузыря телят, семенников крупного рогатого скота. Оказалось, каждый из них восстанавливал нормальную деятельность соответствующего органа или системы у человека. Уже в 1990 г. группа В.Х. Хавинсона

получила Премию Совета Министров СССР «за разработку и внедрение в промышленное производство, ветеринарию и здравоохранение новых высокоэффективных пептидных биорегуляторов». Шесть лекарственных пептидных препаратов, разработанных коллективом В.Х. Хавинсона, вошли в Государственную фармакопею РФ. Некоторые из них до сих пор не имеют мировых аналогов. Важные исследования были проведены под руководством члена-корреспондента РАН В.И. Скворцовой с пептидами мозга при различных патологиях, что позволило впоследствии включить полученный препарат в стандарт лечения.

На протяжении нескольких лет пептидные биорегуляторы В.Х. Хавинсона (лекарственные препараты тимуса и эпифиза) применяли в киевском Институте геронтологии им. Д.Ф. Чеботарева Национальной академии медицинских наук Украины и в одном из петербургских домов ветеранов. Пациентами были люди в возрасте 65–80 лет. Клиническое исследование продолжалось 15 лет. В результате смертность в группе принимавших препарат эпифиза снизилась на 45% по сравнению с контрольной. Еще одна группа пациентов принимала препарат, восстанавливающий иммунную систему. У них было отмечено восстановление функции иммунной системы, печени и ряда других органов. В ней также умерло меньше 40%. Наконец, в группе, принимавшей сразу два препарата, смертность оказалась ниже 30%. Статьи, в которых приведены результаты этих исследований, были опубликованы во многих авторитетных российских



В октябре 2016 г. президент РФ В.В. Путин награждает В.Х. Хавинсона орденом Дружбы «за большой вклад в развитие здравоохранения, медицинской науки и многолетнюю добросовестную работу»

и зарубежных научных изданиях и вызвали огромный интерес не только у геронтологов, но и вообще у медиков, биологов и генетиков.

Дальнейшие эксперименты, проведенные в стенах не только Института биорегуляции и геронтологии, но и Института физико-химической биологии МГУ им. А.Н. Белозерского, Института физиологии им. И.П. Павлова РАН, в университетах Италии, Голландии, Испании, Германии, Австралии, Израиля, США и других стран, показали, что пептиды обладают высокой физиологической активностью при различных заболеваниях и патологических состояниях. Как оказалось, пептиды активны не только у животных, но и у растений. Так, в ИФХБ МГУ в лаборатории члена-корреспондента РАН Б.Ф. Ванюшина после пептидной стимуляции генов семян урожайность *Nicotiana tabacum* выросла почти в пять раз.

В конце мая в Женеве состоялся международный симпозиум экспертов при участии Всемирной организации здравоохранения, посвященный исследованиям «способов продления активной жизни с использованием существующих препаратов и методов», в котором участвовали и российские исследователи. Россию на нем представляли известные ученые из Москвы и Санкт-Петербурга. Профессор В.Х. Хавинсон сделал доклад об общем механизме пептидной регуляции экспрессии генов и синтезе белков в живой природе

В 2000 г. группой В.Х. Хавинсона совместно с учеными из Национального института старения США впервые в мире было изучено влияние коротких пептидов более чем на 15 тыс. генов. Было выявлено, что некоторые из пептидов почти в шесть раз увеличивают экспрессию некоторых генов, что открыло путь к изучению влияния на геном.

Группой В.Х. Хавинсона был также синтезирован тетрапептид, который в два с половиной раза увеличивал длину теломера, что коррелировало с увеличением числа делений фибробластов человека на 42% по сравнению с контролем. Эти результаты были представлены на международном симпозиуме «Теломераза и теломеры», который проходил в США в Колд-Спринг-Харборе в 2002 г. Симпозиум проводили будущие лауреаты Нобелевской премии по физиологии и медицине 2009 г. Кэрл Грейдер и Элизабет Блэкберн, которые обратили большое внимание на доклад профессора В.Х. Хавинсона. Увеличение длины теломер было очень ярким результатом.

Как именно пептиды взаимодействуют с ДНК, пока точно не установлено. Есть гипотеза, которую сам В.Х. Хавинсон в своей монографии «Пептидная регуляция старения» формулирует так: «Регуляторный пептид распознает специфический сайт в двойной спирали ДНК, если его собственная аминокислотная последовательность комплементарна на достаточном протяжении последовательности нуклеотидов ДНК; другими словами —

**Сила моего коллектива  
в том, что мы пытаемся  
на молекулярном уровне  
сделать то, что уже знаем  
на уровне человека, знаем, что  
и где искать. Я уверен, в XXI в.  
нам удастся добиться, чтобы  
70 лет для человека считались  
средним возрастом, а старость  
отошла за 90-летний рубеж**

их взаимодействие специфично из-за совпадения последовательностей». Однако до доказательства еще далеко. Сам автор признает, что собирать их придется еще много лет.

Сейчас перед учеными стоит задача зафиксировать физико-химическими методами процесс соединения пептида и участка гена. Работа над этим идет вместе со специалистами кафедры физики СПбГУ, Института высокомолекулярных соединений РАН и Санкт-Петербургского



Изданная в Великобритании и рассказывающая о работах профессора В.Х. Хавинсона брошюра так и называется — «Русская пептидная революция»

государственного политехнического университета. Необходимо методами ядерного магнитного резонанса или другими показать, что пептид и участок гена соединились, как бы «сфотографировать» этот момент. Это станет доказательством того, что конкретный пептид взаимодействует с конкретным геном.

«Сила моего коллектива, — говорит В.Х. Хавинсон, — в том, что мы пытаемся на молекулярном уровне сделать то, что уже знаем на уровне человека, знаем, что и где искать. Я уверен, в XXI в. нам удастся добиться, чтобы 70 лет для человека считались средним возрастом, а старость отошла за 90-летний рубеж.

Мой отец в возрасте 60 лет страдал от спазма сосудов. Терял сознание, врачи говорили об атеросклерозе и предынсультном состоянии. Мы могли потерять его в любую минуту. К счастью, у нас уже тогда были биорегуляторы из тимуса, сосудов и эпифиза. После нескольких курсов в течение ряда лет отец прожил еще 30 счастливых лет и умер в 92 года из-за несчастного случая, упав с лестницы. Его сосуды, сердце, внутренние органы при этом были в хорошем состоянии. Родители всегда были самыми моими верными пациентами.

Мне самому немало лет, я принимаю препараты более 15 лет. Не скрою, надеюсь прожить еще долго. Хотя, конечно, на все воля божья. Моя физическая и психическая энергия позволяет это — я плаваю в бассейне, не ем лишнего, сплю по ночам и принимаю препараты. Многие мечтают: "Вот приму таблетку и буду жить до 120 лет". Во все нет. Одна таблетка не поможет прожить "по максимуму", это комплексное дело. Нужно достаточно спать, двигаться, не переедать, дышать чистым воздухом, пить чистую воду. Долголетие — это определенный уровень культуры. Только умный человек имеет шансы прожить долго. Желая всем дожить до 120 лет!»

### Андрей Николаевич Богатырев,

член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор:

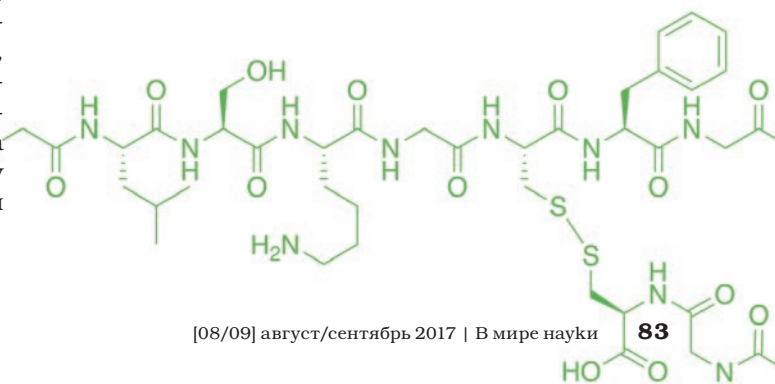
В СССР действовала такая организация — Государственный комитет по науке и технике. Я в ней занимал должность заместителя начальника управления по вопросам агропромышленного комплекса. В один прекрасный день ко мне на прием с письмом от начальника Военно-медицинской академии члена-корреспондента РАН Г.М. Яковлева пришел молодой подполковник. «У нас, — говорит, — родилась идея по выделению из органов животных пептидов и применению их в качестве биорегуляторов в медицине». Я говорю: «Хорошо, все это очень интересно, но при чем тут наше управление? Мы же занимаемся сельским хозяйством». А он отвечает: «Понимаете, нам для работы необходимо животное сырье. В частности, нам очень нужны глаза для выделения пептидов из сетчатки». Он очень увлеченно стал мне рассказывать про исследования в области пептидов, про свои наработки. Все с цифрами, с результатами экспериментов, вполне доказательно. Мне его идеи показались здоровыми. Я пошел к председателю нашего Госкомитета академику В.А. Кириллину, предложил ему поддержать работы В.Х. Хавинсона, и он дал согласие. Мы выделили финансы, что позволило создать проблемную лабораторию, набрать людей и получить сырье для работы. Производство препаратов мы организовали на базе Ленинградского мясокомбината. Там был завод по производству лекарственных препаратов из органов животных. И В.Х. Хавинсон, используя то, что раньше большей частью шло в отходы, разработал более 30 препаратов. Я, по его совету, попробовал на себе ряд препаратов. Не в качестве лечения, а для профилактики, в том числе для повышения иммунного статуса. Два раза в год проводил такую пептидную профилактику и об этом не жалею. В свои 82 года чувствую себя прекрасно.

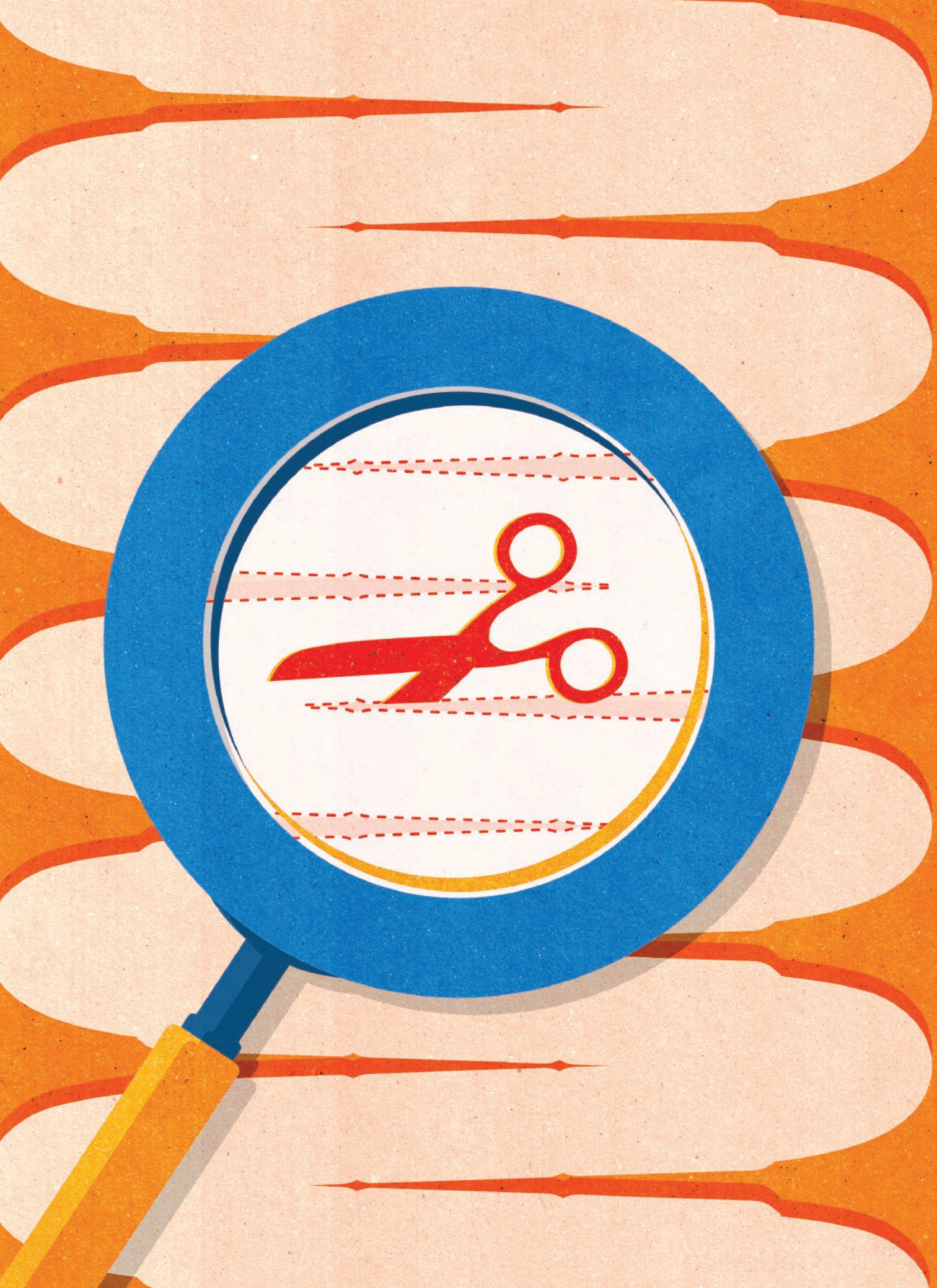
### Борис Федорович Ванюшин,

член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом молекулярных основ онтогенеза Института физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ:

Направление, в котором работает В.Х. Хавинсон, — очень интересное и перспективное. Оказалось, что его пептиды не только действуют на клетки животных, но и стимулируют рост и развитие растительных клеток. Казалось бы, зачем пептиду бронхов, который работает на уровне клеток бронхиального эпителия, связываться с ДНК растений? Но, оказывается он стимулирует их рост и развитие, в том числе и таких каллусных культур, как каллусы табака. Причем эти пептиды, что очень важно, регулируют экспрессию генов. Откровенно говоря, когда я познакомился с В.Х. Хавинсоном, я не очень верил в то, что его эндогенные пептиды могут обладать функциональным физиологическим действием. Сомневался до тех пор, пока сам вместе с моими сотрудниками не убедился, что они действительно работают. И в этом смысле они — очень интересные и перспективные производные, которые могут быть использованы и в клинической практике, и в биотехнологии, в том числе в сельскохозяйственной, как регуляторы роста и развития растений. Мы проверили: прорастание они стимулируют весьма резко. Дело учебного — не доверять, а проверять. В науке это обычная вещь. Когда человек делает что-то новое, ему первым делом говорят: «Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда». И только потом, после многочисленных проверок, экспериментов, исследований, анализа и т.д., ему сначала начинают немножко верить, а спустя годы принимают его открытие как непреложный факт. Я доволен сотрудничеством с В.Х. Хавинсоном, потому что оно открыло нам глаза на, как казалось, мало значимые молекулы, пептиды экзогенного происхождения. Сейчас уделяется много внимания пептидометрии, пептидологии, пептидомике, потому что пептиды наряду с гормонами обладают очень ярко выраженным стимулирующим и регуляторным действием. Поэтому, по моему мнению, это направление очень перспективное. ■

Подготовил Валерий Чумаков





МЕДИЦИНА

# ОПЕРАЦИЯ «ДИАБЕТ»

Хирургическая операция, состоящая в изменении анатомии части кишечника, избавляет больного от диабета. Из этого следует, что к его развитию причастен не только недостаток инсулина

*Франческо Рубино*

## ОБ АВТОРЕ

**Франческо Рубино** (Francesco Rubino) — заведующий отделом метаболической и бариатрической хирургии в Королевском колледже Лондона и один из хирургов клиники при этом колледже. Член научного совета компаний *GI Dynamics* и *Fracty*, занимающихся разработкой хирургических методов лечения диабета, а также консультант фирм *Ethicon* и *Medtronic*, которые конструируют различные медицинские устройства.



# М

оя специализация в качестве хирурга началась примерно 20 лет назад. Мне не терпелось удалять опухоли, камни из желчного пузыря, грыжи и все, до чего может добраться скальпель. Хирургическая операция представлялась мне простым способом решения многих сложных проблем.

Диабет II типа к их числу не относился. Хирургическое вмешательство затрагивает какую-то одну часть тела, но при диабете страдают многие органы и ткани и удаление одного из них ничего не дает. Как хирург я в этой области был бессилён.

Мои представления о диабете — и моя карьера — радикально изменились летом 1999 г. Я только что переехал из Италии в Нью-Йорк с намерением получить квалификацию специалиста в области хирургии минимальной инвазивности в Школе медицины Икана Медицинского центра Маунт-Синай.

Листая научные журналы, чтобы ознакомиться с некоторыми особенностями билиопанкреатического шунтирования, я наткнулся на весьма необычный материал, не связанный с моими интересами. Речь в статье шла об операции для больных с серьёзным ожирением. Они теряли в весе благодаря укорочению пути, по которому пища проходит через кишечник. У многих из этих пациентов был диабет II типа, часто сопровождающий ожирение. Самое поразительное заключалось в том,

что спустя месяц после операции уровень глюкозы в крови у них приходил в норму. К этому времени они теряли не так уж много килограммов, никаких ограничений в потреблении высококалорийной пищи не было, не предполагался также приём противодиабетических средств. Тем не менее большинство из них избавились от диабета на многие годы.

Я был поражен. Каким образом оперативное вмешательство могло привести к нормализации уровня глюкозы? Ведь во всех учебниках о диабете говорилось как о хроническом прогрессирующем заболевании! Состояние здоровья пациента можно было поддерживать на приемлемом уровне, но болезнь никуда не уходила.

Ломая голову в поисках ответа, я вспомнил, что в тонком кишечнике вырабатываются гормоны, которые стимулируют синтез инсулина в поджелудочной железе. Может быть, изменение анатомии тонкого кишечника хирургическим путем каким-то образом восстанавливает нормальный метаболизм глюкозы? Или заболевание развивается

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

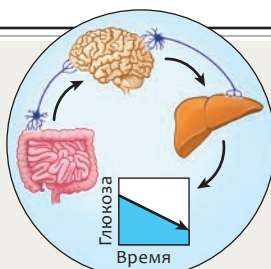
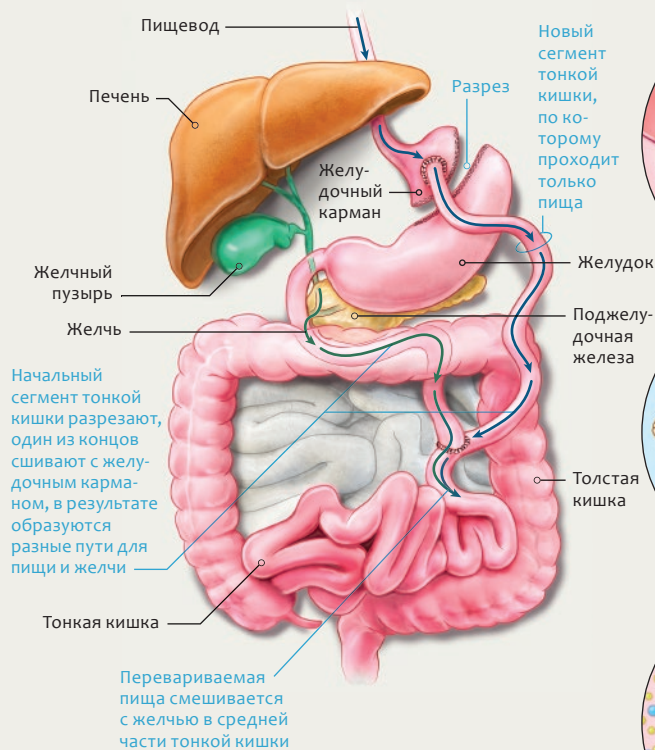
- Сегодня 45 медицинских сообществ рекомендуют проводить операции, которые ранее предназначались для снижения веса, для лечения больных с диабетом II типа.
- Многочисленные клинические испытания показывают, что оперативное вмешательство более эффективно, чем диета и лекарственная терапия.
- Действенность нового метода обусловлена изменением соотношения между гормонами, вырабатываемыми в кишечнике, влиянием на уровень циркулирующих желчных кислот, изменением кишечной микрофлоры и другими факторами.



## Искоренение диабета

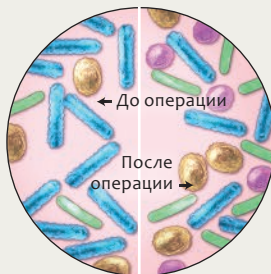
Операция, направленная на снижение веса и состоящая в изменении анатомии желудочно-кишечного тракта, оказалась эффективным способом лечения больных диабетом II типа. Сегодня к ней советуют прибегать более 40 медицинских сообществ. Проводятся исследования, направленные на выяснение механизма действия нового подхода.

Операция под названием «обходной желудочный анастомоз по Ру» состоит в изменении анатомии желудка и начальной части кишечника, в которой происходит смешивание пищи и желудочного сока. Это не только сокращает количество потребляемых калорий, но и уменьшает стимуляцию клеток кишечника питательными веществами.



### Нервные сети

Тонкий кишечник иннервирован ветвями нервов (например, блуждающего нерва), которые передают сигналы в головной мозг и обратно. Эти нервы информируют головной мозг о поступлении пищи, и он передает сигнал в печень о подавлении выработки глюкозы. В результате анастомоза эта обратная связь усиливается.



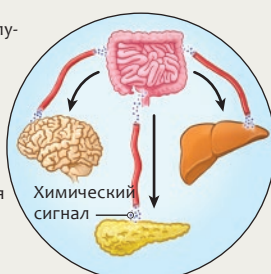
### Кишечные бактерии

Состав кишечной микрофлоры влияет на количество потребляемой организмом энергии. При операции он изменяется, что приводит к ускорению метаболизма и способствует регуляции уровня глюкозы.



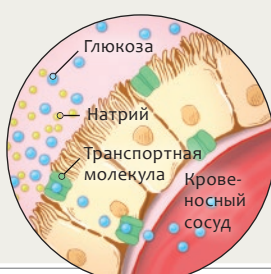
### Желчные кислоты

Желчные кислоты из печени и желчного пузыря поступают в верхний сегмент тонкой кишки. Кроме того, они, как и гормоны, циркулируют в кровеносной системе, регулируя скорость метаболизма. Операция приводит к повышению количества циркулирующих желчных кислот, и органы становятся более восприимчивыми к инсулину.



### Кишечные гормоны

В выстилке тонкой кишки содержатся клетки, высвобождающие гормоны в кровоток в ответ на поступление пищи. Эти гормоны влияют на работу печени, поджелудочной железы и других органов, что в свою очередь отражается на содержании глюкозы в крови. В результате операции сокращается расстояние, по которому пища проходит по тонкой кишке, и, как следствие, высвобождается меньше гормонов.



### Транспорт глюкозы

В процессе пищеварения из частиц пищи в кишечник поступает глюкоза. При участии специфических транспортных молекул она проходит через выстилку и поступает в кровоток. Для правильного функционирования транспортные молекулы нуждаются в ионах натрия. В результате операции основной источник этих ионов — желчь — становится недоступным. Это блокирует работу транспортных молекул, что приводит к уменьшению выброса глюкозы после приема пищи.

по другому механизму, поддающемуся коррекции оперативным путем? Так или иначе — хирургический подход можно использовать для устранения диабета, и выяснив, как именно это происходит, удастся установить причину заболевания.

К концу 1990-х гг. стало ясно, что человечество стоит на пороге эпидемии диабета. Согласно последним оценкам Международной диабетической федерации и Всемирной организации здравоохранения, диабетом страдают 415 млн человек по всему земному шару, а к 2040 г. их число

предположительно увеличится до 650 млн (У 90% больных имеет место диабет II типа — так называемый сахарный, у остальных — диабет I типа, при котором поджелудочная железа просто не вырабатывает инсулин в достаточном количестве.) Выяснив причину заболевания и найдя способ лечения, мы спасем миллионы жизней.

Проведя бессонную ночь в обдумывании различных вариантов, я наутро направился к своему научному руководителю, хирургу Мишелю Ганьеру (Michel Gagner). Он согласился, что во всем этом

есть рациональное зерно, и мы обратились к руководству с предложением провести клинические испытания и проверить, может ли оперативное вмешательство при диабете быть эффективнее традиционной терапии даже в том случае, если больной при этом не страдает серьезным ожирением. Наше предложение было сразу отклонено.

Это нас огорчило, но не удивило. Веками диабет лечили диетой, таблетками и инъекциями. Поскольку предполагаемыми причинами заболевания считались дисфункция поджелудочной железы и нарушение метаболизма инсулина, удаление части кишечника как способ избавления от него выглядело ересью, к тому же сопряженной с большим риском.

Через 20 лет ересь стала разумным решением проблемы диабета.

Проведено бесчисленное множество опытов на животных и более десятка рандомизированных тщательно контролируемых клинических испытаний с участием сотен пациентов, которые подверглись операции, исходно разработанной как способ избавления от лишнего веса, а теперь примененной для искоренения диабета II типа. Не вызывает сомнений, что изменение анатомии желудочно-кишечного тракта сказывается на состоянии больных гораздо сильнее, чем любой из имеющихся терапевтических методов. И это не просто результат потери веса. У многих пациентов уровень сахара в крови приходил в норму в течение нескольких недель, задолго до того, как начинал ощутимо снижаться вес. Примерно 50% прооперированных больных диабетом теперь здоровы, а у остальных содержание сахара в крови снизилось до уровня, при котором отпадает необходимость в инъекциях инсулина.

Результаты настолько убедительны, что в прошлом году 45 медицинских сообществ одобрили желудочно-кишечную хирургию как стандартный метод лечения страдающих диабетом. Более того, выяснение механизма, по которому операция влияет на метаболизм глюкозы, способствовало разработке нехирургических методов лечения, направленных на тонкий кишечник.

### В поисках доказательств

После потрясающей находки в журнальных досье и отказа властей в проведении клинических испытаний с участием больных диабетом я вновь погрузился в медицинскую литературу в поисках свидетельств, подтверждающих справедливость моей гипотезы. Выяснилось, что случаи улучшения состояния больных диабетом после операции на желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) отмечались уже лет 100 назад. В одном из номеров журнала *Lancet* за 1925 г. сообщалось о нормализации уровня сахара в моче уже на следующий день после операции на ЖКТ по поводу пептической

язвы. С середины 1980-х гг., когда такие операции стали проводить с целью похудения, подобные случаи перестали быть редкостью. Еще больше сообщений о подобном феномене появились в 1980–1990-х гг. В их числе — знаковая статья хирурга Уолтера Пориса (Walter Pories) с коллегами из Восточно-Каролинского университета с описанием результатов операции на 120 пациентах. Статья имела весьма примечательное название: «Кто бы мог подумать! Оперативное вмешательство — наиболее эффективный способ избавления от сахарного диабета» (*Who Would Have Thought It? An Operation Proves to Be the Most Effective Therapy for Adult-Onset Diabetes Mellitus*).

Несмотря на убедительность всех этих наблюдений, хирургическое вмешательство не рассматривалось как серьезный способ лечения больных диабетом. По мнению многих специалистов в этой области, скорее всего позитивный эффект дает уменьшение веса вследствие операции, а не она сама.

Устранение такой неопределенности приобрело особую актуальность после того, как нам с Ганьером было отказано в проведении клинических испытаний. В результате мне пришлось заняться опытами на крысах и перейти на работу в Европейский институт телехирургии в Страсбурге. Мы отобрали крыс с диабетом II типа и провели операцию по дуодено-еюнальному шунтированию (*DJB*), при котором на протяженном сегменте тонкой кишки пища и желчь с желудочным соком проходят разными путями. У прооперированных крыс улучшился метаболизм глюкозы вне зависимости от того, изменился или нет характер их питания и вес.

Такие же результаты были получены другими исследователями после *DJB* на других животных, а затем, в начале этого века — на больных диабетом. За последние десять лет проведено более 15 клинических испытаний с одинаковым исходом. Одно из них, предпринятое Джельтрудоу Мингроне (Geltrude Mingrone) вместе со мной и другими коллегами из Католического университета в Риме, показало, что у 80% из 38 прооперированных наступило полное выздоровление или у них удавалось поддерживать приемлемой уровень сахара в крови с помощью небольших количеств противодиабетических препаратов либо благодаря соблюдению диеты и выполнению специальных физических упражнений. В ходе еще одного испытания под руководством Филипа Шауэра (Philip Schauer) из Кливлендской клинической больницы было прооперировано 96 больных, при этом 45% из них находились на инсулине. 89% в течение пяти лет после операции не принимали никаких лекарственных препаратов. Оперативное вмешательство дает еще одно преимущество: после него исчезают такие осложнения, как

сердечно-сосудистые заболевания, а смертность, связанная с диабетом, уменьшается в гораздо большей степени, чем при стандартной терапии.

Уровень безопасности операции сравним с таковым для стандартных, сопряженных с небольшим риском хирургических вмешательств, например удаления желчного пузыря или матки. По оценкам, затраты на операцию (\$20–25 тыс.) окупаются за два-три года, поскольку отпадает необходимость в лечении и уходе.

### Главное действующее лицо — кишечник

Почему же операция на желудочно-кишечном тракте дает такие хорошие результаты? Точного ответа пока никто не знает, но ЖКТ, как выяснилось, — один из главных участников нормализации метаболизма глюкозы и устранения нарушений в организме, возникающих при диабете. Его действие осуществляется по крайней мере пятью способами: посредством гормонов, желчных кислот, молекул, которые транспортируют глюкозу из кишечника, обитающих в нем микроорганизмов и через нейронные сети.

В выстилке ЖКТ содержатся специализированные клетки, реагирующие на питательные вещества и другие стимулы высвобождением гормонов, активизирующих секрецию инсулина поджелудочной железой или вызывающих чувство голода либо насыщения. Изменение анатомии ЖКТ хирургическим путем укорачивает время, в течение которого питательные вещества контактируют с выстилкой, и уменьшает стимуляцию некоторых сегментов ЖКТ. Это означает также, что больше пищи доходит до этих сегментов. В результате повышается уровень одних гормонов и понижается уровень других.

Изысканные исследования, проведенные Дэвидом Каммингсом (David Cummings) из Вашингтонского университета, показали, что операция по обходу желудка приводит к подавлению уровня циркуляции глереина, гормона, вызывающего чувство голода, который также участвует в регуляции поглощения глюкозы определенными клетками. Карел ле Ру (Carel W. le Roux), работающий сегодня в Дублинском университетском колледже, и другие исследователи продемонстрировали, что операция под названием «обходной желудочный анастомоз по Ру» приводит к повышению уровня инкретинов — гормонов, стимулирующих выработку инсулина.

Желчные кислоты, другие вещества, участвующие в регулировании процессов энергетического обмена, тоже испытывают на себе влияние операций на ЖКТ, направленных на снижение массы тела. Их основная роль — переваривание пищи, но кроме того, попадая в кровяное русло, они служат сигнальными молекулами для рецепторов во многих органах и тканях. Передаваемые

ими сигналы заставляют клетки усиливать утилизацию липидов и глюкозы. При операции может повыситься уровень циркулирующих желчных кислот, что помогает клеткам извлекать глюкозу из крови. Далее, желчные кислоты препятствуют накоплению макрофагов, клеток иммунной системы, в жировой ткани. Это уменьшает воспаление и снижает резистентность к инсулину, сопутствующую диабету II типа.

Оперативное вмешательство влияет также на транспорт глюкозы. В процессе пищеварения частички пищи расщепляются в кишечнике с высвобождением глюкозы, которая проходит через выстилку и попадает в кровь с помощью молекул-переносчиков. Для функционирования последних нужны в большом количестве ионы натрия. Но при некоторых операциях на желудке сегменты кишечника, по которым проходит пища, перенаправляются в обход основного источника этих ионов — желчи и желудочного сока. В отсутствие натрия активность транспортных молекул падает, благодаря чему уменьшается выброс глюкозы после приема пищи.

Свою роль играют и микроорганизмы, населяющие ЖКТ. Некоторые их виды участвуют в извлечении энергии из пищи и вырабатывают химические вещества, которые уменьшают воспаление и резистентность к инсулину. Поскольку операции на ЖКТ приводят к изменению кислотности содержимого кишечника, а также количества и химического состава питательных веществ, изменяется и локальная популяция микроорганизмов. Как показали Ли Каплан (Lee Kaplan) с коллегами из Медицинской школы Гарвардского университета, это может сказаться на метаболизме. Свои эксперименты Ли с сотрудниками начали с проведения желудочного анастомоза у мышей. Через несколько недель кишечные бактерии прооперированных грызунов ввели мышам, не подвергшимся хирургическому вмешательству, предварительно ликвидировав их естественную микрофлору. Затем эту вторую группу животных перевели на диету с высоким содержанием жиров. Их вес почти не увеличился, а метаболизм ускорился по сравнению с таковым у мышей, которым трансплантировали микрофлору кишечника непрооперированных животных.

Еще одно хорошо известное следствие оперативного вмешательства касается нервных структур, которые влияют на метаболизм. Одна из таких структур — блуждающий нерв — связывает кишечник с головным мозгом. Благодаря ей тонкий кишечник реагирует на поступление минимальных количеств питательных веществ и передает информацию об этом в головной мозг, который, в свою очередь, посылает сигналы печени к уменьшению выработки глюкозы, что уменьшает уровень сахара в крови. Опыты на грызунах,

проведенные Тони Ламом (Tony Lam) с коллегами из Торонтского университета, показали, что ЖКТ-анастомоз приводит к повышению активности этого механизма.

Наконец, возможно, при операции подавляется механизм блокирования инсулина. У истоков этой гипотезы находится феномен стимуляции синтеза инсулина под действием гормонов инкретинов. Этому эффекту нужен какой-то противовес: без него инкретины перегружали бы организм инсулином после каждого приема пищи и развилась бы гипогликемия. Поскольку люди обычно не впадают в кому после еды, напрашивается вывод: нечто должно блокировать действие инкретинов. Но если эта блокировка станет чрезмерной, организм не будет реагировать на инсулин, что может привести к развитию диабета II типа. Так называемые антиинкретины пока не идентифицированы, но есть надежда, что это скоро произойдет.

В опытах на грызунах показано, что такие кишечные гормоны, как соматостатин-28 и галанин, уменьшают секрецию инсулина. Более того: в 2013 г. Мингроне вместе со своими сотрудниками изолировали некоторое количество неидентифицированных белков из одного из сегментов ЖКТ мыши с диабетом. Когда эти белки инъецировали здоровым мышам, они стали нечувствительными к инсулину. (Такое же действие оказывали белки, инъецированные *in vitro* в мышечные клетки, взятые от здорового пациента.) Я полагаю, что при ЖКТ-анастомозе уменьшается доступность антиинкретинов и таким образом восстанавливается метаболическое равновесие.

Эти и другие наблюдения указывают на то, что диабет тесно связан с состоянием желудочно-кишечного тракта. Нарушения в его работе, возникающие при неправильном питании, объясняют, помимо всего прочего, почему глобальное повышение в последние годы количества потребляемой жирной и богатой углеводами пищи становится спусковым крючком для эпидемии диабета.

### Противодиабетические устройства

Одно только оперативное вмешательство не может решить проблему диабета в глобальном масштабе. Больного необходимо госпитализировать, операцию должен проводить высококвалифицированный коллектив, а кроме того, скальпель — это всегда определенный риск. Нужны менее инвазивные способы, и по крайней мере один из них уже есть: введение в кишечник через пищевод и желудок небольшой трубки.

Смысл такой процедуры заключается в том, чтобы изолировать выстилку двенадцатиперстной кишки — части ЖКТ непосредственно под желудком. Именно здесь желчь и секрет поджелудочной железы смешиваются с частично переваренной пищей, изменяя ее химические свойства. Продукт

этой переработки проходит дальше по кишечнику. Следовательно, в этом месте протекают процессы, влияющие на нижележащие отделы ЖКТ и на большинство механизмов регуляции уровня глюкозы, о которых я и говорил.

В экспериментах, проведенных мной с сотрудниками на крысах, больных диабетом, мы ввели животным гибкую силиконовую трубку в обход двенадцатиперстной кишки; по ней и продвигалась дальше пища. В результате ее частички нигде не соприкасались с выстилкой двенадцатиперстной кишки и не смешивались с желчью, и уровень глюкозы в крови заметно стабилизировался. Затем мы проделали в трубке отверстия, через которые происходила утечка питательных веществ; в результате антидиабетический эффект устройства был утрачен.

Гибкие пластиковые трубки, позволяющие обойти двенадцатиперстную кишку, уже применяются при операциях на человеке. Они предназначаются для имитации эффектов желудочного шунтирования и получили одобрение в странах Европы и США. У пациентов, подвергшихся этой процедуре, симптомы диабета в значительной мере смягчились. Еще один, более результативный подход состоит во введении в двенадцатиперстную кишку баллончика, заполняемого горячей водой, используемой для уничтожения клеток, обычно контактирующих с пищей. Первые испытания на добровольцах, страдающих диабетом II типа, дали обнадеживающие результаты.

Уже не один раз хирургия приводила к открытиям, в областях, казалось бы, никак с ней не связанных. Еще в 1889 г. немецкий патологический физиолог Оскар Минковский (Oskar Minkowski) удалил у собаки поджелудочную железу, отчего у нее возник диабет, а эта работа создала предпосылки к открытию в 1921 г. Фредериком Бантингом (Frederick Banting) и другими инсулина. Почти через 100 лет операции на ЖКТ привели к разработке новых подходов к лечению диабета — подходов, которые помогают больным обходиться без инсулина и даже позволяют навсегда избавиться от недуга. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Mechanisms underlying Weight Loss after Bariatric Surgery. Alexander D. Miras and Carel W. le Roux in *Nature Reviews of Gastroenterology and Hepatology*, Vol. 10, No. 10, pages 575–584; October 2013.
- Time to Think Differently about Diabetes. Francesco Rubino in *Nature*, Vol. 533, pages 459–461; May 26, 2016.

Цикл телепрограмм

# ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР



Автор и ведущая —  
**Эвелина Закамская**

**РОССИЯ 24**

очевидное  
невероятное **Н**

**Н** ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ  
**Научная Россия**



**Дирк Хельбинг:**  
как выжить  
в информаци-  
онной лавине

**Виктор Матвеев:**  
увидеть миг  
рождения материи

**Джек Ма:**  
«бесплатно» —  
очень дорогое слово

**Джон Перкинс:**  
исповедь  
раскаявшегося шпиона

**Майкл Газзанига:**  
автор концепции  
«криминального мозга»

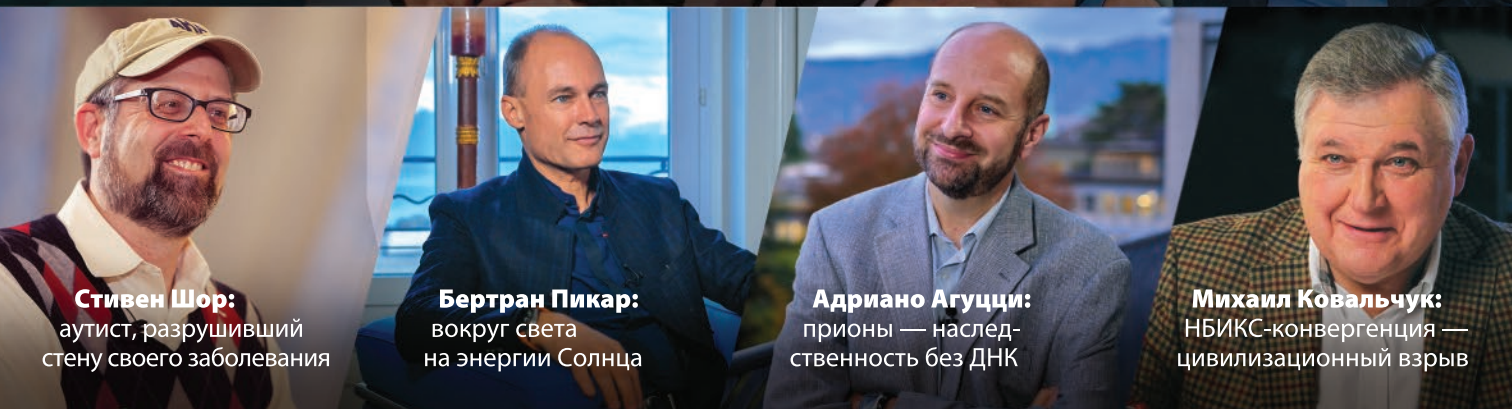


**Джин Шарп:**  
человек,  
взорвавший мир

**Ноам Хомский:**  
интеллектуал  
Западного полушария

**Дэвид Гросс:**  
физика — это приключение

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



**Стивен Шор:**  
аутист, разрушивший  
стену своего заболевания

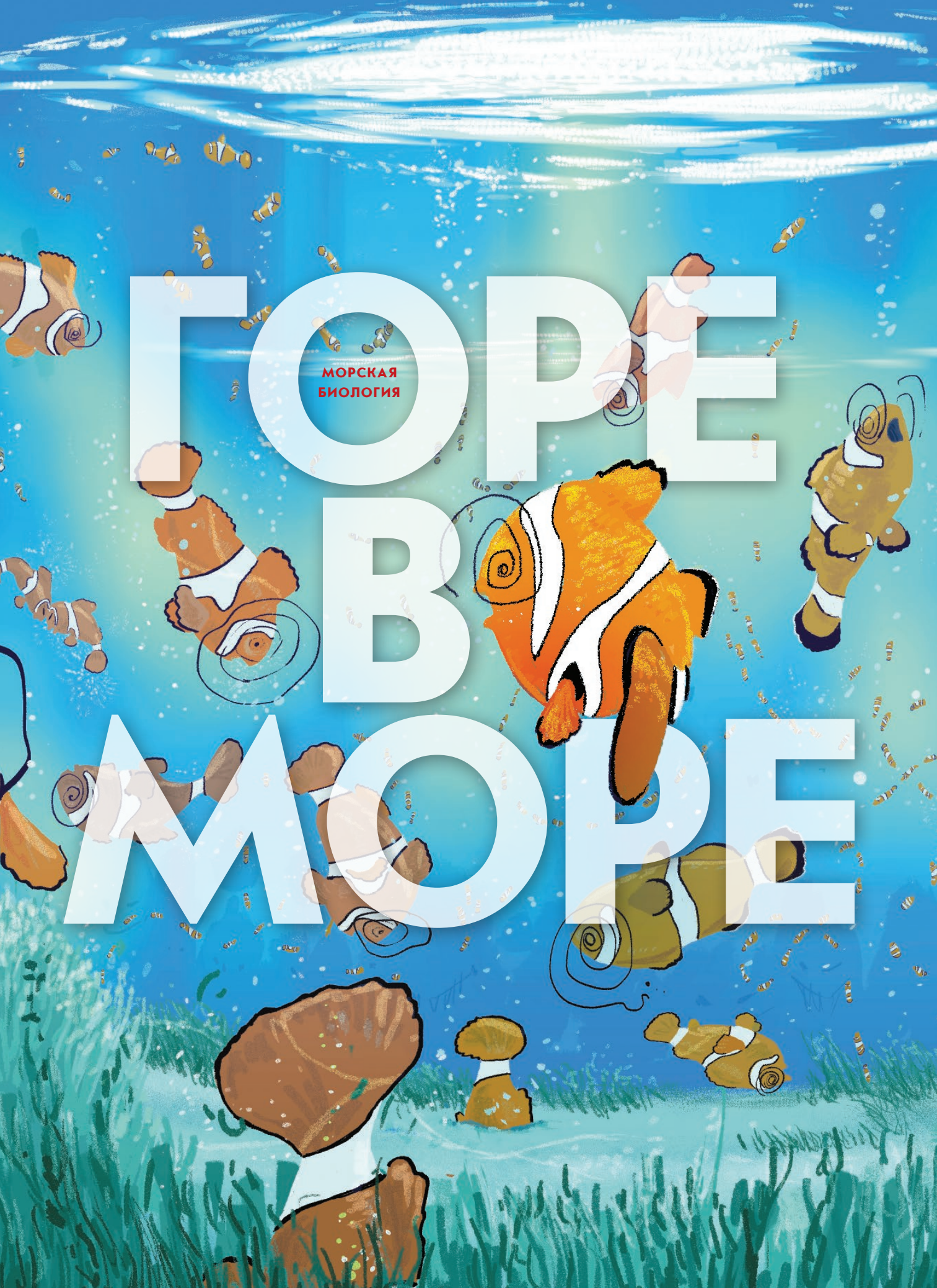
**Бертран Пикар:**  
вокруг света  
на энергии Солнца

**Адриано Агуцци:**  
прионы — наслед-  
ственность без ДНК

**Михаил Ковальчук:**  
НБИКС-конвергенция —  
цивилизационный взрыв

# ГОРЬ В МОРЕ

МОРСКАЯ  
БИОЛОГИЯ





## Закисление Мирового океана оказывает пагубное влияние на поведение многих морских существ

Даниэль Диксон

**В**сю свою взрослую жизнь амфиприоны, или рыбки-клоуны, проводят среди ядовитых щупалец растущих на коралловом рифе актиний. Но между появлением на свет и достижением зрелости эти рыбы должны совершить опасное для жизни путешествие. Вылупившись из икринок, крошечные личинки амфиприонов покидают риф и выплывают в открытое море, чтобы завершить здесь свое развитие, не став при этом жертвами многочисленных хищников. Через 11–14 дней подросший малек готов вернуться на коралловый риф и выбрать в качестве жилища подходящий вид актинии.

Но чтобы достичь этого убежища, ему придется преодолеть опасную преграду из голодных ртов губанов, крылаток и прочих хищных обитателей рифа, готовых в любой момент поживиться маленькой рыбкой. Успешнее всего этот барьер преодолевают юные рыбы, способные различать запахи хищников.

Обоняние — это способность животных улавливать растворенные в воде молекулы химических веществ, распознавать их и надлежащим образом реагировать на их обнаружение. Этот тонкий механизм выживания может вывести из строя даже небольшое изменение химического состава морской воды. В последнее время ученые все чаще начинают задаваться вопросом, какие события могут происходить в океане по мере того, как его воды становятся все более кислыми, — процесс, который отмечается сегодня во всех частях Мирового океана в результате все большего поглощения его водами углекислого

газа из атмосферы. В 2010 г. мои коллеги и я провели несложный эксперимент. Мы поместили в лабораторный морской аквариум примерно 300 недавно вылупившихся личинок амфиприонов и в течение 11 дней тщательно следили за их поведением. Когда мы добавляли в воду запах неопасных рыб, мальки на него не реагировали. Но как только в аквариум вносился запах хищника (например, рыбы из отряда трескообразных лотеллы новозеландской), мальки тут же устремлялись прочь.

Затем мы повторили этот опыт с участием 300 новых личинок амфиприонов от тех же родителей, но на этот раз вода в аквариуме была более кислой — примерно с такой же *pH*, какой, по нашим расчетам, будет иметь вода в некоторых частях Мирового океана к 2100 г., если сохранится существующий характер морских течений. Мальки в этих условиях развивались вполне нормально, но ни один из них даже не пытался отплыть подальше от запаха хищника.

## ОБ АВТОРЕ

**Даниэль Диксон** (Danielle L. Dixon) — морской биолог, доцент Делавэрского университета. Изучает влияние климатических изменений и деградации природной среды на поведение морских организмов.



## Кислый вызов

По сути дела, рыбки даже чаще перемещались в сторону опасного раздражителя, чем в противоположном направлении. А когда мы одновременно добавляли в воду запахи хищной и нехищной рыб, амфиприоны, казалось, никак не могли решить, какому из них отдать предпочтение, и затрачивали одинаковое время на перемещение к обоим раздражителям. Мальки явно ощущали эти химические сигналы, но не могли распознать их значение. Такое необычное поведение рыб вызывало удивление и беспокойство. Мы допускали, что подкисление воды может оказать некоторое влияние на функционирование их обонятельной системы, но никак не ожидали, что оно сможет заставить рыб плыть навстречу неминуемой гибели!

Если повышение кислотности воды нарушает обоняние амфиприонов, не исключено, что оно влияет и на работу других органов чувств, а также нарушает некоторые формы поведения. Кроме того, мы изучали обоняние лишь у одного из видов амфиприонов-клоунов, а ведь запахи играют огромную роль в жизни самых разных морских организмов. Вполне возможно, что дезориентация и нарушение привычных форм поведения могут стать еще одним стрессовым фактором в жизни рыб, и без того сильно страдающих от повышения температуры морской воды, чрезмерного вылова и сокращения кормовых ресурсов. А если необычное поведение начнут обнаруживать многие обитатели океана, под угрозой разрушения окажутся морские пищевые сети, паттерны миграции морских животных и даже целые экосистемы. Хотя результаты наших исследований имеют предварительный характер, они однозначно указывают на то, что рост кислотности морской воды вносит в состояние рыбьих умов страшную сумятицу.

С начала промышленной революции концентрация углекислого газа в атмосфере увеличилась с 280 до более чем 400 ppm (частей на миллион). Если бы на Земле не было океанов, которые поглощают от 30 до 40% высвобождающегося в атмосферу  $CO_2$ , этот показатель был бы сегодня значительно выше. Повышение уровня двуокиси углерода в морской воде вызывает химические реакции, приводящие к увеличению ее кислотности, то есть снижению pH. Кислотность поверхностных вод сегодня примерно на 30% выше, чем в конце XIX в., и если нынешние тенденции выброса углерода в атмосферу сохранятся до конца XXI в., их кислотность будет примерно на 150% выше, чем в те далекие времена.

Повышение уровня  $CO_2$  в воде вызывает разрушение минералов кальцита и арагонита — строительных материалов, необходимых многим морским существам для сооружения своих наружных скелетов (например, раковин). Исследователи, изучавшие моллюсков, морских ежей и планктонных организмов, отловленных в водах с высоким уровнем углекислого газа, обнаружили, что их экзоскелеты (раковины и панцири) сильно недоразвиты или деформированы. Тем не менее долгое время ученые считали, что рыбы и другие животные, лишенные наружного скелета, могут избежать многих последствий закисления морской воды. Отчасти такой вывод основывался на результатах старых исследований, проведенных еще в 1980-х гг. и показавших, что некоторые животные обладают поразительной способностью к регуляции химического состава своей внутренней среды, увеличивая или уменьшая количество содержащихся в ней бикарбонатов и хлоридов. Эти исследования, однако, касались лишь

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Повышение кислотности воды в Мировом океане, вызванное климатическими изменениями, нарушает некоторые формы поведения морских существ, имеющие принципиальное значение для их выживания.
- Как показывают опыты, акулы, рыбы-ласточки и крабы, выросшие или содержавшиеся в воде с высокой кислотностью, утрачивают способность распознавать запахи хищников или пищи, а нередко и природную осторожность.
- Неясно, однако, могут ли морские организмы адаптироваться к высокой кислотности воды при медленном изменении этого показателя. Ответ на этот вопрос поможет получить изучение рыб, живущих на вулканических рифах.



«внутренней» физиологии морских животных — в частности, их способности выживать в воде с повышенной кислотностью. Другое дело — нормально ли функционируют в таких условиях системы организма, обеспечивающие, например, добычу пищи или избегание опасностей? Наша исследовательская группа одной из первых попыталась получить ответ на следующий закономерный вопрос: может ли закисление океана изменять поведение животных?

### Странные запахи и звуки

Наши опыты с амфиприонами явно указывают на то, что повышение кислотности морской воды сильно отражается на поведении животных. Не менее тревожные результаты дали и некоторые другие исследования. Поскольку многие рифовые хищники обычно кормятся в дневные часы суток, молодые амфиприоны, возвращающиеся на риф для поиска подходящего убежища в виде актинии, стараются делать это ночью, когда большинство хищников спят, и, как правило, лишь при неярком свете луны. Но для крошечных рыбок навигация в открытом море почти в полной темноте — дело очень нелегкое, а потому в качестве ориентиров они используют звуки, издаваемые самим рифом и его обитателями. Спустя год после нашего обонятельного эксперимента мы решили выяснить, а не влияет ли подкисление морской воды и на функции слуховой системы.

Для этого мы помещали молодых амфиприонов в ящик, находящийся в аквариуме с морской водой. Когда в дневные часы суток через одну из стенок ящика мы предъявляли рыбкам звуки рифа (которые в естественных условиях вызывают у них избегательную реакцию), почти три четверти времени мальки держались у противоположной стенки ящика — подальше от источника опасных звуков. А затем мы использовали для опыта других юных рыбок, всю свою короткую жизнь проведших в воде, кислотность которой была на 60% выше обычной. Эти рыбы оказались гораздо менее осторожными, чем их предшественники: более чем на половину из них дневной шум рифа оказывал, по сути дела, притягательное действие.

Мы повторили этот опыт еще два раза — с водой, имевшей на 100% и 150% более высокую кислотность по сравнению с обычной (ожидаемая кислотность морской воды в 2050 и 2100 гг. соответственно). В обоих случаях амфиприоны проводили примерно 60% времени у стенки ящика, за которой помещался источник дневного шума рифа. Кроме того, мы провели специальные тесты, показавшие, что ни одна из подопытных рыбок не страдала нарушениями слуха. Дело было просто в том, что в условиях высокой кислотности воды амфиприоны утрачивали способность распознавать значимые звуковые сигналы.

У обитателей океана с подобными сенсорными нарушениями наверняка нарушено и поведение, связанное с избеганием хищников. Возможен, однако, и другой эффект: они не в состоянии вести достаточно эффективный поиск корма.

Акулы обладают фантастическим обонянием, которым они главным образом и руководствуются при навигации, поиске половых партнеров и жертв. Учитывая сенсорные нарушения, выявленные нами у амфиприонов, мы решили изучить возможное влияние закисления морской воды и на акул. В качестве подопытных животных мы использовали 24 взрослых американских собачьих акул — небольших рыб, мигрирующих в умеренных водах вдоль побережья Южной и Северной Каролины и южной части Новой Англии. Мы разделили этих рыб на три группы, каждую из которых помещали в небольшой круглый бассейн. Акулы первой группы плавали в обычной морской воде, взятой в местах их обитания. Акулы второй группы содержались в воде, *pH* которой соответствовала ожидаемой кислотности моря в 2050 г., а рыбы третьей группы — в воде с *pH*, ожидаемой в 2100 г. Кроме того, мы использовали в опытах крепкий настой из кальмаров (любимой пищи акул), замачивая их в воде и затем процеживая раствор через марлю.

Через пять дней мы выпускали каждую акулу в неглубокий резервуар длиной 10 м и шириной 2 м, *pH* воды в котором был таким же, как и в бассейне, где прежде содержалась рыба. В передней части резервуара находились два отверстия, выбрасывавшие слабые струи воды, одна из которых перемещалась вдоль его левого, а другая — вдоль правого бортика. Через некоторое время после помещения акулы в резервуар через одну из этих форсунок мы подавали в него кальмаровый настой. Если рыба по каким-либо причинам предпочитала плавать вдоль одного из бортиков резервуара, спустя некоторое время мы начинали подавать этот раствор через другую форсунку.

Висевшие над резервуаром видеокамеры позволяли нам непрерывно отслеживать происходящие с резервуаре события. Акулы первой группы (обычная морская вода) проводили более 60% времени в струе воды с аппетитным запахом кальмаров. Точно так же вели себя и акулы второй группы. Зато рыбы третьей группы активно избегали запаха своих естественных жертв: они проводили в струе, пахнувшей кальмарами, менее 15% времени. Были выявлены и другие различия в поведении рыб. Так, акулы первой группы то и дело тыкались рылом в кирпич, выступавший перед отверстием, откуда вытекал кальмаровый настой. Этот трюк они проделывали в два раза чаще, чем акулы второй группы и в три раза чаще рыб третьей группы.

Хищник, потерявший интерес к запаху любимой пищи и даже избегающий его, — удивительное зрелище. Учитывая важность акул как

хищников высшего порядка в морских экосистемах и их уязвимость к изменениям окружающей среды, можно думать, что закисление океана — одна из главных угроз для существования этих рыб и населяемых ими экосистем.

### Как плохо быть храбрым

Поведение, обнаруживаемое животными в лабораторных условиях, далеко не всегда можно наблюдать и в природе. Руководствуясь этим соображением, мы решили изучить еще одно качество рыб — их смелость и решимость — в песчаной лагуне у одного из северных островов Большого Барьерного рифа. Нам хотелось оценить реакции на запахи хищников молодых рыб-ласточек, выловленных в море и содержавшихся в течение четырех дней в воде с повышенной кислотностью. Когда мы изучали поведение этих рыб в лабораторном резерву-

## **Закисление океанов сильно нарушает поведение морских существ. Но как? Ряд исследователей считают, что снижение $pH$ воды непосредственно изменяет восприятие животными запахов и звуков. Эксперименты, однако, свидетельствуют о том, что рыбы легко идентифицируют химические сигналы в воде с высоким содержанием диоксида углерода**

аре, заполненном водой с  $pH$ , ожидаемым в 2050 г., оказалось, что примерно у половины из них струя воды с запахом хищника вызывает реакцию приближения, а у другой половины — избегание. В воде с  $pH$ , ожидаемым в 2100 г., запах хищника оказался привлекательным для 100% рыб!

Снабдив рыб-ласточек специальными опознавательными метками, мы выпускали их на небольшой искусственный риф, сооруженный нами в лагуне. Рыбы, содержавшиеся в наиболее кислой воде, обнаруживали и самое рискованное поведение: вместо того чтобы держаться рядом с безопасными зарослями кораллов, они отплывали далеко от рифа и делали это гораздо чаще, чем рыбы, содержавшиеся в обычной морской воде. Когда исследователь-дайвер пугал их и отгонял к кораллам, рыбы, содержавшиеся в подкисленной воде, выплывали из укрытия гораздо раньше, чем другие их сородичи. И, разумеется, отважные рыб-ласточки, содержавшиеся в самой кислой воде,

становились жертвами хищников в девять раз чаще, чем их осторожные сородичи, содержавшиеся в обычной воде. Рыбы, плававшие в воде с  $pH$ , ожидаемым в 2050 г., оказались менее храбрыми, но тоже нередко отплывали далеко от рифа; они становились жертвами хищников в пять раз чаще своих трусливых сородичей.

Ученые любят экспериментировать с рифовыми рыбами: за ними просто наблюдать, а их поведение легко предсказуемо. Но настаивающие расстройке поведения исследователи обнаружили и у других обитателей моря. Ученые из Института подводных исследований в заливе Монтерей, штат Калифорния, выращивали раков-отшельников в сильно подкисленной морской воде. В отличие от рыб-ласточек храбрости ракам это не прибавило, зато при нападении искусственных хищников (игрушечных осьминогов) им требовалось гораздо больше времени, чтобы выбраться из своей раковины.

Чилийские исследователи изучали ложных морских ушек — крупных моллюсков, живущих на камнях на периодически заливаемых водой морских побережьях. Когда сильные волны отрывают моллюсков от камней, обычно они быстро прикрепляются к ним вновь — благодаря этому морские ушки недолго остаются в толще воды, где превращаются в легкую добычу хищников. Если уровень  $CO_2$  в воде повышался на 50%, некоторые моллюски затрачивали меньше времени на повторное прикрепление к камням, чем обычно. Но моллюски,

выращенные в еще более кислой среде, выбирали неправильное направление перемещения, пытались спастись от затаившихся поблизости крабов, а некоторые из них и вовсе устремлялись навстречу клешням хищников, вместо того чтобы отползти от них прочь.

Эти и другие опыты явно указывают на то, что закисление океанов сильно нарушает поведение морских существ. Но как? Ряд исследователей считают, что снижение  $pH$  воды непосредственно изменяет восприятие животными запахов и звуков. Эксперименты, однако, свидетельствуют о том, что рыбы легко идентифицируют химические сигналы в воде с высоким содержанием диоксида углерода. По мнению других ученых, изменения в поведении животных — результат стресса, возникающего у них при попытках восстановить нормальный уровень кислотности во внутренней среде организма, но это предположение требует дополнительных исследований.

Йоран Нильссон (Göran Nilsson) из Университета Осло выдвинул иную гипотезу, которую мы решили проверить в сотрудничестве с Филипом Манди (Philip Munday) из австралийского Университета Джеймса Кука. Нильссон предположил, что подкисление воды сказывается на функциях нейротрансмиттера гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК), угнетающего проведение нервных сигналов в головном мозге и других частях нервной системы многих животных и человека за счет увеличения проницаемости нейронных мембран для ионов хлора. Когда рыбы находятся в среде с повышенным уровнем  $CO_2$ , они выводят хлориды из организма и поглощают бикарбонаты, чтобы минимизировать изменение  $pH$  в теле. Этот биохимический сдвиг, однако, приводит к активации рецепторов ГАМК, следовательно, и к подавлению нервных сигналов. Когда рыб, подвергавшихся воздействию высоких концентраций углекислого газа, помещали затем в воду, содержащую габазин (антагонист ГАМК-рецепторов), спустя примерно 30 минут нормальное поведение у них восстанавливалось. Но чувствительность к ГАМК у разных видов рыб различна, а потому непонятно, выступает ли этот фактор основной причиной поведенческих нарушений.

### Смогут ли они адаптироваться?

Когда я рассказываю о последствиях закисления океанов, чаще всего мне задают вопрос о шансах морских существ приспособиться к этому процессу. Природа обладает фантастической способностью к самовосстановлению. А потому предсказать, сможет ли организм адаптироваться к тем или иным изменениям среды, очень трудно, а прогнозировать такую возможность для сложно устроенных экосистем практически невозможно.

Тем не менее исследования указывают на некоторые общие тенденции в этом отношении. Так, изменение обонятельной чувствительности было обнаружено и у взрослых акул, и у молоди амфиприонов-клоунов. Похоже, существует и некий критический уровень  $pH$ , при котором сильно меняется поведение рифовых рыб: когда  $pH$  воды достигает значений, ожидаемых к 2050 г., поведенческие нарушения обнаруживают примерно половина рыб, а при снижении этого показателя до уровня, ожидаемого к 2100 г., — практически все рыбы.

Возникает, однако, вопрос, не осложняет ли ситуацию высокая скорость закисления воды в экспериментах. В большинстве проведенных исследований рыбы выращивались или содержались в среде с повышенным уровнем  $CO_2$  в течение очень короткого времени — всего несколько дней или месяцев. По сути дела, это лишало животных реальной возможности адаптироваться к необычным условиям. Вот почему по мере дальнейшего

постепенного закисления океана так или иначе придется изучать рыб в природной среде.

Один из подходов — присмотреться к рифам, где из трещин морского дна высвобождаются вулканические газы, которые естественным образом подкисляют окружающую воду до уровня, ожидаемого к 2100 г. Посетив такие вулканические рифы в Папуа — Новой Гвинее, мы обнаружили, что обитающие там молодые рыбы-ласточки не различают запахи хищных и нехищных рыб и демонстрируют такое же рискованное поведение, как и их сородичи в наших лабораторных опытах.

Мы не знаем также, передаются ли описанные поведенческие нарушения по наследству. Биологи лишь приступили к изучению этого вопроса. Но в одном из исследований было показано, что потомство рифовых рыб, выросших в условиях повышенного уровня двуокиси углерода в воде, не обнаруживает каких-либо преимуществ при адаптации к кислой среде.

Закисление океана — лишь один из многочисленных стрессоров в жизни морских существ. Чрезмерный вылов рыбы, повышение температуры морской воды, загрязнение морей, сокращение численности акул и других хищников высшего порядка и деградация естественных мест обитания — все эти процессы пагубно отражаются на жизни океанов. Но если локальные проблемы (например, отлов акул ради вкусных плавников) вполне разрешимы усилиями местных властей, то такие глобальные вредные влияния, как повышение температуры и подкисление морской воды вполне могут стать той соломинкой, которая ломает хребет многим видам морских существ. Изучая влияние всех этих стрессовых факторов на физиологическое состояние обитателей океана, нельзя забывать и об их возможном влиянии на когнитивные способности и поведение этих существ, которые не менее важны для их выживания. ■

Перевод: А.В. Щеглов

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Доней С. Кислый океан? // ВМН, № 6, 2006.
- Behavioural Impairment in Reef Fishes Caused by Ocean Acidification at  $CO_2$  Seeps. Philip L. Munday et al. in Nature Climate Change, Vol. 4, pages 487–492; June 2014.
- Odor Tracking in Sharks Is Reduced under Future Ocean Acidification Conditions. Danielle L. Dixon et al. in Global Change Biology, Vol. 21, No. 4, pages 1454–1462; April 2015.



# НА ПЕРЕКРЕСТКЕ ВСЕХ НАУК

Между Россией и Беларусью идет процесс создания единого научного пространства. Координацией научного сотрудничества ученых Российской академии наук (РАН) и Национальной академии наук (НАН) Беларуси на государственном уровне занимается Межакадемический совет по проблемам развития Союзного государства (МАС).



Встречу сопредседатель МАС академик **Петр Александрович Витязь** назначил в Национальной академии наук Беларуси. Внутри тихо и спокойно. Справа макет первого спутника Земли, созданного белорусскими специалистами, слева — модель дрона, не уступающего по красоте линий своему космическому коллеге. Оба экспоната — своеобразные символы достижений науки Беларуси и России, так как созданы усилиями ученых обеих стран. С П.А. Витязем мы знакомы давно. Встречались на конференциях в Москве и Минске, на разных юбилеях, на совместных заседаниях президиумов академий, других мероприятиях, которые проходили в рамках Союзного государства. Однако откровенного разговора о жизни не случилось. Нынешний — первый.

— **Каковы истоки фамилии, столь непривычной для Беларуси?**

— Разве? Напротив, привычная. Ведь слово «витязь» и на русском, и на белорусском языках означает одно и то же — «богатырь».

— **Приходится соответствовать?**

— А как же иначе!

— **Откуда вы родом?**

— Я родился на хуторе. Было десять гектаров земли. Мы сеяли, пахали, в общем, вели натуральное хозяйство. В школу я ходил в Березовскую, пять километров по шоссе Брест — Минск — Москва. Ну а дальше все обычно: окончил институт, работал на заводе «Ударник». Там была лаборатория порошковой металлургии. Увлёкся новой областью, она стремительно развивалась. Начали создавать новые материалы. Наша отраслевая лаборатория на «Ударнике» стала известной. В 1966 г. попал в Швецию на стажировку на десять месяцев. Там поднял свой уровень знаний. Вернулся в Минск, стали интенсивно работать с Сибирским отделением Академии наук СССР. Академик М.А. Лаврентьев тогда начал использовать энергию взрыва для получения новых материалов и на производстве. Я стал мастером-взрывником. Взрывал все, что можно...

— **Звучит слегка воинственно.**

— М.А. Лаврентьев использовал энергию взрыва для горных пород, а мы — для получения новых материалов, для прессования порошков, сварки взрывом. Вместе с учеными Сибири мы синтезировали материалы, изучали воздействие высоких энергий и скоростей на материалы. И второе направление — порошковые материалы и технологии.

— **Целая отрасль науки и техники выросла из небольшой заводской лаборатории?**

— Да, это так. Появился институт, а потом на его базе концерн. В институте мы готовили кадры для всего Советского Союза, проводили международные конференции, а также создавали специальные материалы. Контакты у нас были с Институтом проблем материаловедения в Киеве, но в основном все-таки с Сибирским отделением АН СССР — оно было ближе нам по духу.

— **И в чем именно это выражалось?**

— В реализации научной идеи, доведении ее до производства. Я как первый заместитель председателя нашей академии отвечал за работу с СО РАН. Так что с сибиряками мы работаем очень плодотворно.

— **Вы встречались с М.А. Лаврентьевым?**

— Я был рядом, когда мой научный руководитель О.В. Роман беседовал с М.А. Лаврентьевым. Когда я пришел на работу в лабораторию, Олег Владиславович приехал из США, где он был на стажировке. Именно он начал создавать нашу школу специалистов по порошковой металлургии. О.В. Роман родился во Владивостоке, приехал после войны в Белоруссию, возглавил кафедру металлургии. Сначала это была технология металлов, а потом выбрали направление порошковой металлургии. До этого была создана отраслевая лаборатория. И, поскольку порошковая металлургия — это изготовление деталей, которые другим способом сделать нельзя, она начала развиваться. В то время расширялись Минский тракторный завод, МАЗ, БелАЗ, нужны были фрикционные материалы, а получать их можно с помощью порошковой металлургии.

— **И вы стали пионерами в этой области?**

— Одно из направлений — фрикционные материалы. Оно у нас очень сильно развито и продолжает развиваться. Второе направление — различные пористые материалы. Третье направление — использование энергии взрыва для получения композиционных материалов.

Я активно занимаюсь двумя направлениями. Прежде всего, это создание материалов и технологий для машиностроения. Можно привести десятки примеров в этой области. Продукцию мы представляем в разных странах мира, но в первую очередь делаем ее для России. И второе направление — создание уникальной техники.

Мне повезло встретиться с нашим легендарным машиностроителем М.С. Высоцким. Это генеральный конструктор МАЗ, потом объединения. Одно время он был вице-премьером и вице-президентом в Национальной академии наук. Мы объединились, и нам удалось создать полигон для

испытания машин. Разработали совместно ряд технологий, создали центр по виртуальному проектированию машин и виртуальным расчетам, установили связь со всеми конструкторскими бюро. У нас был совет конструкторов по машиностроению, где обсуждались все вопросы. Мы активно участвовали в развитии машиностроения в республике Беларусь.

**— Я видел на Кольском полуострове, а потом и в Сибири машины, созданные в Беларуси. Оказывается, они работали лучше, чем японские и американские, которые в сильные морозы выходили из строя. Как вам удалось превзойти их?**

— Это опять-таки люди и технологии. В свое время было принято решение построить в Белоруссии завод тяжелого машиностроения. У нас уже были МАЗ, тракторный завод, то есть были инженерные кадры. На БелАЗ создали очень хорошее конструкторское бюро. Взялись за техническое состояние. И поскольку в Советском Союзе не было других заводов, то определили, какие машины нужны. Ресурс работы — порядка 300 тыс. км. Легендарный директор завода П.Л. Мариев поставил задачу: довести ресурс до 1 млн км. Мы создали совет по БелАЗ. Его возглавили П.Л. Мариев и я. И сейчас я сопредседатель этого совета и центра. Мы систематически встречаемся, обсуждаем проблемы. Генеральный директор ежегодно проводит конференции, на которые приглашаются специалисты и потребители. Выясняется, что не работает, что можно улучшить, что нужно сделать, чтобы снизить себестоимость, и т.д. Постепенно пошел рост грузоподъемности, за счет новых материалов и технологий увеличился ресурс. Сейчас машины ходят уже более 1 млн км, создан МАЗ-гигант на 450 т. В нем реализованы ряд технических и технологических решений, которые не использовал никто в мире. Нам удалось создать команду, организовать взаимодействие науки и производства. И второе, что очень важно. Я считаю, что это своевременное техническое переоснащение. Когда П.Л. Мариев был генеральным директором, он сумел переоснастить завод за счет кооперации с зарубежными фирмами, поставки им продукции.

**— Павел Лукьянович однажды сказал, что академия наук Белоруссии по сути представляет собой главный цех его завода.**

— Так и есть. П.Л. Мариев сейчас возглавляет научно-технический центр карьерной техники и технологий государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси».



Сопредседатель Межакадемического совета по проблемам развития Союзного государства академик П.А. Витязь

**— Единение науки и производства характерно для вашей академии наук?**

— В большинстве случаев да. И там, где это осуществлено, работа идет плодотворно. У нас не получилось с развитием химической промышленности. В свое время было закуплено очень много зарубежных предприятий химической промышленности, а вся инженерная и научная школа была в России.

**— В свое время в Беларуси было принято 12 государственных научно-технических программ. Как они реализуются?**

— Стараемся доводить их до конца, хотя, конечно, есть проколы. Но в целом они выполняются. Каждый год мы принимаем четыре-шесть российско-белорусских программ.

Сейчас выполняем шесть программ, где мы выступаем заказчиками. Нам делегированы права заказчика в Республике Беларусь. К сожалению, у РАН таких полномочий нет. Я отвечаю за сотрудничество с Россией в нашей академии наук. Те программы, которые мы выполнили, не могут не впечатлять. Возьмем космос. С «Роскосмосом» у нас подписано правительственное соглашение. Мы выполняли ряд программ, это дало нам возможность поднять уровень наших знаний в области космонавтики. Мы сделали вместе с россиянами спутник дистанционного зондирования Земли. Первый, к сожалению, не взлетел. А вот второй до сих пор летает. 22 июля этого года исполнилось пять лет, как он успешно эксплуатируется на орбите. Сейчас мы готовим новый спутник дистанционного зондирования более высокого разрешения.

**— Космос поднимает уровень науки?**

— Естественно. Лазерная техника, атомная энергетика, космос, конечно, наноматериалы

и биотехнологии — это современный уровень науки и технологии, где необходимо высочайшее знание. В этих областях создаются материалы и техника, которые затем используются во всех отраслях. Например, космической технике нужны высокопрочные и легкие материалы. Значит, идет развитие материаловедения. Для космических аппаратов нужны специальная электроника, специальная оптика, своя система управления, программное обеспечение и т.д. Созданное для космоса сразу идет в другие сферы. Поэтому тем направлениям, которые интегрируют развитие nanoотраслей, приборостроение, материаловедение, технологии, новую технику, надо уделять особое внимание.

**— В Беларуси проведен уникальный эксперимент. Я имею в виду трансгенных коз. Знаю, что вы активно поддерживали эту работу. Почему?**

— Я рад, что стоял у истоков эксперимента. Теперь мы знаем, что такое трансген. Мы впервые в мире получили трансгенных коз и теперь работаем над созданием новых лекарственных препаратов. У нас есть стадо таких животных.

**— И сколько их сейчас?**

— Около 300. Вместе с российскими коллегами мы решили проблему извлечения лактоферрина. Мы начали его получать в лабораторных условиях, а дальше будем ставить промышленное производство, чтобы создавать различные продукты питания и лекарства. К сожалению, в России заморозили работы в связи с законом о трансгенах и ГМО. Я считаю, что нельзя вмешиваться в развитие науки. В свое время были гонения на генетику и кибернетику, и это привело к печальным последствиям.

**— До сих пор расплачиваемся за те ошибки.**

— Мировая наука идет по этому направлению. Да, нужно исследовать, изучать влияние новых лекарств, защищаться от вредных последствий, если они есть. Но все это не имеет отношения к лактоферрину, который повышает иммунитет человека, защищает от различных болезней и который так нужен маленьким детям.

**— Какие совместные программы вы бы отметили?**

— У нас неплохо шло сотрудничество по системе машин для сельского хозяйства, но, к сожалению, сейчас застопорилось. Была программа «Картофель и топинамбур». Мы свою часть выполнили, получили очень хорошие результаты, но, к сожалению, программа остановлена российской стороной. Тем не менее по сельскому хозяйству некоторые совместные работы идут успешно. Это прежде всего семеноводство, селекция. Работы идут на прямых связях между нашими учеными и производственниками.

**— Почему в Беларуси ученым комфортно работать? И даже уезжая отсюда, они стараются вернуться.**

**П.А. Витязь** — автор около 200 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством и при личном участии разработано более 60 новых технологий. Круг его интересов необычайно широк: от общего машиностроения и порошковой металлургии, интрида бора, керамики, алмазов и фуллеренов до атомной электростанции, космоса, разведения рапса и клюквы. Среди его учеников — 16 докторов и 23 кандидата наук. Он автор почти 1 тыс. научных работ, в том числе около 60 монографий и учебных пособий.

— У белорусов специфический характер — спокойный, уравновешенный. Мы выросли на земле, большинство из сельской местности. Мы все прошли путь трудового воспитания. Мы работоспособные, знаем, что такое труд, и он нас воспитывал. Например, прежде чем пойти в школу, я должен был накормить птицу, свинью, напоить корову и т.д. Каждый из нас — а семья была большая: пять братьев и две сестры — знал свои обязанности и неукоснительно их выполнял. Естественно, человек, который имеет трудовое воспитание, не боится работы. Он соображает, как лучше ее сделать. Ну и, кроме того, во время войны людям приходилось искать пути, как жить и побеждать в этих условиях.

**— Думаю, надо обязательно сказать, что в Беларуси делают стартовые комплексы для самых мощных ядерных ракет России. Это ведь уже не секрет?**

— Все знают, что у нас есть предприятия, которые делают многоколесные машины.

**— Я видел несколько пусков ракет. Поразило, что после них стартовый комплекс вновь готов к работе. Он выдерживает и гигантские нагрузки, и огромные температуры. Как вам это удается?**

— Опять-таки материалы, технология, расчеты. Инженеры умеют не только делать, но рассчитать, что и как нужно сделать. Такой цех был на МАЗ. Потом выделили его в отдельное предприятие, которое сегодня специализируется на таких пусковых установках.

**— Мы должны помнить, что ракеты делаются в России, а стартовые комплексы — в Беларуси.**

— Я хотел затронуть этот вопрос. У нас очень хорошие взаимоотношения с Россией, но, к сожалению, стратегически не всегда правильные. Ведь у нас 40% комплектующих из России. Естественно, нам нужно было сразу определиться, что делает Россия, а что Беларусь, и вместе занимать треть рынка. Мы же конкурируем между собой. Это стратегически неверно, хотя решение президентов выработать общую промышленную политику присутствует. ■

**Беседовал Владимир Губарев**

## На утверждение совместного проекта уходят два-три года

**О** проблемах двустороннего научного сотрудничества, тематике исследований и будущих проектах нам рассказал вице-президент РАН, член Межакадемического совета по проблемам развития Союзного государства, доктор химических наук Сергей Михайлович Алдошин.

### — Сергей Михайлович, как сегодня строится работа по совместным российско-белорусским научным проектам?

— У нас заключено соглашение в рамках Союзного государства о сотрудничестве двух академий наук. Ежегодно проходит заседание президиума двух академий — либо в Москве, либо в Минске. В последние годы акцент в обсуждаемых на президиуме темах сместился с социально-экономических вопросов создания Союзного государства на проблематику научного сотрудничества. В частности, мы слушаем отчет о проделанной работе научных коллективов, с докладами выступают ученые, которые получили значительные результаты в ходе своих исследований. На этих заседаниях рассматриваются также предложения двух сторон по подготовке новых исследовательских проектов.

В перерывах между заседаниями президиума всю текущую работу выполняет МАС. Он имеет трех сопредседателей: со стороны России совет возглавляет академик РАН Ж.И. Алферов, от Беларуси — руководитель аппарата НАНБ академик П.А. Витязь, а комитет Союзного государства представляет А.А. Кубрин. Фактически они отвечают за всю текущую работу между заседаниями президиума.

### — Из каких источников финансируется научное сотрудничество двух стран?

— Программы Союзного государства по научным проектам очень важны. Во-первых, поддержанные проекты получают хорошее финансирование. Во-вторых, это способ организации постоянного сотрудничества между белорусскими и российскими учеными. Конечно, есть Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), который сотрудничает с соответствующим фондом фундаментальных исследований Республики Беларусь. И основная часть небольших научных работ ведется в рамках совместных грантов двух фондов. Но крупные проекты, которые выходят на стадию реализации, выполняются в рамках научных программ Союзного государства.

### — Какие проекты уже удалось выполнить?

— Сделано много интересных работ. Например, проведено несколько исследований по суперкомпьютерной технике: разработаны вычислительные

комплексы для разных научных задач, которые нашли свое применение в различных сферах, в том числе и в нефтедобыче.

Более того, идеология проекта по созданию одного из самых мощных суперкомпьютеров России — суперкомпьютера «Ломоносов», который установлен в Московском государственном университете, — начала разрабатываться в рамках этого сотрудничества.

Много проектов выполняется в рамках космических исследований, в том числе по дистанционному зондированию Земли. В последнее время активно развивается сотрудничество российских и белорусских ученых в области биотехнологий. Традиционно много проектов, связанных с сельским хозяйством, поскольку Беларусь по большей части страна сельскохозяйственная.

Самые яркие совместные работы, выполненные в рамках сотрудничества по программам Союзного государства, отмечаются специальной премией. Она присуждается за работы, выполненные по трем номинациям: в науке, инжиниринге и социальных науках. Лучшим ученым на заседании президиума академий вручаются дипломы и денежные призы.

### — Белорусская сторона отмечает, что некоторые проекты, в том числе по сельскому хозяйству, срываются. Что мешает полноценному сотрудничеству?

— Проблемы в создании таких проектов в большей степени есть у РАН. Наша академия наук сейчас осуществляет научно-методическое руководство научными институтами, а за организацию самих исследований в них отвечает Федеральное агентство научных организаций. Поэтому надо согласовывать участие институтов в таких проектах между РАН и ФАНО.

Но это не самое главное. Основная проблема в том, что РАН не имеет функции государственного заказчика. Госзаказчиком может выступать ФАНО, но оно еще не имеет опыта в этой части, и не всегда удается подготовить такие проекты, чтобы заказчиком-координатором выступало агентство научных организаций.

НАНБ давно имеет функции госзаказчика, более того, она может брать на себя функции заказчика — координатора разных заказчиков в стране. Поэтому совместные проекты со стороны Беларуси находятся в большей степени под финансовым и научным контролем НАНБ, чем те же проекты с нашей стороны.

Было время, когда российские институты РАН практически не участвовали в совместных с НАНБ исследованиях, так как госзаказчиками выступали, например, Министерство промышленности, Министерство сельского хозяйства России. Эти ведомства привлекали в проект различные ООО, и это приводило к тому, что российская часть



научных проектов была представлена слабо или не выполнялась вовсе. Какая серьезная наука может быть в небольших коммерческих компаниях?

— **Удалось изменить ситуацию?**

— Вопросы пока остаются. Но мы работаем над этим. Надеемся, ситуация сдвинется с мертвой точки.

— **Будут ли возобновлены проекты, которые закрыты или приостановлены по инициативе российской стороны? Например, исследование лактоферрина?**

— Да, был очень хороший проект по изучению этого полифункционального белка человека. В нем как раз участвовали институты Российской академии наук. И были созданы важные препараты. Сейчас он приостановлен, но уже несколько раз Постоянный комитет Союзного государства критиковал заказчиков за то, что проект не был завершен, поскольку он имеет хорошие перспективы. Я думаю, что мы его продолжим в ближайшее время.

— **Белорусская сторона отмечает, что ряд исследований, которые сейчас проводят отдельно российские и белорусские ученые, дублируют друг друга. В итоге вместо сотрудничества появляется конкуренция.**

— Во всем мире ведутся исследования, которые где-то пересекаются. Но это не значит, что они дублируются, так как результаты не совпадают на 100%. Сотрудничество с Беларусью развивается в тех направлениях, интересы в которых совпадают. Скорее, здесь есть проблема сотрудничества в смежных областях — важно сделать так, чтобы ученые двух стран дополняли друг друга.

Сейчас мы ведем работу по определению приоритетов в нашем сотрудничестве с НАН Беларуси, чтобы они соответствовали также Стратегии научно-технологического развития или Националь-



Член МАС, вице-президент РАН академик С.М. Алдошин

ной технологической инициативе, принятым в нашей стране. С белорусской стороной мы стараемся координировать нашу работу так, чтобы проекты находились в рамках либо Стратегии НТР, либо НТИ, на пересечении интересов.

— **Кто занимается экспертной оценкой таких проектов?**

— Для того чтобы проекты имели действительно серьезную научную основу, мы планируем создать экспертные советы. Исследования должны проходить серьезную научно-техническую экспертизу и в Беларуси, и в России. После утверждения исследования совместные советы будут заниматься мониторингом уже запущенных проектов.

— **Сколько сейчас российские и белорусские ученые проводят совместных исследований в рамках проектов Союзного государства?**

— Сейчас, к сожалению, таких проектов немного из-за очень длинной цепочки принятия решений. Я не могу сказать, что она слишком бюрократичная, но длинная. Чтобы проект начал получать финансирование, требуются два-три года, а иногда и больше. За это время устаревают научные разработки. Итак, более успешному сотрудничеству с коллегами из Беларуси нам мешают две главные проблемы: первая — отсутствие у РАН функций госзаказчика, вторая — длинная процедура принятия решений. Эти проблемы все время находятся в поле зрения МАС и руководства двух академий. На прошедшем в июне IV Форуме регионов России и Беларуси эти проблемы обсуждались с президентами двух стран, поэтому мы рассчитываем на их решение в ближайшей перспективе. ■

**Межакадемический совет по проблемам развития Союзного государства (МАС)** создан в 2004 г. В его состав входят ведущие ученые российской и белорусской академий наук, а также представители Постоянного комитета Союзного государства. В задачи МАС входят координация научной и научно-организационной деятельности двух академий в интересах становления Союзного государства, прогнозирование его развития на основе научных исследований, участие совместно с органами исполнительной власти Беларуси, России и Союзного государства в определении приоритетных направлений научной деятельности.

Беседовала Дарья Золотухина

*CERN* — большая и открытая  
организация. Он открыт для  
каждого человека на этом свете,  
будь ты известный физик, простой  
школьник или школьный учитель

# ЭКСПРЕСС

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

# В CERN

Если вы хотите заниматься ядерной физикой на серьезном международном уровне, вы должны сотрудничать с *CERN*

**Т**омский политехнический университет некоторое время назад стал одним из активных участников программ CERN. Однако путь ТПУ в Европу оказался довольно длинным. О том, как складывалось сотрудничество ТПУ с CERN, и о том, каким оно планируется в будущем, нашему корреспонденту рассказали сотрудники Томского политеха.

Начиналось все с изучения параметров пучков заряженных частиц различных ускорителей. Эти работы вела группа исследователей под руководством А.П. Потылицына на кафедре прикладной физики. Первые международные контакты в начале 1990-х гг. установили с японскими учеными из Национального исследовательского центра физики высоких энергий в Цукубе. В Японии была хорошо налаженная инфраструктура для проведения экспериментов, тем не менее исследования не развивались, и японцам, точно так же как и россиянам, нужны были новые люди с новыми идеями и большим желанием работать. Все сложилось удачно, появились совместные проекты, налажилось взаимодействие. Японцы приглашали А.П. Потылицына читать лекции, проводить совместные эксперименты, он возил в Японию своих студентов и аспирантов и начал собирать вокруг себя команду молодых амбициозных ребят, которые были готовы поехать куда угодно, чтобы заниматься наукой.



Заведующий кафедрой прикладной физики ТПУ А.Р. Вагнер

**Александр Рудольфович Вагнер,** *заведующий кафедрой прикладной физики ТПУ, исполняющий обязанности заместителя директора Физико-технического института по развитию:*

— Возникла очень удачная связка, когда есть люди, готовые поехать и начать исследования, и есть потребность в этих людях. Этот механизм тогда очень удачно сработал, и заметное число наших выпускников и сотрудников университета смогли поработать в зарубежных ускорительных центрах и даже стали одними из лучших в своей области исследований. Появились хорошие совместные публикации в авторитетных журналах, шаг за шагом стало развиваться международное сотрудничество. Тогда мы начали работать с исследователями с Украины, из Франции, Германии, США. Взаимодействие получило хорошее развитие, мы и сейчас поддерживаем тесные связи с японскими коллегами. Большинство наших выпускников, работающих за рубежом, так или иначе

связаны с ТПУ. Кстати, многие, поработав в иностранных центрах, возвращаются в университет, становятся здесь ведущими исследователями, формируют свои направления научной работы. Такое сотрудничество очень полезно, люди выезжают, работают в отлично оборудованных лабораториях, активно контактируют с зарубежными коллегами — и, самое главное, с коллегами, представляющими другие научные школы.

Но даже когда наши выпускники или аспиранты остаются работать за рубежом, это все равно очень полезно, поскольку создаются и укрепляются связи, расширяется круг совместных работ, исследований, программ. Наука не может развиваться в замкнутом пространстве.

**CERN** (от фр. *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, Европейский совет по ядерным исследованиям) — европейская организация по ядерным исследованиям, крупнейшая в мире лаборатория физики высоких энергий. CERN занимает большую территорию на границе Швейцарии и Франции. Две основные площадки разместились вблизи от Мерена, коммуны кантона Женева в Швейцарии, и французской коммуны Превессен-Монэн. В распоряжении CERN имеются комплекс ускорителей и огромная инфраструктура, предназначенная и для эксплуатации ускорителей, и для обработки полученных на них данных. На сегодня CERN — крупнейший потребитель электроэнергии в Европе среди исследовательских организаций.

За время существования организации (а датой ее создания можно считать 29 сентября 1954 г., когда французы и немцы подписали соглашение о создании Европейского совета по ядерным исследованиям) здесь построены шесть главных ускорителей. Два линейных используют для инъекции низкоэнергетических частиц (один для тяжелых ионов, другой — для протонов) в протонный синхротрон. Основное назначение протонного синхротрона (PS) с кольцом длиной 628 м — разгон протонов в цепи подготовки пучка частиц для Большого адронного коллайдера (БАК). Следующим в цепочке стоит протонный суперсинхротрон (SPS). Диаметр кольца этой машины составляет 2 км, запущен он в 1971 г. на энергию 450 ГэВ в экспериментах с фиксированной мишенью. Позднее его использовали в качестве ускорителя для электронов и позитронов в большом электрон-позитронном коллайдере (LEP — это четвертый ускоритель), построенном в начале 1980-х гг. В 1967 г. в CERN запущена установка для исследования нестабильных ядер. Наконец, самый известный и крупный проект CERN — БАК.

В 2013 г. ЮНЕСКО наградила CERN Золотой медалью Нильса Бора за организацию сотрудничества ученых из разных стран мира. И действительно, в CERN весьма эффективно трудятся исследователи и инженеры более чем из 40 стран. 21 страна — постоянные участники CERN, три государства пребывают в процессе вступления и еще семь стран и организаций имеют статус постоянных наблюдателей. В их числе Россия (Объединенный институт ядерных исследований), США, Китай, Европейский союз.

Если вернуться ко времени создания CERN, то как таковой строгой даты рождения коллаборации не существует. Крупнейшие европейские физики неоднократно говорили о необходимости создания международного объединения для исследований в области физики высоких энергий. Первым, кто выступил с официальным предложением о создании европейской лаборатории, был Луи де Бройль. Это произошло в Лозанне на Европейской культурной конференции в 1949 г. В следующем году на Пятой общей конференции ЮНЕСКО во Флоренции нобелевский лауреат Исидор Раби предложил «помочь и поддержать создание региональных исследовательских лабораторий для увеличения международного сотрудничества». Еще через год, в декабре 1951 г., в Париже Межправительственная конференция ЮНЕСКО постановила создать Европейский совет по ядерным исследованиям (отсюда и пошло название CERN), и уже через два месяца, в начале 1952 г., соответствующее соглашение подписали 11 стран. Созданный в результате этого подписания временный совет на своей третьей сессии в октябре 1952 г. принял решение о размещении научного центра в Швейцарии. Проведенный в кантоне Женева референдум одобрил строительство. После этого с небольшим разрывом по времени конвенцию о создании CERN подписали 11 стран, и только потом наступило 29 сентября 1954 г., о чем мы уже рассказали в начале этого краткого исторического экскурса.

Таким образом в университете развивались компетенции в области прикладной физики.

Результат не замедлил сказаться: в рамках одной только коллаборации «Томский политехнический институт — Хиросимский университет» проведено более десятка совместных экспериментов на ускорителях ТПУ, Токийского и Хиросимского университетов. Результаты исследований опубликованы в трех с лишним десятках статей.

Первые работы томских ученых в рамках программ CERN прошли в составе коллаборации UA9. Их тематика была очень близка к тому, чем занималась группа А.П. Потылицына: анализ пучков протонов, образующихся в большом кольце LHCb.

В начале 2010-х гг. в стране начала работать Федеральная целевая программа «Кадры», в рамках которой стало возможным получение весомых грантов. На эти средства в Томске удалось организовать несколько лабораторий и привлечь для работы в них ведущих ученых из-за рубежа.

## Сергей Анатольевич Байдали,

доцент кафедры электроники и автоматики физических установок ТПУ:

— Программа грантов позволила вернуть не просто людей, а компетенции наших выпускников, которые сейчас работают за границей. Крайне важно, что у наших ведущих ученых появилась возможность эффективно работать и за рубежом, и в России, зачастую создавая новые лаборатории, формируя новые перспективные направления исследований. Появились средства, позволяющие оставлять в вузе наиболее талантливых студентов, давать им возможность развиваться, заниматься интересными и важными программами. На эти деньги приобретено и запущено в работу сложное дорогое оборудование и, как следствие, развиты связи с международными коллаборациями, в том числе входящими в CERN, куда и мы, конечно, стремились попасть.

Когда мы вживую познакомились с *CERN*, с его мощнейшей инфраструктурой, высочайшим уровнем исследований и фундаментальной науки, нам самым естественным образом захотелось в этом участвовать. Тогда мы стали размышлять, как бы нам наладить сотрудничество с этой большой коллаборацией. Естественно, первые контакты происходили на различных международных конференциях.

**Павел Владимирович Каратаев**, профессор Университета Роял Холлоуэй (Великобритания), заведующий лабораторией разработки источников электромагнитного излучения центра RASA на базе ТПУ:

— *CERN* — большая и открытая организация. Он открыт для каждого человека на этом свете, будь ты известный физик, простой школьник или школьный учитель. У них есть курсы, которые помогают перенастроить, переоснастить их образовательные программы. Есть примеры, когда наши учителя из Томска попадали в *CERN* и знакомились там с проводимыми экспериментами. Популяризация в *CERN* — такая же по важности составляющая работы, как и научные и технические программы. Одно из основных достоинств *CERN* в том, что он привлекает фантастическое количество молодежи в физику. Я уже несколько лет принимаю участие в работе приемной комиссии в университете в Лондоне. Практически у каждого поступающего есть абзац в резюме: ходил, видел, слышал, читал о *CERN*. И, вероятно, в этом одна из причин, почему *CERN* так «высоко сидит».



Доцент кафедры электроники и автоматике физических установок ТПУ С.А. Байдали

Одной из характерных особенностей *CERN* почти все люди, так или иначе взаимодействовавшие с ним, называют очень высокий уровень интереса к конструктивным предложениям, с которыми могут туда обращаться любые организации. Если предложение позволяет снизить затраты на проведение экспериментов, повысить чувствительность или точность измерительных комплексов, улучшить логистику, оптимизировать обработку и хранение данных — все это встречается с большим вниманием.

**А.Р. Вагнер:** Сначала было абсолютно непонятно, как включиться в работу с *CERN*. Мы понимали, где мы сильны, но не могли оценить, где мы можем быть востребованы. Была проделана большая работа, мы ездили в различные исследовательские организации, в том числе в Курчатовский институт, приглашали к нам иностранных и отечественных ученых, среди которых М.П. Титов (Комиссариат по атомной энергии Франции), В.Ю. Егорычев (ИТЭФ, Москва), А.А. Климентов (Брукхейвенская национальная лаборатория, США), В.И. Шевченко (НИЦ «Курчатовский институт», Москва) и многие другие. Эти люди поверили в нас и оказали неоценнимую помощь по продвижению ТПУ в эксперименты, реализуемые на БАК. Именно эти люди помогли понять, что Томский политех может представлять интерес для международных коллабораций как сильная практическая инженерная школа.

Одно из ключевых направлений работы в *CERN* — работа с информацией. Объем данных, которые выдают детекторы коллайдера, трудно себе представить: события в ускорителе (например, столкновения протонов) происходят примерно каждые 25 нс. Каждое событие регистрируют соответствующие детекторы. Информация с них должна быть снята, обработана и сохранена. Примерный ее объем составляет петабайты в секунду. Для наглядности представьте себе, что каждую секунду полностью загружается 1 тыс. внешних жестких дисков емкостью 1 ТБ.

**С.А. Байдали:** Мы включились в работы *CERN* весьма активно по двум направлениям. Первое — обеспечение распределения задач между огромным количеством вычислительных комплексов по всему миру начиная от крупных комплексов ГРИД-1, ГРИД-2

до небольших грид-систем отдельных институтов и лабораторий участников экспериментов. Основная задача состоит в том, чтобы огромное количество данных, полученных в ходе работы эксперимента, оптимальным образом распределить по вычислительным комплексам для получения результата в минимальные сроки с максимальной эффективностью. В настоящий момент мы решаем эту задачу совместно с группой исследователей, вовлеченных в эксперимент *ATLAS*, но мы также намерены тиражировать наши разработки и на эксперимент *COMPASS*. В расчетах приходится задействовать огромное количество компьютеров, в их числе такие суперсистемы, как, например, *Google*

и *Amazon*, а также суперкомпьютеры, например *Titan*. Включиться в их работу надолго очень дорого. Однако существуют небольшие временные окна (паузы) между выполнением собственных расчетов — от нескольких минут до получаса. Если эти окна сумеешь занять, то суммарно получатся миллионы часов суперкомпьютерного машинного времени. В *CERN* научились разбивать задачи на отдельные фрагменты, распределять их выполнение по разным вычислительным центрам по всему миру, а потом собирать вместе и получать корректное решение. Это первая, вычислительная часть.

Вторая часть — работа с распределением метаинформации. Метаинформация — это информация о другой информации, то есть данные о расположенных где-то данных. Огромное количество данных хранится в распределенном виде по всему миру. Какие-то устаревают или признаются потерявшими актуальность после верификации, но информация о них все равно хранится. Таким образом, и эти работы в свою очередь также делятся на две ипостаси. Первая — чистильщик, который уничтожает неиспользуемую, неактуальную, ошибочную или ненужную информацию, вторая — система, которая позволяет в нужный момент времени с определенной скоростью получить доступ к нужным данным, причем неважно для чего — для написания ли статьи, анализа, проверки или копирования.

Интересно, что среди источников больших данных, то есть огромных массивов информации,



Профессор Университета Роял Холлоуэй (Великобритания), заведующий лабораторией разработки источников электромагнитного излучения центра RASA на базе ТПУ П.В. Каратаев

генерируемых в единицу времени, физика высоких энергий сейчас уже не занимает первое место. Социальные сети генерируют в единицу времени гораздо больше данных. Правда, «цена» их анализа и обработки не столь велика, да, пожалуй, и соответствующие алгоритмы не так совершенны. Так что пройдет совсем немного времени, и технологии работы с большими данными из физики переключатся в другие сферы деятельности.

**П.В. Каратаев:** Существуют специальные алгоритмы обработки и анализа информации, поступающей от детекторов. Они позволяют отсеять события, в которых ничего знакового не произошло, и исключить ненужную информацию. Эта работа также крайне важна, иначе поток информации станет чрезмерным и обработать и осмыслить ее будет совершенно невозможно.

Детектор — это большая цепь чувствительных элементов. При столкновении двух пучков большинства находящихся в них протонов пролетают мимо друг друга. В таком случае информация об этом событии интереса не представляет и не сохраняется. Если же взаимодействие произошло, образуется составная частица, которая затем распадается и ее осколки разлетаются в разные стороны. Задача детектора — зарегистрировать все эти частицы. Например, в детекторе *ATLAS* создается мощное магнитное поле. В этом магнитном поле траектория заряженных частиц искривляется, а нейтральных — нет. В итоге мы знаем, какая частица заряжена, какая нет. Поскольку нам

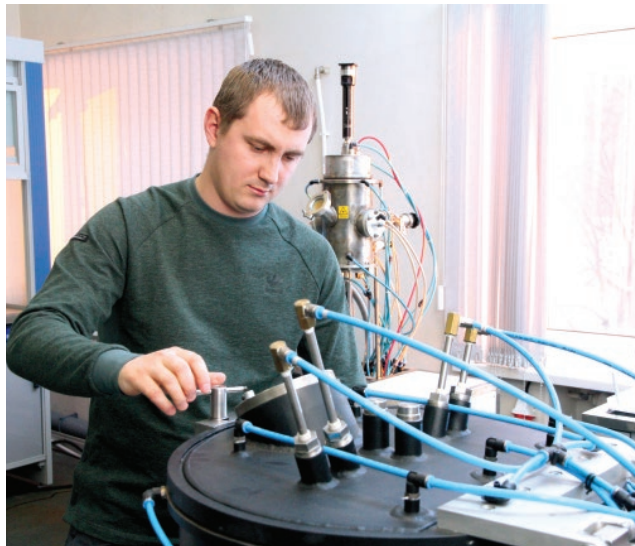


На производственной базе ТПУ представителям CERN продемонстрировали созданный в университете стенд для испытания элементов системы перемещения трекового детектора эксперимента LHCb

известны исходная энергия протона и его скорость перед столкновением, то по углу отклонения мы можем рассчитать массу образовавшейся частицы. По форме траектории частицы мы можем установить «место встречи», то есть с высокой точностью определить координаты точки, где произошло разделение. Однако протон — это не элементарная частица, он состоит из кварков. Когда происходит взаимодействие протонов, энергия связи кварков теряется. Образуется фон, из которого бывает довольно трудно вычленить искомый сигнал. Поэтому датчики должны быть весьма чувствительны, правильно установлены и откалиброваны. А поскольку детекторных модулей тысячи, то уровень ответственности за работу детектора очень высок. При этом сложность обслуживания невероятная. Ведь все оборудование находится в тоннеле, в который входить можно лишь раз в год.

Для работы в коллайдере используют детекторы разных типов. Сотрудники ТПУ принимают участие в модернизации так называемого алмазного детектора. Его основу действительно составляет кристалл алмаза. Точнее, кристаллы.

**П.В. Каратаев:** Сам по себе алмазный детектор — это ионизационная камера, в которой ионизационный объем — это кристалл. Частица, попадая в объем камеры, сталкивается с атомами, происходит ионизация атомов внутри кристалла, появляются свободные носители заряда. Где собираются свободные носители заряда, там течет ток, этот ток и регистрируется. Есть частица — есть ток, нет частицы — нет тока. Но это в теории. Проблема



Сотрудники лаборатории № 1 Института физики высоких энергий протестировали на Большом адронном коллайдере детекторы на основе алмазов. Теперь в планах исследователей разработать более стабильные детекторы на базе создаваемых в ТПУ синтетических алмазов.

в том, что в тех алмазах, которые сейчас используют, есть теневого ток, и он живет своей собственной жизнью. Связано это с тем, что кристалл никогда не бывает идеальным, и одинаковых двух кристаллов тоже не бывает. У них всегда есть какие-то дефекты или выбитые атомы. Кроме того, частица с высокой энергией может выбить атом из кристаллической решетки, тогда появится дефектная проводимость, она генерирует некий фон — и датчик в какой-то момент просто перестанет функционировать как детектор.

Существующие сейчас датчики изготовлены на основе монокристаллов. Их довольно сложно изготавливать, да и качество — однородность — трудно гарантировать. Использование природных алмазов тоже не решает всех проблем. Начнем с того, что в них нередко встречаются примеси, нарушающие однородность. Кроме того, для встраивания в датчик кристаллы должны быть тщательно обработаны и доведены до стандартного размера. CERN выделил нам несколько сломанных детекторов, и мы стараемся понять, в чем причина их нестабильности.

Наилучшим решением стало (по крайней мере, в настоящий момент) использование поликристаллической пленки. Разработанная и освоённая в ТПУ технология позволяет изготовить такую пленку любой необходимой формы и размера.

**С.А. Байдали:** Над технологией выращивания тонких поликристаллических алмазных пленок работают сотрудники Института физики высоких технологий ТПУ. На разогретой до 2 тыс. градусов Цельсия вольфрамовой нити проводится



разложение смеси метана и водорода (метод так и называется — «метод горячей нити», *Hot Filament Chemical Vapour Deposition*). Впрочем, и в этой технологии есть проблемы: прежде всего, это все та же неоднородность получаемой пленки. На границах микрокристаллов, составляющих поле пленки, может накапливаться углерод в неалмазной форме. У него иные физические свойства, и это вносит погрешности в работу датчика. Тем не менее эта работа очень перспективна, поскольку проблема очистки пленки от неалмазных включений решается, а сам пленочный датчик значительно технологичнее, дешевле, а главное, стабильнее, чем построенный на основе относительно крупных кристаллов.

Большой адронный коллайдер готовят к модернизации. Цель — поднять светимость (по сути — мощность) в десять раз. Следовательно, грядет замена всей измерительной аппаратуры. Работающая сейчас просто не выдержит новых нагрузок. При повышении мощности существует вероятность возникновения нестабильности внутри коллайдера. Соответственно, необходимо разрабатывать технологии, которые позволяют эти нестабильности ликвидировать либо свести их к приемлемому минимуму. Сотрудники ТПУ вместе с множеством других исследователей и инженеров активно включились в эту работу.

**С.А. Байдали:** Исторически так сложилось, что в *CERN* один ускоритель эксплуатируется, второй разрабатывается, третий — «в уме». У них всегда эта схема действует, она позволяет все время создавать что-то новое. Сейчас работает Большой адронный коллайдер, но готовится его апгрейд (почти на миллиард евро, и это уже одобренная часть). А «в уме» — огромный линейный коллайдер или будущий циклический коллайдер, он будет еще больше, чем БАК, который станет для него инжектором. Для него прокоют стокилометровый тоннель, и Большой адронный коллайдер станет компактным. Если в *CERN* забраться на гору, то БАК с горы видно полностью. Новый коллайдер с горы уже видно полностью не будет, существенная его часть будет за горизонтом.

Увы, для нас это нехарактерно. У нас правила игры меняются раз в полгода, и это толстые палки в наши колеса, потому что мы не можем прогнозировать хотя бы на год вперед. У них другая ситуация. На вопрос, что будет сделано в 2025 г., следует вполне конкретный ответ, и сомневаться в том, что так и будет, не приходится. И наш университет будет принимать в этом участие. Иначе никак! ■

Подготовил Дмитрий Зыков



Построенное в 1900 г. главное здание ТПУ стало настоящим украшением Томска, а его центральная лестница — украшение самого здания

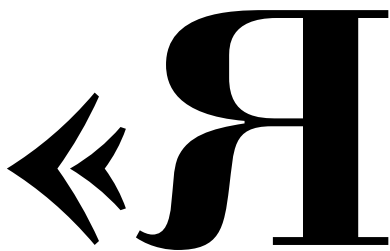
БИОТЕХНОЛОГИИ

# Зеленая химия Сибирь

Зеленая химия — это фундаментальные исследования, которые ложатся в основу технологий, направленных на то, чтобы снизить негативное влияние химической промышленности на окружающую среду







желал бы, чтобы первым семенем, из которого должны вырасти традиции учебного заведения, было бы сознание необходимости постоянного систематического труда». С такими словами обратился к студентам только что открытого Томского практического технологического института его первый директор, профессор Ефим Лукьянович Зубашев. Слово «практический» из названия института со временем ушло, но смысл не поменялся. Традиции, заложенные основателями, первыми профессорами и первыми выпускниками института, оказались весьма стойкими.

В первом составе института было два отделения — механическое и химическое. По современным представлениям, химическое отделение скорее всего называлось бы химико-технологическим. Именно на технологические аспекты подготовки студентов делался здесь упор. Заметим, что и в этом плане традиции института (а теперь уже исследовательского университета) вполне сохранились. И тогда, и сейчас студентов обучают самым современным технологиям, разве что технологии за век с небольшим изменились не просто сильно, но принципиально.

Производители химических продуктов прошлого века спокойно относились к использованию опасных реагентов, легко мирились с опасными отходами. В какой-то степени это объясняется несовершенством самих технологий, но не в меньшей — уверенностью в том, что суммарное количество выбросов относительно невелико и природа легко с ними справится. Осознание опасности такого подхода пришло уже в первой четверти XX в., но еще долго производственные технологии получения целевых продуктов пребывали в катастрофическом

отрыве от технологий переработки отходов, очистки выбросов и защиты окружающей среды от воздействия производственных факторов. Первыми спохватились европейцы. Плотность населения в Европе весьма высока, и дымящие заводы этому населению категорически не нравились. Не нравились ему и реки, в которых вместо воды текла жидкость странного цвета и непонятного состава. О прекрасном голубом Дунае и чистом Рейне пришлось забыть.

Технологии, которые сегодня разрабатывают томские химики вместе со своими зарубежными коллегами, предназначены для самых разнообразных отраслей науки, промышленности, медицины

С начала 1960-х гг. в европейских странах, СССР, США и Японии начали активно проводиться работы по совершенствованию технологий в двух основных направлениях: экономия ресурсов (в первую очередь сырья, во вторую — энергии) и снижение, а в идеале — полная ликвидация выбросов.

Большие надежды в то время возлагали на только что появившиеся микробиологические технологии. Толчок им дало открытие антибиотиков. Оказалось, что кроме производства пекарских дрожжей и уксусной кислоты (точнее, пищевого уксуса) очень близким по технологической сути способом можно получать сложные химические соединения. Причем в нормальных условиях — при температуре человеческого тела и атмосферном давлении. А еще выяснилось, что получить эти вещества традиционным химическим способом или вовсе

не удастся, или получается трудноразделимая смесь изомеров, совершенно непригодная для практического использования.

Биотехнологические исследования обнадёживали. Казалось, вот-вот можно будет отказаться от энергоемкого обогащения руд — его должно заменить микробное вы-

щелачивание, синтезом полимеров смогут заниматься бактерии и они же переработают нефть в топливо, попутно наращивая собственную биомассу и превращаясь в отличный корм для птиц и животных. Да и мечты о производстве человеческой пищи из выращенной в искусственных условиях биомассы микроорганизмов и водорослей представлялись вполне реальными, нужно только правильно подобрать культуры и субстраты. Не тут-то было.

**Одними из первых принципы зеленой химии сформулировали Пол Анастас и Джон Уорнер в вышедшей в 1998 г. книге «Зеленая химия: теория и практика» (*Green Chemistry: Theory and Practice*). Эти принципы стали своего рода заповедями технологов и исследователей, работающих в этой области.**

- 1** Потери лучше предотвратить, чем заниматься переработкой и очисткой отходов.
- 2** Процесс синтеза следует проектировать так, чтобы все реагенты были в максимальной степени переведены в целевой (конечный) продукт.
- 3** Методы синтеза нужно выбирать таким образом, чтобы реагенты и синтезируемые вещества были как можно менее токсичными в отношении человека и как можно менее вредными для окружающей среды.
- 4** Разработка технологии получения нового продукта должна сопровождаться как минимум сохранением ранее достигнутой эффективности процесса при безусловном снижении токсичности.
- 5** Необходимо, насколько это возможно, отказываться от применения растворителей, экстрагентов и иных вспомогательных веществ, если же обойтись без них не получается, их использование должно быть безопасным и безвредным.
- 6** При разработке технологии нужно учитывать стоимость продукта, энергоемкость процесса и его возможное влияние на окружающую среду. Следует стремиться к проведению всех процессов при атмосферном давлении и температуре, близкой к температуре окружающей среды.
- 7** Используемые в процессе материалы и реагенты во всех случаях, когда это экономически оправдано, должны быть возобновляемыми.
- 8** При любой возможности следует стараться проводить процесс получения целевого продукта без образования и накопления промежуточных продуктов.
- 9** Каталитические селективные процессы имеют преимущество перед любыми другими.
- 10** Химический продукт после использования должен разлагаться на безопасные компоненты, не оставаясь в окружающей среде.
- 11** Следует всемерно развивать методики анализа в реальном времени, чтобы непрерывно отслеживать образование опасных продуктов.
- 12** Проектируя химический процесс, реагенты и их форму (агрегатное состояние, температуру, гранулометрический состав и т.п.) нужно выбирать таким образом, чтобы свести к минимуму риск химической опасности, в том числе возможность утечки, взрыва, возгорания.

Обогащать руду микроорганизмы могут, но очень медленно, и для крупнотоннажных металлургических производств такая скорость совершенно неприемлема. С белково-витаминными концентратами (БВК) тоже все вышло далеким от идеала. Прежде всего, полученная биомасса оказалась не такой безобидной, как виделось вначале. Да и сырье для производства БВК, и тем более отходы, представляются с современной точки зрения продуктами весьма и весьма вредными. Тем не менее микробиологические технологии продолжают развиваться. Акцент, правда, теперь делается не на многотоннажные производства, а на тонкий синтез, на процессы переработки отходов, биологическую очистку воды, уничтожение скопившихся многолетних промышленных выбросов, в том числе рекультивацию грунта, загрязненного нефтепродуктами.

Одновременно с микробиологическим направлением активно развивались исследования собственно химических технологий. Главной проблемой долгое время представлялось наличие громадного количества отходов в самых разнообразных видах. Газовые и пылевые выбросы

приводили к кислотным дождям. И это только наиболее известный феномен. Но были и щелочные дожди, и оседание потенциально опасной пыли, и вторичное загрязнение водоемов осадками. Не полностью очищенные сточные воды загрязняли водоемы напрямую, бесконтрольное использование удобрений и ядохимикатов отравляло воду опосредованно, разливы нефтепродуктов портили почву, а в местах добычи (особенно на наших отечественных северных промыслах) губили тонкие и чувствительные экосистемы болот. Анализ процессов «производства загрязнений» привел исследователей к выводу, что значительная часть отходов образуется из-за несовершенства производства. Из-за того что исходные реагенты недостаточно чисты, из-за того что реакции в производственном процессе проходят в неоптимальных условиях, из-за того что некоторые из образующихся промежуточных продуктов не перерабатываются... Перечислять можно еще долго.

Второй серьезной проблемой было массовое использование для производства многих химических продуктов материалов, представляющих серьезную



Главный корпус Томского политехнического университета

опасность и для человека, и для окружающей среды. Некоторые из них из-за несовершенства технологий практически напрямую попадали в производственные выбросы.

Примерно с середины 1950-х гг. химики-технологи, в особенности работавшие в сфере технологии органических веществ, начали обширные исследования селективных и гетерогенных процессов.

На фоне ухудшения состояния природы, страхов, вызванных изменениями климата, роста понимания крайне негативной роли промышленности в этих бедах появилось понятие «зеленая химия», сначала малозаметное, но со временем выросшее в серьезную мировую тенденцию. Постепенно сформировались вполне определенные принципы такого рода технологий.

Химические исследования на протяжении всей истории Томского политеха были его сильной стороной. Одной из знаковых черт томской химической школы был и остается комплексный подход к решению научных и технологических задач. С 1990-х гг. в ТПУ начали активно развивать работы в области зеленой химии. Причем в отличие от многих других исследовательских лабораторий именно комплексно, рассматривая не только отдельные стадии процесса синтеза, но и всю технологическую цепочку.

Своей главной задачей ученые считают замену вредных и дорогостоящих материалов, входящих

в состав химической продукции или применяемых при ее производстве, на безопасные и экономически доступные. Исследования в этом направлении имеют фундаментальный характер и практически невозможны без широкого международного сотрудничества. Сейчас университет активно взаимодействует с исследователями из Великобритании, Германии, США, Чехии, Японии, с целым рядом международных научных объединений.

Недавно в ТПУ презентовали международный сетевой центр «Химия будущего». В рамках этого объединения сотрудники университета вместе со своими зарубежными коллегами, ведущими специалистами в области зеленой химии, работают над созданием технологий, дружественных к окружающей среде, то есть не наносящих ей вред. Вторым важным направлением центра станет работа над созданием новых «умных» материалов для инновационных применений и полимеров, предназначенных для использования в экстремальных условиях, например в Арктике, в условиях высокогорья или многолетнемерзлых грунтов.

«Зеленая химия — это фундаментальные исследования, которые ложатся в основу технологий, направленных на то, чтобы снизить негативное влияние химической промышленности на окружающую среду. Томский политех — лидер в России в этой научной области. Дело в том, что во многих университетах ведутся фрагментарные

исследования, здесь же работы проводятся методично и последовательно, что дает прогрессивные результаты. Кроме того, мы связаны научными проектами с ведущими специалистами в этой области», — рассказал руководитель центра, заведующий кафедрой технологии органических веществ и полимерных материалов ТПУ М.С. Юсубов.

Технологии, которые сегодня разрабатывают томские химики вместе со своими зарубежными коллегами, предназначены для самых разнообразных отраслей науки, промышленности, медицины. Например, разработанный здесь способ получения фторсодержащих соединений для позитронно-эмиссионной томографии с использованием в качестве прекурсоров иодониевых солей можно использовать для изготовления радиофармпрепаратов, предназначенных для диагностики и тераностики (медицинского подхода, при котором препараты и методики их применения выступают одновременно и средством ранней диагностики, и лечением). Очень интересен он и для производства лекарственных средств.

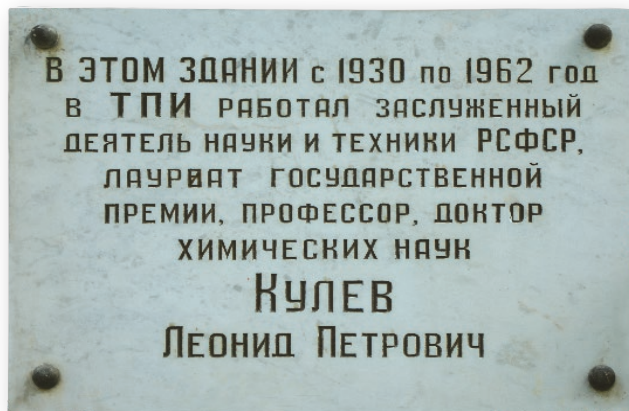
«Мы активно сотрудничаем с Томским политехническим университетом. Цель совместной работы — создание таких химических технологий, в которых токсичные для окружающей среды соединения тяжелых металлов полностью исключены из процесса. Это особенно актуально в органическом синтезе, в фармацевтической промышленности. Здесь тяжелые металлы используются в качестве катализаторов в важных реакциях, и наша цель — заместить их на абсолютно нетоксичный йод. Нам уже удалось доказать, что некоторые реакции, в частности для синтеза фармацевтических препаратов с противораковой активностью, прекрасно проводятся с йодом», — отметил профессор В.В. Жданкин из Миннесотского университета в Дулуте (США).

«Работая с йодом, мы используем его не только для замещения тяжелых металлов, но и для

создания новых химических реакций. В этом отношении йод — очень перспективный элемент. В дальнейшем эти реакции можно будет использовать для создания новых препаратов и новых материалов. Отмечу, что для сотрудничества между нашими коллективами и вузами есть прочная не только научная, но и образовательная основа. Студенты из Томска приезжают в Великобританию, наши студенты приезжают в ТПУ», — рассказал профессор Томас Вирт из Кардиффского университета (Великобритания).

Кстати, приезжающие в Томск иностранные специалисты не только работают в лабораториях, но и читают лекции для студентов и аспирантов ТПУ. Например, совсем недавно, в мае нынешнего года, с лекцией «Реагенты на основе поливалентного йода для реакций присоединения и перегруппировок» выступил профессор Томас Вирт, доктор Акира Йошимура из Южного методистского университета (США) прочел лекцию «Синтез и использование псевдоциклических реагентов на основе соединений поливалентного йода», об использовании солей диазония в палладиевом катализе при ковалентной модификации целлюлозы рассказал профессор Франсуа-Ксавье Фелпин из Нантского университета (Франция), а профессор Фрэнсис Верпоорт из Гентского университета (Бельгия) выступил с лекцией «Синтез кристаллов металлокаркасных соединений». Завершил эту небольшую международную сессию профессор А.В. Иванов из Иркутского института химии им. А.Е. Фаворского СО РАН. Аудитории были забиты до отказа. Лекции, кстати, читались на английском языке, но затруднений у аудитории это не вызвало. Студенты-политехники шутят: «Политех — это иняз с техническим уклоном».

Зеленая химия — принципиально новый подход к сокращению использования опасных и токсичных химических веществ в производстве или полному отказу от них. Главная задача ученых —



Основатель и первый декан химического отделения Томского технологического института (такое название носил университет в начале 1900-х гг.) В.А. Обручев вместе с первым ректором ТТИ Е.Л. Зубашевым в первые годы работы отделения сумел привлечь в вуз известных ученых Н.М. Кижнера, Н.П. Чижевского, Л.П. Кулева и многих других выдающихся химиков

заменить вредные и нередко дорогие компоненты химической продукции на безопасные и экономически доступные вещества.

В рамках совместного гранта РФФИ и Королевского химического общества (Великобритания) в Томском политехе разработан метод синтеза соединений поливалентного йода с использованием доступного экологически безопасного окислителя оксона (оксон представляет собой комплексную смесь калиевых солей перекислот, безопасную и дешевую). Благодаря своей простоте, экологической чистоте и высокому выходу эта технология представляет очень большой практический интерес.

Один из важнейших принципов зеленой химии — по возможности полное использование всех участвующих в реакциях компонентов. Для осуществления этого принципа в некоторых случаях полезно проводить реакции постадийно, с дозированным введением лабильных веществ, чтобы предотвратить их деградацию до вступления в реакцию.

«Наш метод экологичен и экономически выгоден. При его использовании не требуется дополнительной очистки продуктов реакции от отходов окислителя. Получаемые неорганические соли легко отделяются от продуктов реакции и могут в дальнейшем регенерироваться, — рассказывает М.С. Юсубов. — В производстве соединений поливалентного йода обычно используют органические окислители. Работать с ними сложно из-за высокой летучести и, мягко говоря, неполезности для здоровья. Кроме того, продукты реакции при их использовании для создания лекарственного препарата на финишных (а иногда и на промежуточных) стадиях приходится отделять от остатков окислителя и его восстановленных форм. Для этого, в свою очередь, производителю нужно приобретать растворители, тратить дополнительно электроэнергию. Разумеется, производственные затраты растут. Да и с экологической точки зрения эти процессы весьма несовершенны, поскольку в процессе очистки целевых продуктов в атмосферу испаряются легколетучие органические растворители. Мы же предлагаем простые технологии с использованием дешевых окислителей, применяемых в промышленности и в быту, таких как, например, отбеливатели. Это помогает минимизировать расходы на очистку продуктов реакции».

Еще один принцип зеленой химии — максимальное использование каталитических процессов. Химики ТПУ нашли способ избежать образования большого количества токсичных отходов при проведении целого класса реакций органического синтеза. Новые методы стали результатом многолетних исследований палладиевого катализа — темы, за которую в 2010 г. была присуждена Нобелевская премия по химии. Заметим, что при использовании катализаторов, созданных в Томском политехе, в окружающую среду выделяется только совершенно безопасный азот, почти на 80% составляющий воздух, которым мы дышим.

Сотрудники и аспиранты кафедры биотехнологии и органической химии Института физики высоких технологий ТПУ работают над методами построения углеродных связей. Их образование — самая распространенная реакция в живой природе: она протекает в любом процессе органического синтеза. Заметим, что в природе ника-

ких отходов при этом не возникает. В лабораторных условиях избежать образования большого количества отходов очень сложно.

В реакциях соединения атомов углерода и в лабораториях, и в промышленности в качестве реагентов зачастую используются ароматические галогениды. Эти вещества токсичны, есть данные, что они либо напрямую разрушают озоновый слой, либо способствуют этому опасному явлению.

Сотрудникам кафедры удалось получить

уникальные соли диазония, водорастворимые и экологически безопасные. Они позволяют использовать в качестве растворителя воду вместо токсичных веществ. Обычная вода и становится отходом в таких химических реакциях.

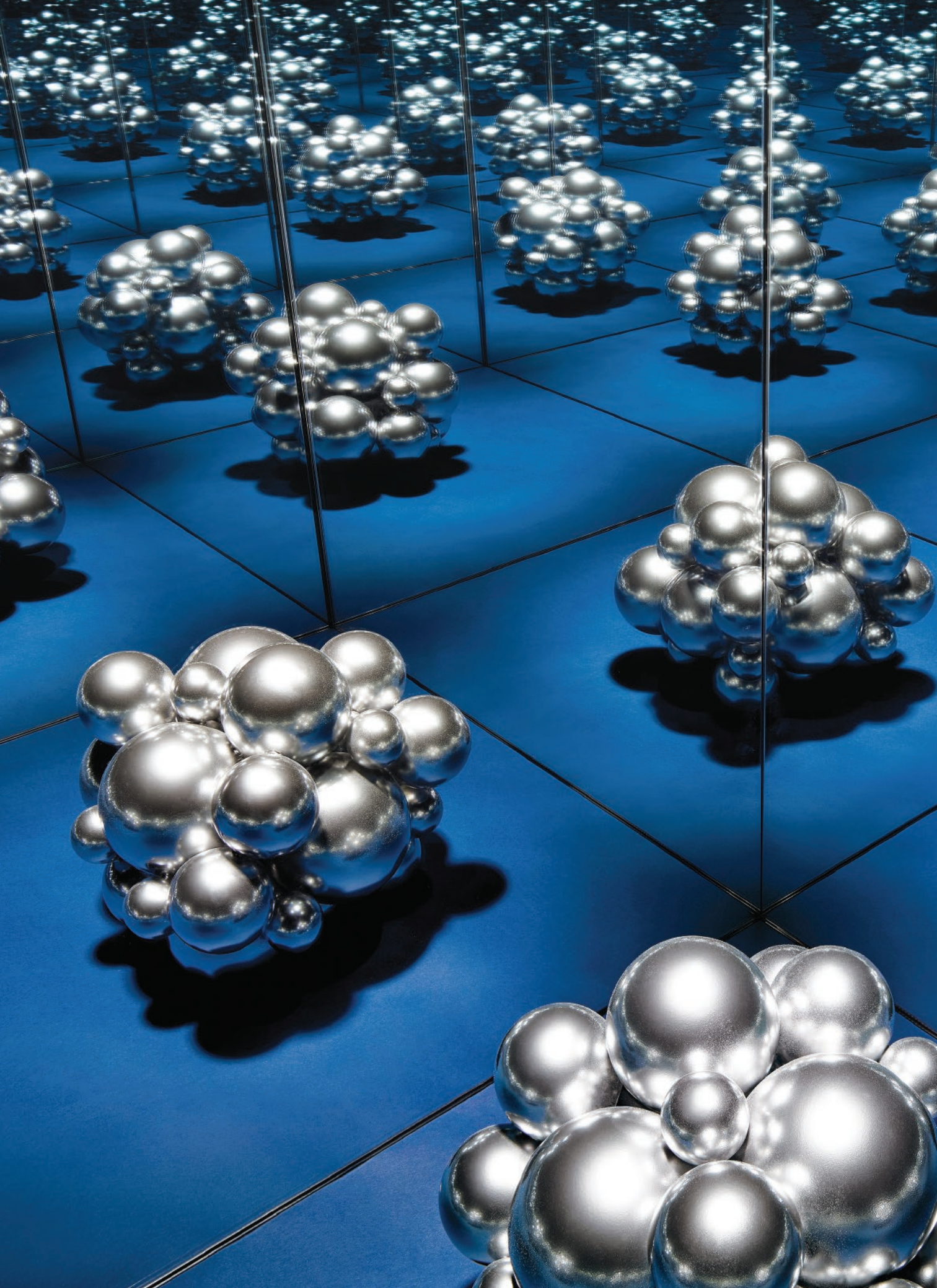
Вещества, создаваемые с помощью разработанных в ТПУ катализаторов, можно будет применять повсеместно: в синтезе лекарств, косметических средств, производстве пластмасс, мономеров для последующей полимеризации. Сейчас ученые ТПУ модифицируют методы использования солей диазония, чтобы сделать их еще более экологически безопасными. ■

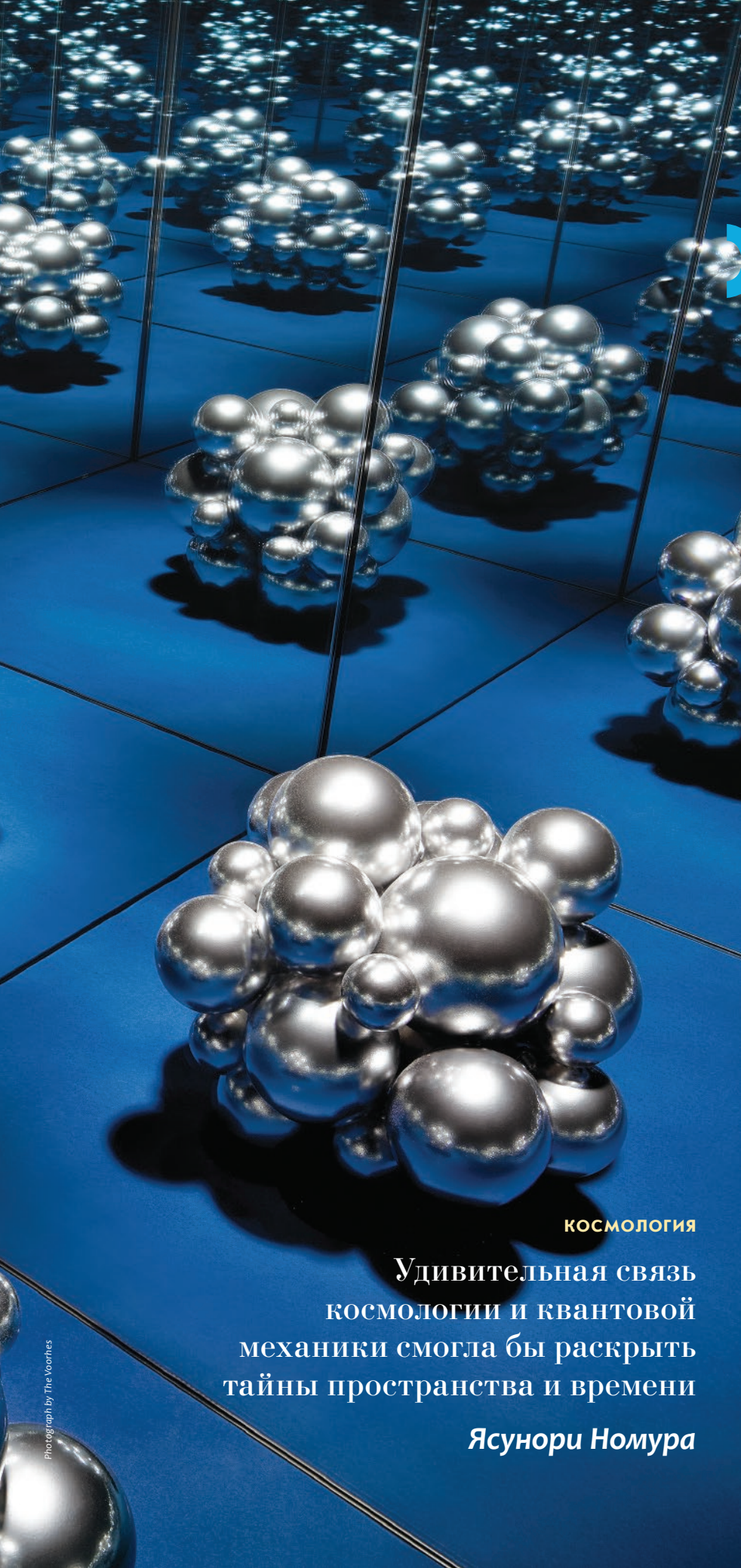
**Подготовил Дмитрий Зыков**





Большая химическая аудитория ТПУ помнит 117 поколений студентов (1); Мемориальный кабинет академиков В.А. Обручева и М.А. Усова, отцов-основателей сибирской геологической школы (2, 4); Химическая лаборатория ТПУ (3); Оборудование для учебной лаборатории, установленное в 1900 г., исправно служит и сейчас (5); Химический корпус ТПУ — уникальное место, где история переплетается с современностью (6); Один из экспонатов мемориального кабинета — гониометр, прибор для исследования структуры минерала (7)





КОСМОЛОГИЯ

Удивительная связь  
космологии и квантовой  
механики смогла бы раскрыть  
тайны пространства и времени

Ясунори Номура

Photograph by The Voorhes

# КВАНТОВЫЙ МУЛТЫМИР

## ОБ АВТОРЕ

**Ясунори Номура** (Yasunori Nomura) — профессор физики и директор Центра теоретической физики в Калифорнийском университете в Беркли. Сотрудник Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли и руководитель Института физики и математики Вселенной им. Кавли при Токийском университете.



# М

ногие космологи согласны с удивительным выводом о том, что наша Вселенная, которая казалась целым необъятным миром, в действительности может представлять собой всего лишь малую часть гораздо большей структуры, называемой мультимиром. При таком подходе предполагается существование множества отдельных вселенных, в каждой из которых действуют свои собственные физические законы. Так, виды и свойства элементарных частиц могут быть разными в разных вселенных.

Концепция мультимира исходит из предположения наличия инфляционной стадии ранней вселенной, когда наш мир расширялся ускоренно. В подобном процессе одни области могут перестать ускоренно расширяться раньше, чем другие, формируя так называемые пузыри-вселенные, не связанные друг с другом, напоминающие пузырьки в кипящей воде. Наша Вселенная будет таким пузырьком среди бесконечного числа других. Идея о том, что наша Вселенная представляет собой только часть гораздо большей структуры, не так необычна, как кажется на первый взгляд. Видимый мир — это далеко не все, что существует, в чем неоднократно убеждались ученые. С точки зрения теории понятие мультимира с его бесконечным количеством пузырьков-вселенных представляет большую проблему. Дело в том, что эта концепция стирает фундаментальное представление о правдоподобности любой физической теории, которая обязана давать прогнозы. По словам одного из создателей инфляционной теории Алана Гута (Alan

Guth) из Массачусетского технологического института, «вечно расширяющейся вселенной все, что может произойти, произойдет — и произойдет бесконечное число раз». Для одной вселенной, где события происходят ограниченное количество раз, ученые могут вычислить относительную вероятность осуществления какого-то одного события по сравнению с другим. Это можно рассчитать, сравнивая соответствующие количества событий. Однако в мультимире, где происходит все и бесконечное число раз, такие вычисления невозможны, вследствие чего невозможно и судить о том, какое событие более вероятно, а какое менее вероятно. Можно сделать прогноз на любой вкус, и в какой-нибудь вселенной это обязательно случится. Эта информация, по сути, оказывается бесполезной, потому что ничего не скажет о том, что именно случится в нашей конкретной Вселенной.

Такая кажущаяся потеря предсказательной силы теории давно беспокоит физиков. Некоторые исследователи, включая и меня, предполагают, что

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Согласно теории космологической инфляции, по которой ранняя Вселенная расширялась экспоненциально, мы живем не просто во вселенной, но в огромном мультимире.
- Проблема в концепции мультимира заключается в том, что любые события, которые могут произойти, обязательно произойдут, причем бесконечное число раз. Это лишает теорию предсказательной силы.
- Физики считают, что могут решить проблему, иначе взглянув на концепцию мультимира, считая, что он эквивалентен квантово-механическому многолистному миру. В рамках последней концепции наша Вселенная есть одна из сосуществующих вселенных в «вероятностном пространстве», а не в едином реальном пространстве.



*Полученный космическим телескопом «Хаббл» сверхглубокий снимок, на котором показаны галактики, удаленные от нас на расстояния около 13 млрд световых лет. Объекты, находящиеся гораздо дальше, навсегда останутся недостижимыми для нас, потому что расширение пространства заставляет их разбегаться быстрее, чем скорость света. Таким образом, формируется так называемый космологический горизонт, который имеет важные приложения для теории мультивира.*

указать путь к решению этой проблемы поможет квантовая теория. Квантовая теория, в отличие от теории мультивира, оперирует крошечными частицами. По иронии судьбы бесконечно большое сможет найти описание с помощью малого. В частности, космологическая картина вечно расширяющегося по закону экспоненты мультивира с точки зрения математического описания может быть эквивалентна многолистной интерпретации квантовой механики. Последняя пытается дать объяснение, каким образом частицы могут находиться во многих местах одновременно. Как мы увидим в дальнейшем, такая связь между теориями не только решает проблему прогнозирования, но и помогает выявить неожиданные свойства пространства и времени.

### Россыпь квантовых миров

Мы придем к идее взаимного соответствия двух теорий после того, как пересмотрим принципы многолистной интерпретации квантовой механики. Эта концепция возникла для прояснения некоторых странных особенностей квантовой физики. В квантовом мире причина и следствие проявляют себя иначе, чем в макромире, и результат любого процесса всегда имеет вероятностный характер.

В макроскопическом эксперименте мы всегда можем точно предсказать, где приземлится мяч, если знаем его начальное положение, скорость и другие параметры. В случае же квантового мяча мы можем только сказать, что есть некоторая вероятность обнаружить его здесь или там. Вероятностной природы нельзя избежать, узнавая больше о параметрах мяча, о воздушных потоках или других деталях, — это внутреннее свойство любой квантовой системы. Один и тот же мяч, брошенный при одних и тех же условиях, иногда приземлится в точке *A*, а иногда в точке *B*. Такой вывод может показаться странным, но законы квантовой механики подтверждаются в огромном числе экспериментов и действительно описывают, как природа работает на уровне субатомных сил и частиц. В квантовом мире мы скажем, что после того как мяч брошен, но прежде чем упал, он находится в так называемой суперпозиции двух состояний *A* и *B*. Другими словами, мяч не находится ни в точке *A*, ни в точке *B*, но в некоем вероятностном облаке обеих точек (и во многих других точках тоже). Тем не менее стоит нам посмотреть и обнаружить мяч в определенном месте (например, в точке *A*) — и любой другой, кто также следит за судьбой этого мяча, тоже подтвердит, что

СОВМЕЩАЯ ДВЕ ТЕОРИИ

# Инфляция встречает множество миров

Согласно теории инфляции, наша Вселенная — одна из бесконечно многих, которые образовались при экспоненциальном расширении раннего космоса. Однако такая картина мультивмира может нарушить предсказательную способность теории, потому что все, что может произойти в бесконечном мультивмире, произойдет бесконечное количество раз. Проблема решаема в том случае, если инфляционный мультивмир эквивалентен многомировой интерпретации квантовой механики, согласно которой весь этот бесконечный набор вселенных сосуществует не в едином реальном пространстве, а в «вероятностном пространстве».

## Инфляционный мультивмир

Согласно инфляционной теории, во время процесса экспоненциального расширения мультивмира какие-то области замедляют расширение, формируя пузыри, которые становятся независимыми вселенными. С течением времени все большее количество областей замедляют расширение и количество пузырей-вселенных по мере экспоненциально и вечно растущего пространства увеличивается. Наша Вселенная — всего лишь один из таких пузырей.

Пузыри-вселенные  
Вечно и экспоненциально расширяющееся пространство

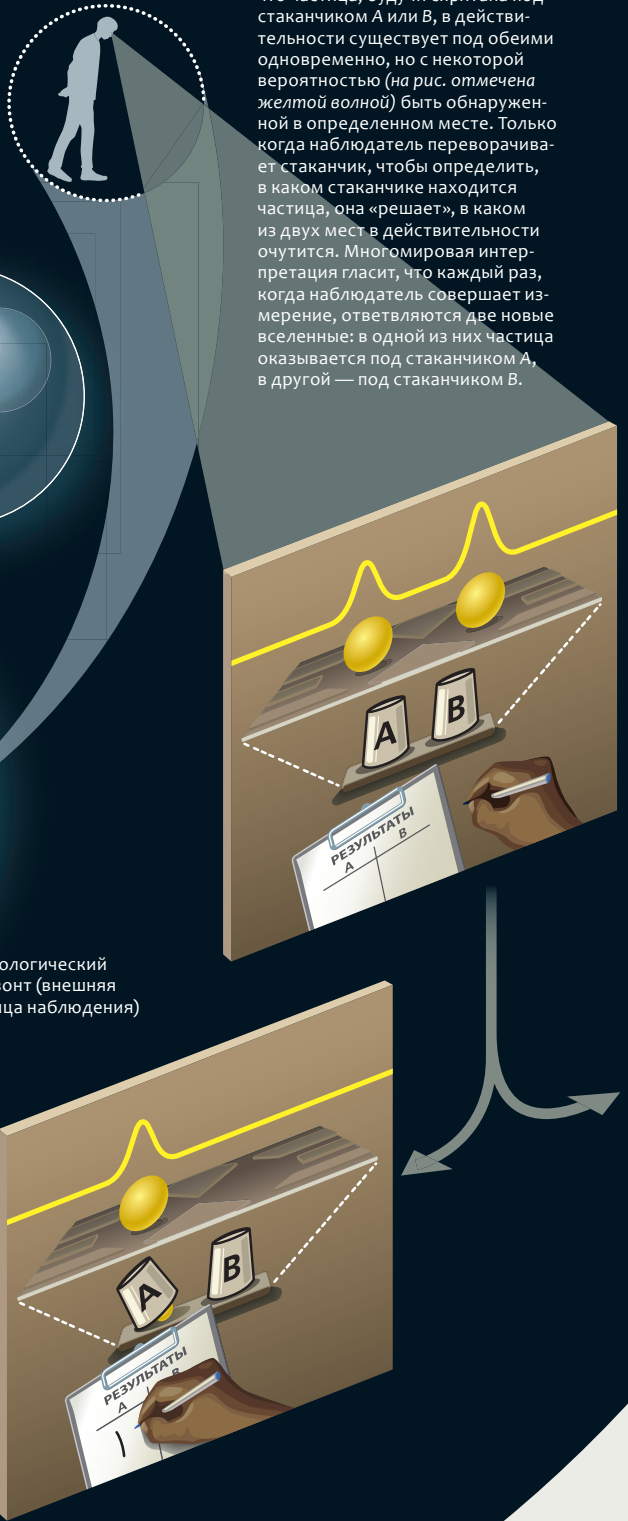
Наблюдатель

Космологический горизонт (внешняя граница наблюдения)

Диаграмма крайне упрощена для наглядности. В теории мультивмира внутри одних пузырей могут возникать другие пузыри.

## Множество миров

Квантовая механика утверждает, что частица, будучи спрятана под стаканчиком А или В, в действительности существует под обоими одновременно, но с некоторой вероятностью (на рис. отмечена желтой волной) быть обнаруженной в определенном месте. Только когда наблюдатель переворачивает стаканчик, чтобы определить, в каком стаканчике находится частица, она «решает», в каком из двух мест в действительности очутится. Многомировая интерпретация гласит, что каждый раз, когда наблюдатель совершает измерение, отщепляются две новые вселенные: в одной из них частица оказывается под стаканчиком А, в другой — под стаканчиком В.



Суперпозиция состояний: много пузырей-вселенных существуют одновременно

↑ Космологическая история ↓

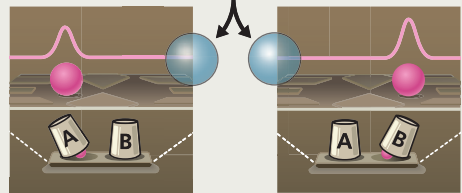
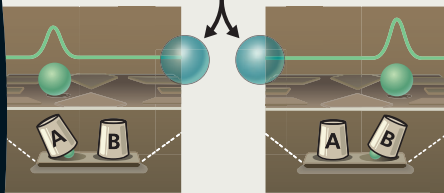
**Большое встречается малое**

Инфляционный мультимир может быть тем же самым, что и многомировая интерпретация квантовой механики, если образование новых пузырей-вселенных — это просто пример квантово-механического ветвления, как это виделось бы гипотетическому наблюдателю. Формирование нового пузыря эквивалентно получению определенного результата наблюдения. При таком подходе теория становится способной давать прогнозы, потому что бесконечное количество пузырей-вселенных сосуществуют вероятно, а не в реальном пространстве. Таким образом, наблюдатель в расширяющемся мультимире сможет делать прогнозы, основанные на вероятностях того или иного события. Возможность прогнозирования — это требование любой научной теории, претендующей на реалистичное описание мира.

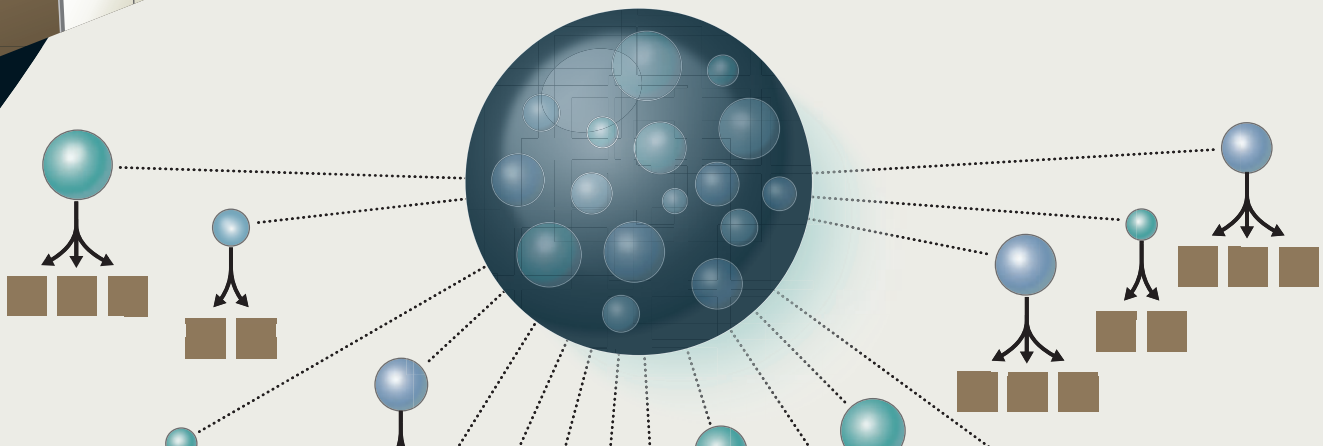
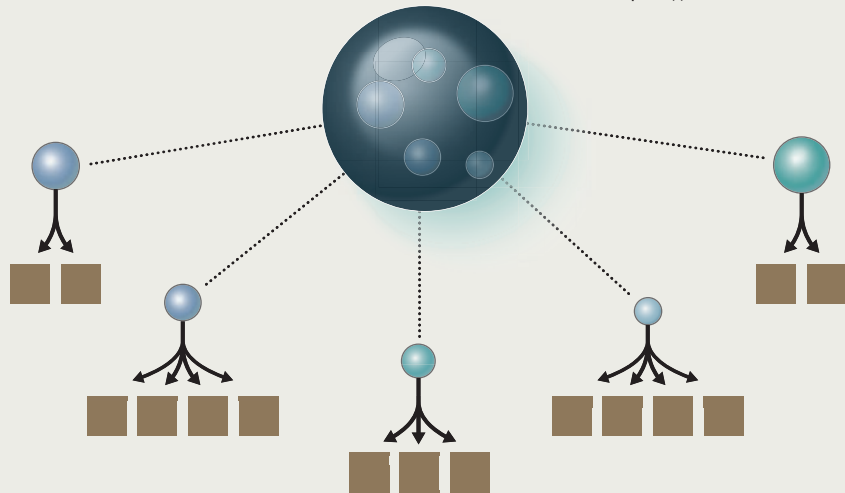
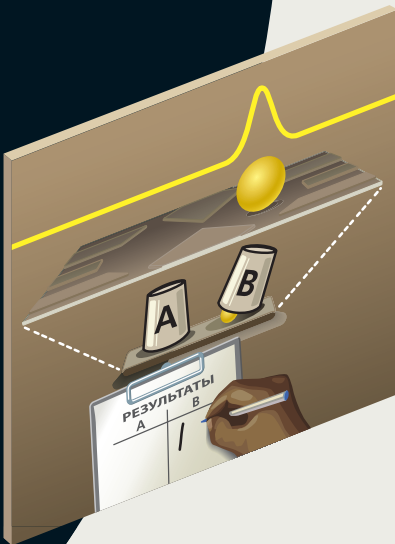
Вселенная А

Вселенная В

Вселенная С



Разные возможные исходы эксперимента, проведенного во вселенной С



мяч находится именно в точке *A*. Другими словами, прежде чем произведено наблюдение квантового состояния, его исход не определен, но после наблюдения все последующие измерения покажут точно такой же результат, как и первое. В общепринятом понимании квантовой механики, называемом копенгагенской интерпретацией, ученые говорят, что первое наблюдение изменяет состояние системы из состояния суперпозиции к определенному состоянию *A*. Хотя копенгагенская интерпретация может давать прогнозы для результатов измерения, она приводит к серьезным трудностям на концептуальном уровне. Что в действительности означает понятие «измерение» и почему оно может изменять состояние системы от суперпозиции возможно-стей к единственной определенности? Происходит ли такая смена состояний, если за системой наблюдает, например, собака или муха? Как быть, если молекула воздуха взаимодействует с системой на протяжении всего времени, пока мы ожидаем результата, и как она может повлиять на этот результат? Есть ли какой-то особый физический смысл в процедуре наблюдения системы человеком?

В 1957 г. Хью Эверетт (Hugh Everett), ставший аспирантом Принстонского университета, разработал многомировую интерпретацию квантовой механики, которая прекрасно разрешила вышеупомянутые проблемы, — хотя первоначально многие приняли теорию с насмешкой и она до сих пор менее популярна, чем копенгагенская интерпретация. Ключевая идея Эверетта заключалась в том, что состояние квантовой системы отражает состояние всего мира вокруг него, то есть мы должны включать наблюдателя в полное описание измерения. Наблюдатель выступает как часть измерения. Другими словами, мы не можем считать мяч, ветер и бросающую мяч руку существующими отдельно. Мы должны включить в фундаментальное описание системы также и человека, который наблюдает точку приземления мяча, и все остальное, происходящее в мире. В такой картине квантовое состояние системы после измерения все еще представляет собой суперпозицию состояний — суперпозицию не просто состояний мяча в двух точках, но двух огромных миров! В первом мире наблюдатель считает, что состояние системы изменилось и стало *A*, следовательно, любой наблюдатель в этом мире также получит как результат

состояние *A* во всех последующих измерениях. Как только измерение было произведено, второй мир «откалывается» от первого. Во втором мире наблюдатель обнаружил, что мяч приземлился в точке *B*. Такая модель объясняет, почему наблюдатель (скажем, человек) думает, что его наблюдения изменили состояние системы. На самом деле произошло следующее: когда человек производил измерение (взаимодействовал с системой), он сам разделился на двух разных людей, которые живут в двух различных параллельных мирах, соответствующих двум различным исходам *A* и *B*.

Согласно такой картине, проводимые людьми измерения не имеют особого значения. Состояние мира непрерывно разветвляется на множе-

ство возможных параллельных миров, которые существуют в суперпозиции. Человек-наблюдатель, будучи частью мира, не может выпасть из этого процесса — наблюдатель расщепляется на множество наблюдателей, живущих во множестве

параллельных миров, которые все одинаково реальны. Очевидным, но важнейшим следствием такой картины становится то, что все в природе подчиняется законам квантовой механики — как малое, так и большое.

Какое же отношение имеют интерпретация квантовой механики Эверетта и параллельные реальности к существующему в непрерывном реальном пространстве мультимиру, который обсуждался в начале? В 2011 г. я утверждал, что вечно расширяющийся мультимир и квантово-механическая многомировая модель Эверетта — в определенном смысле одинаковые понятия. При таком подходе бесконечно большое пространство, возникающее из-за «вечной» инфляции, есть своего рода иллюзия. Множество расширяющихся пузырей-вселенных не существуют в едином реальном пространстве, а представляют собой возможные ветви вероятностного дерева.

Примерно в то же время Рафаэль Буссо (Raphael Bousso) из Калифорнийского университета в Беркли и Леонард Сасскинд (Leonard Susskind) из Стэнфордского университета предложили аналогичную идею. Если это так, то многомировая интерпретация мультимира означала бы, что законы квантовой механики не только действуют в микроскопических областях, но также играют ключевую роль в определении глобальной структуры мультимира даже на сверхбольших расстояниях.

## **Автор статьи и другие физики тоже продолжают заниматься идеей квантового мультимира. Как можно определить квантовое состояние всего мультимира? Что есть время и как оно появляется?**



### Затруднительное положение черной дыры

Для того чтобы лучше объяснить, как многомировая интерпретация квантовой механики могла бы описывать инфляционный мультимир, нужно вкратце поговорить о черных дырах. Черная дыра — это экстремально сжатая область пространства-времени, чье мощнейшее гравитационное поле не дает уйти никаким объектам, начавшим в нее падать. Таким образом, черные дыры — идеальнейший полигон для тестирования физических процессов с сильными квантовыми и гравитационными эффектами. В частности, рассмотренный ниже мысленный эксперимент с участием черных дыр показывает грань, где традиционное представление о мультимире уходит с привычной колеи, делая любые предсказания невозможными. Предположим, что мы бросаем в черную дыру книгу и ведем наблюдение за происходящим со стороны. Согласно теории, в то время как сама книга не сможет избежать попадания в черную дыру, содержащаяся в ней информация не будет утрачена. По моему мнению, после того как книга будет уничтожена гравитацией черной дыры и после того как сама черная дыра постепенно испарится, испуская слабое излучение (эффект, известный как механизм Хокинга, теоретически предсказываемый Стивеном Хокингом из Кембриджского университета), внешний наблюдатель сможет воссоздать информацию, исследовав испущенное черной дырой излучение. Даже прежде чем черная дыра испарится полностью, информация, содержащаяся в книге, начнет постепенно просачиваться наружу вместе с излучением Хокинга.

Еще одна странность возникает, если рассматривать ситуацию с точки зрения наблюдателя, падающего в черную дыру вместе с книгой. В этом случае книга просто проходит горизонт событий черной дыры и навсегда остается внутри нее. Таким образом, для зачитавшегося наблюдателя информация, содержащаяся в книге, тоже окажется навсегда упавшей в черную дыру. С другой стороны, только что утверждалось, что с точки зрения внешнего наблюдателя информация все-таки выйдет наружу. Какое же из этих двух рассуждений верно?

Можно предположить, что информация дублируется: один «экземпляр» остается внутри черной дыры, а другой уходит наружу вместе с излучением Хокинга. Однако такое решение невозможно. В квантовой механике так называемая теорема о запрете клонирования запрещает точное и полное копирование информации. Таким образом, похоже, что выводы обоих наблюдателей не могут быть верными одновременно. Физик Герард 'т Хоофт (Gerard 't Hooft) из Утрехтского университета и Сасскинд со своими коллегами предложили следующее решение. Обе точки

зрения могут быть правильными, но не одновременно. Так, если вы удаленный наблюдатель, то для вас информация находится снаружи. Нет нужды описывать внутреннюю часть черной дыры, потому что вы никогда не сможете ее достичь. Фактически, чтобы избежать клонирования информации, вы должны считать внутреннюю часть черной дыры несуществующей. С другой стороны, если вы наблюдатель, падающий в черную дыру, то внутренность черной дыры становится единственно доступным вам миром, который содержит и книгу, и информацию в ней. Однако такая картина возможна только в модели, игнорирующей излучение Хокинга, что, в принципе, оправданно, поскольку вы, пройдя горизонт событий, оказываетесь в ловушке, отрезав себя от излучения, испущенного с границы черной дыры. Нет никакого противоречия в соединении обеих точек зрения, но только если искусственно их «подправить», что вы никогда не смогли бы сделать физически, учитывая, что нельзя быть одновременно и далеким, и падающим наблюдателем.

### Космологический горизонт

Эта загадка черной дыры кажется не связанной с задачей о том, что общего может быть у многомировой концепции квантовой механики и у мультимира. Тем не менее получается, что граница черной дыры в значительной степени аналогична так называемому космологическому горизонту. Этот горизонт представляет собой границу области пространства-времени, внутри которой мы можем получать сигналы из глубокого космоса. Горизонт существует потому, что пространство расширяется экспоненциально и свет от объектов, находящихся дальше этой невидимой границы, не успевает достичь нас. Так, любое послание от этих объектов никогда не сможет до нас дойти. Таким образом, ситуация отчасти сродни черной дыре с точки зрения удаленного наблюдателя: так же как и в случае черной дыры, квантовая механика требует, чтобы наблюдатель, находящийся внутри космологического горизонта, считал пространство-время по другую сторону от границы (то есть снаружи космологического горизонта) несуществующим. Если мы рассмотрим такое пространство-время в дополнение к информации о том, что может быть получено от горизонта позже (аналог излучения Хокинга в случае черной дыры), то получим избыток информации. Другими словами, любое описание квантового состояния вселенной должно содержать только одну область, заключенную внутри космологического горизонта. В частности, не может быть бесконечного пространства в любом однозначном и полном описании всего космоса.

Если квантовое состояние отражает только область внутри горизонта, то где же тогда мультимир, который, как мы ожидаем, существует во внешнем, экспоненциально расширяющемся пространстве? Ответ заключается в том, что создание пузырей-вселенных вероятно, подобно всем другим процессам в квантовой механике. Точно так же как квантовое измерение может давать множество различных результатов, различающихся своими вероятностями, в инфляционной модели может породиться множество различных вселенных, каждая из которых обладает своей вероятностью рождения. Другими словами, квантовое состояние, представляющее вечно расширяющееся пространство, есть суперпозиция миров — или ветвей. Каждый мир — это отдельная вселенная; каждая из ветвей включает в себя только одну область со своим космологическим горизонтом.

Поскольку каждая из этих вселенных конечна, удастся избежать проблемы предсказуемости, возникающей в бесконечно большом пространстве, в котором может произойти все что угодно. Множественные вселенные в этом случае не все существуют одновременно в реальном пространстве. Они сосуществуют только в вероятностном пространстве, то есть только как возможные результаты наблюдений, проведенных людьми, живущими в каждом из этих миров. Таким образом, каждая вселенная — каждый возможный исход наблюдения — сохраняет свою вероятность образования.

Описанная картина объединяет вечно расширяющийся космологический мультимир и многомировую концепцию Эверетта. Космологическая история разворачивается так. Мультимир начинается из некоторого исходного состояния и развивается в суперпозицию множества пузырей-вселенных. С течением времени состояния, представляющие каждый из этих пузырей, в свою очередь разветвляются на суперпозиции новых состояний, представляющих разные возможные исходы экспериментов. Эксперименты не обязательно научные, это могут быть любые физические эксперименты, проводимые в рамках своей вселенной. В конечном итоге состояние, представляющее целый мультимир, будет состоять из огромного количества ветвей, каждая из которых — это возможный мир, возникающий из начального состояния. Квантово-механические вероятности, таким образом, определяют космологические макропроцессы. Мультимир и многомировой квантовый мир, возможно, описывают одно и то же явление — суперпозицию на различных шкалах. В таком новом представлении наша Вселенная — всего лишь один из всевозможных миров, управляемых фундаментальными принципами квантовой физики и существующих одновременно в вероятностном пространстве.

## Мир за пределами

Для понимания правильности представленной здесь идеи хорошо бы проверить ее в эксперименте. Но разве это возможно? Оказывается, открытие одного феномена может оказать поддержку новому научному мировоззрению. Существование мультимира может проявляться в наличии небольшой отрицательной кривизны пространства нашей Вселенной. Другими словами, объекты и световые лучи будут двигаться не по прямым линиям, как это происходит в евклидовом пространстве, а вдоль кривых, даже при полном отсутствии гравитационных полей. Такая кривизна может образоваться из-за того, что даже несмотря на конечность пузыря-вселенной с точки зрения всего мультимира, находящийся внутри данного конкретного пузыря наблюдатель будет воспринимать свою вселенную как бесконечно большую, что и будет проявляться как видимость отрицательной кривизны. Примером поверхности с отрицательной кривизной может служить поверхность седла, в то время как поверхность шара — сфера — обладает положительной кривизной. Если бы наблюдатель был внутри такого пузыря, то пространство казалось бы ему загибающимся. Современные наблюдения пока подтверждают, что наша Вселенная плоская (*евклидова*. — *Примеч. пер.*). Новые наблюдения, исследующие траектории очень далеких световых лучей, в ближайшие десятилетия смогут улучшить точность определения меры кривизны Вселенной примерно на два порядка. Если в ходе этих наблюдений будет обнаружено некоторое количество отрицательной кривизны, это сможет поддержать концепцию мультимира.

Несмотря на то что наличие отрицательной кривизны в принципе возможно и в одиночной вселенной, это, на мой взгляд, менее правдоподобно. В частности, открытие отрицательной кривизны поддержит картину квантовой вселенной, о которой шла речь в этой статье, поскольку такая модель может привести к достаточно большой кривизне — настолько большой, чтобы быть обнаруженной, в то время как в традиционных инфляционных моделях подобная кривизна оказалась бы на несколько порядков ниже той, что мы надеемся наблюдать. Интересно, что открытие положительной кривизны сможет фальсифицировать гипотезу мультимира, потому что в инфляционных моделях предполагается, что пузыри-вселенные могут производить только отрицательную кривизну. С другой стороны, если нам повезет, мы даже сможем увидеть некие драматические знаки мультимира — такие как последствия столкновений отдельных пузырей-вселенных, которые формируют единую ветвь квантового мультимира. Однако ученые не убеждены, что когда-нибудь мы сможем наблюдать такие сигналы.

Я и другие физики продолжаем разрабатывать идею квантового мультимира на теоретическом уровне. Можно задавать, например, такие фундаментальные вопросы: как мы можем определить квантовое состояние всего мультимира или что такое время и как оно возникает? Картина квантового мультимира не дает на эти вопросы немедленных ответов, но предоставляет основу для их решения. Так, недавно я обнаружил, что ограничения, накладываемые математическим требованием о том, что теория должна включать строго определенные вероятности, приводят к возможности однозначного определения квантового состояния всего мультимира. Эти ограничения предполагают также, что в целом квантовое состояние мультимира не изменяется, даже если физический наблюдатель, представляющий собой часть состояния мультимира, обнаружит, что постоянно формируются новые пузыри-вселенные. Это означает, что наше восприятие Вселенной меняется со временем и, действительно, концепция времени сама по себе может оказаться иллюзорной. Время, согласно такому представлению, есть «возникающая концепция», появляющаяся как следствие более фундаментальной реальности и существующая, возможно, только в локальных ветвях мультимира. Многие из обсуждаемых здесь идей до сих

пор чисто умозрительны, но интересно то, что физики в состоянии поднимать такие большие фундаментальные вопросы, основываясь на успехах теоретических изысканий. Кто знает, куда приведут нас эти исследования? Очевидно то, что мы живем в интереснейшую эпоху, когда наши научные исследования начинают выходить за рамки того, что мы полагали нашим физическим миром, — нашей Вселенной — и двигаться вперед, в потенциально безграничное царство. ■

Перевод: О.С. Сажина

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Берн П. Множественность миров Хью Эверетта // ВМН, № 3, 2008.
- Physical Theories, Eternal Inflation, and the Quantum Universe. Yasunori Nomura in Journal of High Energy Physics, Vol. 2011, No. 11, Article No. 063; November 2011. Препринт доступен по адресу: <https://arxiv.org/abs/1104.2324>
- Multiverse Interpretation of Quantum Mechanics. Raphael Bousso and Leonard Susskind in Physical Review D, Vol. 85, No. 4, Article No. 045007. Опубликовано онлайн 06.02.2012. February Препринт доступен по адресу: <https://arxiv.org/abs/1105.3796>



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Академик Н. Л. Добрецов:  
«В Сибирь поехали те известные ученые, которым было тесно в столицах, кто искал новые возможности для реализации своих идей»

Академик А. Н. Скринский:  
«...За создание ускорителя на встречных пучках взялся десяток лабораторий по всему миру, но к финишу пришли только наш ИЯФ и Стэнфордский университет»

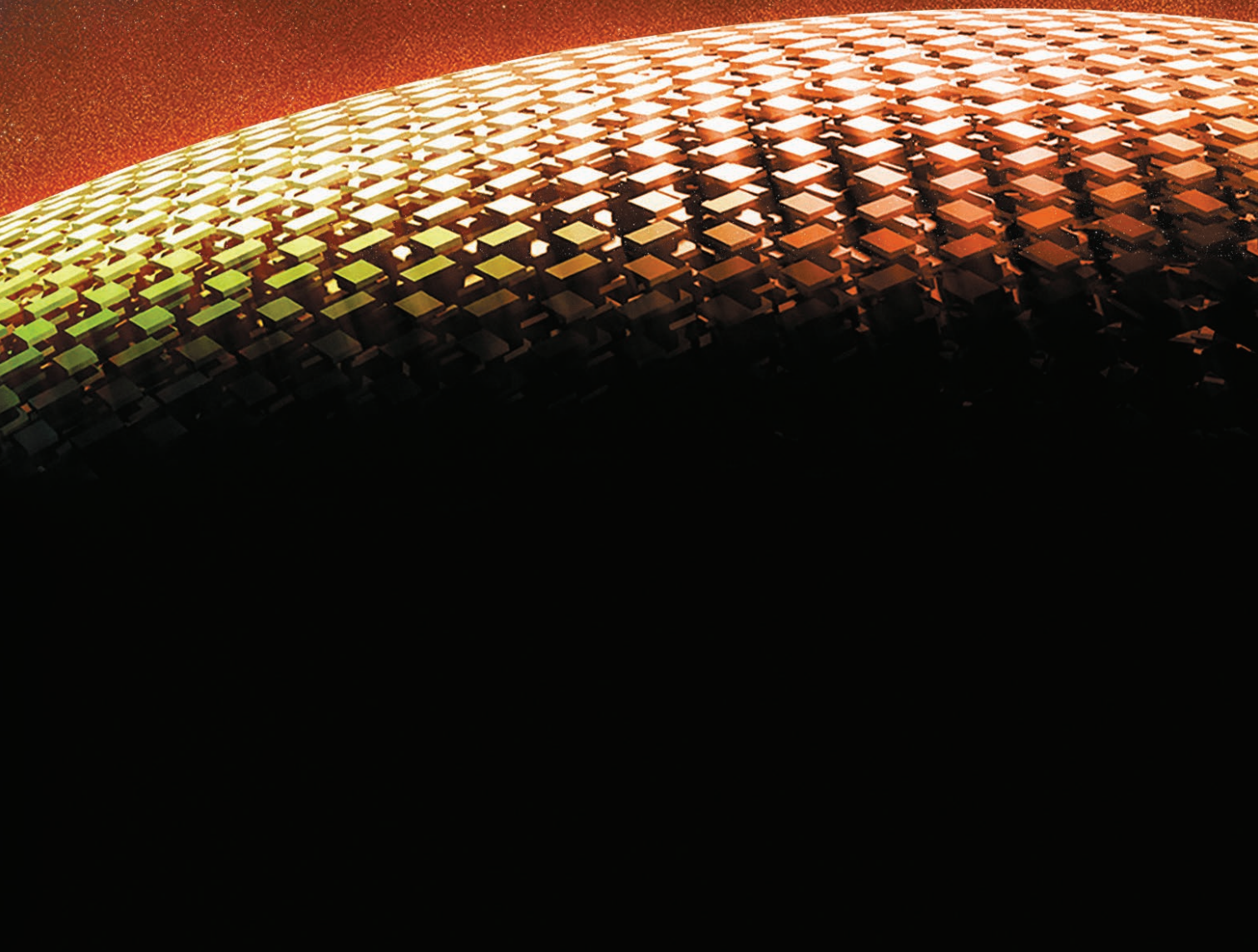
Академик Г. Н. Кулипанов:  
«Традиционные круглые столы ИЯФ собирали не только ученых, но и писателей, артистов, режиссеров, поэтов. Это был символ демократии, независимых суждений за чашечкой кофе»

Доктор химических наук А. К. Петров:  
«В эти самые лучшие наши годы мы могли подойти к любому академику или профессору, задать вопрос и получить ответ. Это была бесценная школа не только науки, но и этики, и самого бытия»

[www.scfh.ru](http://www.scfh.ru)

# ЧЕРНЫ

В начале



# Е Д Ы Р Ы

## времен

КОСМОЛОГИЯ

Скрытая популяция черных дыр, родившаяся менее чем одну секунду спустя после Большого взрыва, могла бы разрешить загадку темной материи

Хуан Гарсиа-Бейидо и Себастьян Клесс

**Больше миллиарда лет тому назад** две черные дыры в удаленной части нашей Вселенной кружились по спирали друг около друга в смертельном танце и в конце концов слились воедино. Процесс был настолько грандиозен, что вызвал возмущения, рябь на ткани пространства-времени — гравитационные волны, которые начали распространяться со скоростью света по всей Вселенной. В сентябре 2015 г., пройдя более 1 млрд световых лет, эти гравитационные волны накатили на Землю и были зарегистрированы как краткий писк в датчиках обсерватории *LIGO*.

Это было первое прямое обнаружение гравитационных волн. Наблюдения подтвердили сделанное век назад предсказание Альберта Эйнштейна. Сигнал от слияния черных дыр — прародителей показал, что их массы превосходят солнечную в 30 раз. Другими словами, масса каждой из них в два-три раза больше, чем масса обычной черной дыры, родившейся в результате взрыва сверхновой. Эти черные дыры настолько тяжелы, что вообще трудно объяснить, как они могли бы образоваться в результате эволюции звезд. Кроме того, даже если две черные дыры и сформировались независимо при гибели двух сверхмассивных звезд, они должны

## ОБ АВТОРАХ

**Хуан Гарсиа-Бейидо** (Juan García-Bellido) — физик-теоретик, профессор Института теоретической физики в Мадриде. Область научных интересов — ранняя Вселенная, темная энергия, черные дыры и квантовая гравитация. Активный участник проекта поиска темной энергии (*Dark Energy Survey*) и член миссий «Евклид» и *LISA* (Лазерно-интерферометрическая космическая антенна) Европейского космического агентства.



**Себастьян Клесс** (Sébastien Clesse) — бельгийский космолог, работает в Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена. Сфера интересов: космологическая инфляция, модифицированная гравитация, первичные черные дыры. Активный член миссии «Евклид» и сотрудник сообщества телескопа *SKA* (Квадратная километровая решетка).



были бы найти друг друга и слиться в единый объект, что представляется чрезвычайно маловероятным событием на временном промежутке существования нашей Вселенной. Принимая во внимание вышесказанное, резонно предположить, что эти две черные дыры сформировались каким-то другим путем, более экзотическим, совсем не связанным со звездами.

Зарегистрировав гравитационные волны, *LIGO*, быть может, совершила и еще одно не менее удивительное открытие: были обнаружены черные дыры, которые предшествовали рождению звезд. Несмотря на то что такие «первичные» черные дыры раньше никогда не наблюдались, существуют теоретические модели, согласно которым подобные объекты могли бы образовываться в очень больших количествах из горячей плотной плазмы, заполнявшей Вселенную менее чем секунду спустя после Большого взрыва. Скрытая популяция этих объектов смогла бы прояснить некоторые нерешенные загадки современной космологии. В частности, первичные черные дыры могут представлять собой некоторую, а быть может даже значительную часть темной материи — почти 85% невидимого вещества (речь идет о проценте невидимого вещества относительно всего вещества во Вселенной; темная материя составляет около 22% массы Вселенной, звезды и другие объекты — 0,4%, межгалактический газ — 3,6%. — Примеч.

пер.), действующего как «гравитационный клей» для удержания галактик и их скоплений в виде связанных структур. Дальнейшие исследования с помощью *LIGO* и других инструментов смогут в ближайшее время проверить эти теоретические модели, очень многообещающие и революционные в нашем понимании устройства Вселенной.

## Упадок «мачо», расцвет вимпов

На первый взгляд, черные дыры могут показаться идеальными кандидатами на роль темной материи, потому что они не излучают. Действительно, наряду с другими объектами, такими как планеты и коричневые карлики, черные дыры предоставляют давнее решение проблемы темной материи — *MACHO* (*massive compact halo objects* — «массивные компактные объекты в гало (галактик)»). Найденные как в сферических галактических гало, которые окружают каждую галактику, так и вблизи центров яркости галактик, «мачо» могли бы создавать гравитационное притяжение, ответственное за некоторое аномальное движение звезд и газа, которые астрономы наблюдают на периферии галактик. Иначе говоря, кажущееся вращение галактик слишком быстрое, чтобы объяснить его одной только светящейся материей, сосредоточенной в звездах. Темное вещество обеспечивает дополнительное гравитационное притяжение для того, чтобы удерживать звезды в галактике.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Природа темной материи — невидимого вещества, которое своим гравитационным полем удерживает галактики вместе, — большая космическая тайна.
- Многие исследователи предполагают, что темная материя состоит из слабо взаимодействующих массивных частиц (вимпов), и ищут их в экспериментах. Однако до настоящего момента они не были обнаружены.
- Первичные черные дыры могли сформироваться почти сразу же после Большого взрыва. Это альтернативные кандидаты на роль темной материи. Однако и они до сих пор ускользали от обнаружения.
- Больше доказательств существования первичных черных дыр может появиться в данных гравитационно-волновых детекторов и других обсерваторий. Если существование таких объектов будет подтверждено, они смогут раскрыть загадку темной материи, а также и другие космологические проблемы.

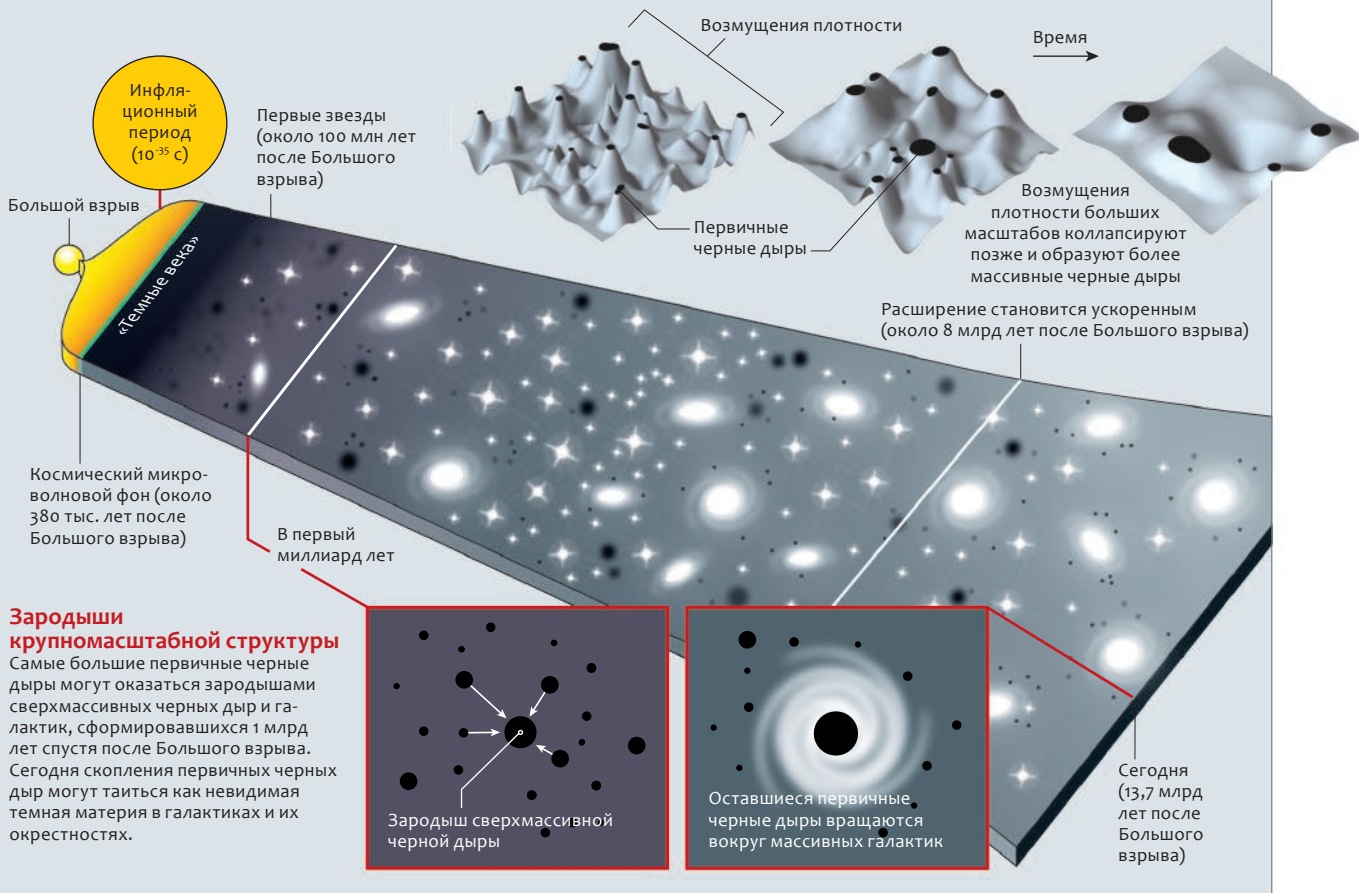
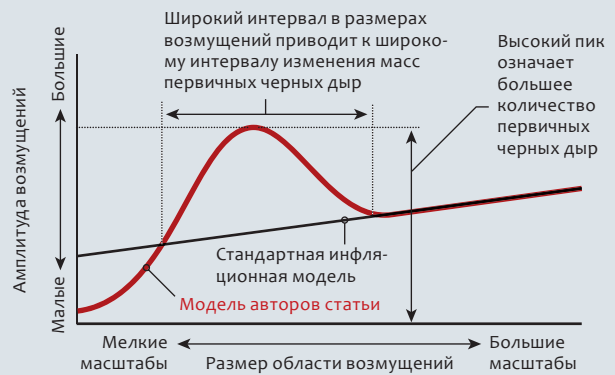
## Черные дыры, рожденные Большим взрывом

Первые во Вселенной черные дыры могли родиться в самые ранние моменты космического времени, когда все вокруг представляло собой кипучую густую смесь элементарных частиц. В 1970 г. теоретики предположили, что плотные области в ранней Вселенной могут коллапсировать под действием собственных гравитационных сил практически через секунду

### Первичные черные дыры формируются в скоплениях

Инфляция — предлагаемая модель ускоренного расширения Вселенной меньше чем через секунду после Большого взрыва — может породить первичные черные дыры путем усиления квантовых возмущений до огромных размеров. С окончанием инфляционной стадии расширения Вселенной эти возмущения могут породить возмущения плотности, которые в свою очередь породят первичные черные дыры. Более крупные и мощные флуктуации смогут породить более массивные и многочисленные первичные черные дыры. Модификация инфляционной модели, предложенная авторами, предсказывает широкий пик в спектре усиленных возмущений, а также спектр возмущений плотности, которые порождают первичными черными дырами в скоплениях. Массы первичных черных дыр меняются в пределах от 100 до 10 тыс. масс Солнца. Через 1,5 млн лет после Большого взрыва скопление может охватить уже сотни световых лет площади и содержать миллионы первичных черных дыр. Эти объекты сливаются, и продукты их взаимодействия — обычные газ и пыль — управляют ростом галактик и скоплений галактик.

после Большого взрыва, формируя так называемые первичные черные дыры, которые могут в дальнейшем задавать структуру эволюционирующей расширяющейся Вселенной. Не излучая, первичные черные дыры могут оказаться хорошими кандидатами на роль темной материи, поскольку их трудно заметить наблюдательными методами.



Если «мачо» составляют большую часть темной материи во Вселенной, то они должны объяснять и другие наблюдения. Вне зависимости от того, из чего состоит темная материя, она формирует крупнейшие структуры во Вселенной, определяя происхождение и рост не только галактик,

но и скоплений и сверхскоплений галактик. Эти объекты возникают из-за гравитационного коллапса сгустков газа внутри гало из темной материи. Космологи смогли точно определить пространственное расположение таких сгустков с помощью глубоких и широких галактических

Illustration by Jen Christiansen and George Retseck (density fluctuation panels)

обзоров, сопоставляя их с колебаниями температуры микроволнового реликтового излучения («послесвечение» Вселенной после Большого взрыва).

Распределение темной материи в больших галактиках и скоплениях галактик искривляет пространство. Траектории лучей света, которые испущены фоновыми по отношению к этим галактикам источниками, искривляются, искажая изображения этих источников. Этот эффект известен как гравитационное линзирование.

Гипотеза «мачо», однако, испытала ряд трудностей десятилетие назад, когда не подтвердилась в косвенных наблюдениях. Так, астрономы искали «мачо» с помощью эффекта микролинзирования — вида гравитационного линзирования, при котором некое массивное тело (коричневый карлик, черная дыра или, быть может, даже планета) проходит между наблюдателем и звездой, временно изменяя блеск последней. Несколько многолетних обзоров по исследованию эффекта микролинзирования для миллионов звезд в Большом и Малом Магеллановых Облаках, главных галактиках — спутниках нашего Млечного Пути, не показали того, что объекты «мачо» составляют большую часть галактического гало. Эти результаты были достаточно убедительны, чтобы исключить «мачо» с массами до десяти солнечных масс как основных кандидатов в темную материю. С получением результатов этих наблюдений теоретики сформулировали альтернативную гипотезу кандидатов в темную материю — так называемые вимпы (*WIMP*, *weakly interacting massive particles* — «слабо взаимодействующие массивные частицы»).

Вимпы предсказываются некоторыми теориями — расширениями стандартной модели физики частиц, однако их статус до сих пор так же ненадежен, как и у «мачо». Несмотря на десятилетия поисков на ускорителях, подземных детекторах и космических телескопах, на сегодня нет никаких подтверждений существования вимпов. Поскольку нулевые результаты не могли не отразиться на жизнеспособности вимпов, некоторые исследователи начали пересматривать гипотезу «мачо», акцентируясь, в частности, на первичных черных дырах. Однако возникает вопрос: какие процессы смогли бы распространить эти странные объекты в наблюдаемой Вселенной и как они могли так долго ускользать из поля зрения наблюдателей?

## Состоит ли темная материя из первичных черных дыр?

Нижеперечисленные наблюдения указывают на различия

### 1. Дополнительное обнаружение гравитационных волн

Гравитационно-волновые детекторы, такие как улучшенная лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория LIGO в США и улучшенный интерферометр Virgo в Италии, смогут обнаружить большее количество событий слияния черных дыр. Обнаружение неожиданно большого количества таких событий будет указывать на правильность предположения об их раннем происхождении. Однако такие наблюдения не смогут доказать, что темная материя состоит из первичных черных дыр. Такое доказательство следует вывести из совокупности независимых наблюдений, сделанных разными методами. В конечном итоге обнаружение черной дыры с массой меньше так называемого предела Чандрасекара (1,45 масс Солнца), ниже которого звезды не могут превращаться в черные дыры, будет неоспоримым доказательством их первичного происхождения. К счастью, LIGO может скоро достичь необходимой чувствительности для обнаружения таких черных дыр, если их компаньон окажется более массивным (больше десяти солнечных масс). Наконец, на космологических шкалах обилие двойных черных дыр должно порождать гравитационно-волновой фон, который можно обнаружить с помощью будущего космического лазерного интерферометра LISA и с помощью наземных инструментов по таймингу пульсаров.

### 2. Открытие большего числа сверхслабых карликовых галактик

В 2015 г. астрономы, используя данные, полученные в результате работы проекта по поиску темной энергии (*Dark Energy Survey*), открыли десятки сверхслабых карликовых галактик в галактическом гало. Это открытие имеет следствием, что сотни таких галактик, содержащих темную материю, должны быть спутниками Млечного Пути. Если темная материя состоит из первичных черных дыр, то большинство их должны находиться в карликовых галактиках, значительное количество которых могло бы быть обнаружено будущими космическими инструментами, например миссией «Евклид» Европейского космического агентства и Инфракрасным телескопом глубокого обзора NASA (*WFIRST*).

### 3. Измерения изменений в положении звезд

Миссия GAIA, еще один проект ЕКА, измеряет положения и скорости около 1 млрд звезд в Млечном Пути с беспрецедентной точностью. Эти измерения могут выявить множество изолированных массивных черных дыр по очень малым изменениям в движении звезд, оказавшихся поблизости от них.

### 4. Создание карт распространения нейтрального водорода в космосе

До и во время формирования первых звезд Вселенная состояла преимущественно из нейтрального водорода, который испускает характерное излучение на радиоволне 21 см. Уже в 2020 г. проект SKA, самый большой из когда-либо созданных в мире радиотелескопов, начнет составление карты всего неба на этой радиоволне. Аккреция вещества на первичные черные дыры порождает интенсивное рентгеновское излучение, ионизирующее окружающий нейтральный водород и дающее характерный сигнал на фоне карты, сделанной на длине волны 21 см. Телескоп SKA должен обнаружить массивные первичные черные дыры, если они составляют темную материю.

### 5. Изучение анизотропии микроволнового реликтового излучения

Рентгеновские лучи от первичных черных дыр, образующиеся за счет аккреции газа и пыли на эти объекты, должны также порождать искажения в спектре микроволнового фонового излучения. Важность этого эффекта до сих пор считается спорной, в частности в моделях первичных черных дыр, группирующихся в плотные скопления. Тем не менее в проекте NASA по исследованию первичной инфляции (PIXIE) предлагается методика измерений таких возможных искажений, что позволит ввести жесткое ограничение разнообразия моделей, рассматривающих первичные черные дыры как кандидатов на роль темной материи.



### Черные дыры от Большого взрыва

Физики Бернард Карр (Bernard Carr) и Стивен Хокинг предложили концепцию первичных черных дыр в 1970 г., хотя они рассматривали только объекты с небольшими массами, меньше массы горы. Такие крошечные черные дыры могли бы испариться и исчезнуть за время существования Вселенной. Причина испарения — квантово-механический процесс, теоретически сформулированный Хокингом, который носит название «излучение Хокинга» (в рамках модифицированной теории гравитации существуют модели неполного испарения черных дыр. — Примеч. пер.). На основании гипотезы полного испарения первичных черных дыр Карр и Хокинг сделали вывод о незначительности вклада таких маленьких черных дыр в общую массу темной материи.

Вероятность того, что массивные первичные черные дыры могут составлять большую, если даже не всю, часть темной материи, зависит от того, как именно происходил процесс космологического инфляционного расширения ранней Вселенной. Идея экспоненциального расширения Вселенной была впервые предложена физиком Аланом Гутом в 80-е гг. прошлого века. Инфляция — это гипотетическая фаза стремительного расширения сразу после Большого взрыва. За промежутки времени в  $10^{-35}$  с две точки, разделенные расстоянием меньше радиуса атома, разлетаются на четыре световых года друг от друга — расстояние, сравнимое с расстоянием от нас до ближайших звезд. Кроме того, во время инфляции крошечные квантовые флуктуации увеличиваются до макроскопических размеров за счет быстрого расширения, наполняя растущую Вселенную областями пониженной и повышенной плотности вещества и энергии, из которых позже образовалась крупномасштабная структура. Как ни удивительно, теория инфляции хорошо подтверждается наблюдениями этих самых возмущений плотности в анизотропии микроволнового реликтового излучения. В 1996 г. один из авторов этой статьи (Хуан Гарсиа-Бейидо) совместно с Андреем Линде из Стэнфордского университета и с Дэвидом Вандсом (David Wands) из Портсмутского университета в Великобритании в рамках теории инфляции предложили механизм формирования острых пиков в спектре возмущений плотности ранней Вселенной. Другими словами, ученые показали, как квантовые флуктуации, многократно усиленные инфляционным расширением, могут естественным образом породить достаточно плотные области, которые, коллапсируя, способны, в свою очередь, образовывать популяции черных дыр всего лишь через 1 с после завершения инфляции. Такие черные дыры и могут вести себя как темная материя, в своей совокупности превышая массу обычной барионной материи современной Вселенной.

В рассматриваемой модели все черные дыры популяции рождаются с одинаковой массой, которая определяется количеством энергии внутри коллапсирующей области. Идея образования таких черных дыр была подхвачена другими учеными, которые использовали ее для других инфляционных сценариев. Так, в 2015 г. Гарсиа-Бейидо и Себастьян Клесс предложили модель, схожую с первоначальным вариантом 1996 г., в которой первичные возмущения порождают первичные черные дыры с широким диапазоном масс. Это было достигнуто за счет того, что первичные возмущения в такой модели обладают широкими пиками в плотности распределения энергии, а также в пространственных объемах. Ключевое следствие этого сценария — тот факт, что большие возмущения плотности коллапсируют в непосредственной пространственной близости друг от друга, порождая скопления черных дыр с разными массами, превышающими массу Солнца на величину от 100 до 10 тыс. раз. В течение 1,5 млн лет после Большого взрыва каждая растущая и эволюционирующая область могла бы содержать миллионы первичных черных дыр в объеме всего нескольких сотен световых лет в поперечнике.

Такие скопления первичных черных дыр были бы достаточно плотными, чтобы объяснить наблюдаемое *LIGO* таинственное слияние черных дыр — событие, не отличающееся регулярностью. Время от времени траектории двух первичных черных дыр, принадлежащих единому скоплению, могут пересекаться. Таким образом, два объекта становятся гравитационно связанными и начинают приближаться друг к другу по спирали. Это движение продолжается миллионы лет, и пока черные дыры не сольются, идет излучение гравитационных волн. В январе 2015 г. авторами статьи было фактически предсказано, что *LIGO* обнаружит гравитационные волны от слияния таких массивных объектов — именно такие, какие были зафиксированы *LIGO* в этом году. Прогнозы авторов относительно числа подобных событий хорошо укладываются в пределы, установленные *LIGO*. Так, если в последующие годы *LIGO* и другие подобные эксперименты зарегистрируют гораздо больше событий слияния первичных черных дыр, то окажется возможным определить спектр масс и скорости вращения этих родоначальников черных дыр. Такой статистический анализ событий слияния черных дыр предоставил бы критическую информацию для проверки гипотез происхождения этих объектов. Главное достоинство рассматриваемого сценария в том, что он не опирается на ограничения по объектам «мачо», ранее установленные по данным гравитационного микролинзирования. Напомним, что эти ограничения исключают черные дыры с массами до десяти масс Солнца как основных кандидатов на роль темной

материи. Если первичные черные дыры существуют и обладают широким спектром масс, то только их малая часть может оказаться видимой в экспериментах по микролинзированию, а большая часть в таких экспериментах себя не проявит.

Если первичные черные дыры группируются в скопления, то вероятность того, что такое скопление окажется в луче видимости с наблюдаемой в рамках проекта гравитационного микролинзирования звездой из нашей галактики-спутника, составляет меньше одной тысячной. Можно искать события микролинзирования повсюду на небе, высматривая усиление блеска звезд в окрестностях Млечного Пути — в галактике Андромеда, или даже усиление блеска квазаров в очень далеких галактиках. Таким образом, в поисках «мачо» — первичных черных дыр — можно будет исследовать гораздо больший объем галактических гало. Последние наблюдения показывают, что хотя «мачо» с массами до десяти масс Солнца и не могут полностью составить среднее галактическое гало, но «мачо» с массами в диапазоне от одной десятой до нескольких масс Солнца легко могут обеспечить около 20% массы типичного гало галактики. Это значение согласуется с предложенным авторами статьи сценарием образования первичных черных дыр с широким диапазоном масс. Проще говоря, пока нельзя исключить возможность того, что темная материя преимущественно состоит из первичных черных дыр. Действительно, предложенный сценарий смог бы расшифровать другие космические тайны, связанные с темной материей и формированием галактик.

### Много проблем, одно решение

Скопления первичных черных дыр способны объяснить так называемую проблему малого количества галактик-спутников. Проблема заключается в отсутствии карликовых галактик-спутников, которые должны формироваться вокруг таких массивных галактик, как наш Млечный Путь. Современное моделирование распределения темной материи в космосе с точностью воспроизводит крупномасштабную структуру Вселенной. В этой структуре гало темной материи вытягивают скопления галактик в длинные «нити» посреди гигантских пустых областей (войдов) более низкой плотности. Однако в более мелких масштабах моделирование предсказывает существование большого количества менее крупных гало (субгало) темной материи, которые вращаются вокруг массивных галактик. Каждое из таких субгало может служить зародышем карликовой галактики, и сотни таких галактик должны окружать Млечный Путь. Астрономы обнаружили их, но гораздо меньше, чем прогнозировалось. Существует множество возможных объяснений отсутствия галактик-спутников, в том числе такое, что моделирование

не позволяет полностью учесть влияние обычной материи (водорода и гелия в звездах) на формирование галактик и на поведение предсказываемых карликовых галактик.

Согласно сценарию, предложенному авторами статьи, если скопления первичных черных дыр создают большую часть темной материи, то эти скопления должны доминировать в субгало, окружающих Млечный Путь, поглощая часть барионного вещества и сокращая звездообразование в этих субгало. Более того, даже если в этих субгало происходит активное звездоформирование, то эти звезды могут быть легко вытолкнуты при взаимодействии с первичными черными дырами. Оба эффекта могут существенно сократить светимость галактик-спутников, сделав их наблюдение затруднительным без наличия высококонтрастных камер глубокого обзора. К счастью, такие камеры теперь существуют, и астрономы уже использовали их в открытии десятков сверхслабых карликовых галактик вокруг Млечного Пути. По всей видимости, эти объекты вмещают в себя в сотни раз больше темной материи, чем светящиеся звезды, и, согласно модели авторов статьи, тысячи таких галактик должны вращаться вокруг Млечного Пути. Моделирование тоже предсказывает существование популяции галактик, промежуточных по размерам между карликовыми и массивными галактиками. Считалось, что такие объекты слишком велики и должны быть наблюдаемы, потому что в них легко и в достаточно большом количестве образуются звезды. Однако они не проявили себя в наблюдениях окрестностей нашей Галактики. Эта проблема «слишком велик, чтобы спрятаться» имеет решение, схожее с проблемой отсутствия галактик-спутников. Дело в том, что массивные первичные черные дыры, находящиеся в центрах галактик промежуточных масс, могли бы выбрасывать звезды и звездообразующий газ из этих объектов, делая их, таким образом, практически невидимыми для большинства наблюдений.

Первичные черные дыры могут также решить проблему происхождения сверхмассивных черных дыр. Эти монстры, весящие от миллиона до миллиарда солнечных масс, наблюдаются в центрах квазаров и массивных галактик очень рано в истории Вселенной. Если сверхмассивные черные дыры сформировались и выросли в результате гравитационного коллапса ранних звезд во Вселенной, то они никогда бы не достигли таких гигантских масс за такой короткий срок — менее 1 млрд лет после Большого взрыва.

В рассматриваемой модели, хотя большинство первичных черных дыр обладают массами только в несколько десятков солнечных, очень небольшая часть будет намного тяжелее, от сотен до десятков тысяч солнечных масс. Рожденные

меньше чем через секунду после Большого взрыва, эти чудовищные объекты могли бы действовать как гигантские зародыши для формирования первых галактик и квазаров, превратившись потом в сверхмассивные черные дыры в центрах галактик. Эти зародыши могли бы объяснить существование черных дыр и промежуточных масс от 1 тыс. до 1 млн солнечных масс. Такие черные дыры наблюдаются на орбитах вокруг сверхмассивных черных дыр и в центрах шаровых звездных скоплений. Другими словами, первичные черные дыры могут послужить недостающим звеном между обычными черными дырами звездных масс и сверхмассивными черными дырами. Быстро появились и наблюдательные указания на справедливость такого сценария: недавно обнаруженные неожиданно обильные источники рентгеновского излучения в ранней Вселенной легче всего объяснить с помощью большого числа первичных черных дыр, вырабатывающих рентгеновское излучение при аккреции на них газа менее чем через 1 млрд лет после Большого взрыва.

### Постигая мрак

Даже если массивные первичные черные дыры смогли бы дать ответ на загадку темной материи, а также некоторые другие давние проблемы космологии, вопрос о темной материи еще не закрыт. Возможны и другие объяснения, допустимы и другие модели — будущие наблюдения помогут отобрать наилучшие. Действительно, в ближайшие годы несколько наблюдательных программ должны проверить сценарий первичных черных дыр. Эти программы включают в себя поиски сверхслабых карликовых галактик, исследование влияния массивных первичных черных дыр на положения звезд в нашей Галактике, построение карт нейтрального водорода в первую эпоху звездообразования, а также изучение анизотропии микроволнового реликтового излучения.

Помимо этих экспериментов, ученые теперь обладают совершенно новым инструментом для открытия тайн Вселенной — это усовершенствованный проект *LIGO* и другие гравитационно-волновые детекторы (в том числе новейшая китайско-российская космическая миссия *TianQin* («Небесная лира»), предназначенная для поиска гравитационных волн на миллигерцах; миссия представляет собой систему трех спутников на геосинхронных орбитах, работающих по принципу лазерного интерферометра. — Примеч. пер.).

Если обсерватория *LIGO* действительно обнаружила сливающиеся компоненты скрытой группы массивных первичных черных дыр, то ученые ожидают открытия большого количества подобных событий в ближайшие годы. В июне 2016 г. сотрудники усовершенствованного проекта *LIGO* представили общественности результаты второго

детектирования гравитационных волн, испущенных двумя сливающимися черными дырами с массами 14 и восемь солнечных масс, а также было дано предварительное сообщение о другом предположительном событии слияния черных дыр массами 23 и 13 солнечных масс. Когда авторы завершали работу над этой статьей, было предварительно заявлено уже о шести событиях слияния. Все это служит указанием на то, что двойные черные дыры оказываются гораздо более частыми объектами в космосе, чем это ожидалось, и что они обладают широким спектром масс, что согласуется с обсуждаемым сценарием массивных первичных черных дыр. Принимая во внимание новые эксперименты и наблюдения, можно говорить о предварительном подтверждении существования первичных черных дыр и их ответственности за темную материю во Вселенной. Скоро мы перестанем блуждать в темноте относительно вопроса о темной материи. ■

Перевод: О.С. Сажина

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Добреску Б., Линкольн Д. Нераскрытые тайны скрытого космоса // ВМН, № 12, 2015.
- Постнов К.А., Долгов А.Д. Шаровые скопления, образованные популяцией первичных черных дыр. 08.04.2017. arXiv.org: 1702.07621v2
- Black Hole Relics in String Gravity: Last Stages of Hawking Evaporation. S. Alexeyev, A. Barrau, G. Boudoul, O. Khovanskaya (Sazhina), M. Sazhin in *Classical and Quantum Gravity*, Vol. 19, pages 4431–4444, 2002.
- TianQin: a Space-Borne Gravitational Wave Detector. Jun Luo et al. in *Classical and Quantum Gravity*, Vol.33, No. 3, 2016.
- Density Perturbations and Black Hole Formation in Hybrid Inflation. Juan García-Bellido, Andrei Linde and David Wands in *Physical Review D*, Vol. 54, No. 10, pages 6040–6058; November 15, 1996.
- Massive Primordial Black Holes from Hybrid Inflation as Dark Matter and the Seeds of Galaxies. Sébastien Clesse and Juan García-Bellido in *Physical Review D*, Vol. 92, No. 2, Article No. 023524; July 15, 2015.
- Did LIGO Detect Dark Matter? Simeon Bird et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 116, No. 20, Article No. 201301; May 20, 2016.
- LIGO Gravitational Wave Detection, Primordial Black Holes, and the Near-IR Cosmic Infrared Background Anisotropies. A. Kashlinsky in *Astrophysical Journal Letters*, Vol. 823, No. 2, Article No. L25; June 1, 2016.
- The Clustering of Massive Primordial Black Holes as Dark Matter: Measuring Their Mass Distribution with Advanced LIGO. Sébastien Clesse and Juan García-Bellido in *Physics of the Dark Universe*, Vol. 15, pages 142–147; March 2017.



# КАК ГОРОДА МОГУТ СПАСТИ НАС

Города могут улучшить планету и нашу жизнь, если их проектировать с прицелом на гораздо большее количество таких ресурсов, как энергия, вода, пища и минералы

*Уильям Макдонаф*



## ОБ АВТОРЕ

**Уильям Макдонаф** (William McDonough) — архитектор, положивший начало проектированию городов с прицелом на устойчивое экобезопасное развитие. Он учредил организации *William McDonough + Partners* и *McDonough Innovation*. Соучредитель Инновационного института продуктов безотходного производства.



**В** городах живет более половины населения Земли. На их долю приходится 70% всемирного выброса углекислого газа в атмосферу, они используют огромные количества воды, ухудшают ее качество и создают горы отходов. Как идут дела в городах, так они идут и на всей планете. А города между тем стремительно растут. По последним оценкам ООН, к 2030 г. в мегаполисах будут жить 5 млрд человек и около половины из них будут проводить жизнь в домах, школах, на рабочих местах и в парках, которые только предстоит создать.

С приданием городам максимально возможной степени долгосрочной экоустойчивости связаны огромные проблемы. Города — это двигатели инноваций и центры предпринимательской энергии. Как показывают сети руководителей городов, очень важную роль играют и муниципалитеты, внося свои вклады в общее дело, задавая экологические программы и выступая мировыми лидерами. Во всех городах, от мегаполисов до самых небольших, мэры, городские советы, инвесторы, экономисты и проектировщики откликаются на острую потребность в перепроектировании основных элементов быстро растущих мест обитания человека с самого начала. То, каким они представляют будущий ландшафт и как они будут проектировать развитие, окажет сильнейшее влияние на всю будущую жизнь на Земле.

Руководство многих городов уже принимает меры по уменьшению загрязнения воздуха и воды.

Но одной эффективности недостаточно для движения к позитивному будущему. Если города будут не только эффективными, но и более благополучными в результате, например, переработки отходов в удобрения и выращивания садово-огородных культур, они смогут продвигать нас к тому будущему, какого мы хотим, а не просто уменьшать нежелательное воздействие на природу.

Ясное представление о путях перепроектирования мегаполиса и его взаимоотношениях с окружающей сельской местностью можно получить, основываясь на «операционной системе» природы. Природные системы действуют на основе энергии Солнца, которая взаимодействует с геохимией планеты, поддерживая продуктивные регенеративные биологические системы. Системы, созданные человеком, например города, если они будут действовать по тем же законам, смогут приблизиться по своей эффективности к живым системам.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Для того чтобы города были долгосрочно экоустойчивыми, проектировать их нужно в соответствии с принципами природного кругооборота, включая максимальное использование солнечной энергии и представление об отходах как о ресурсах.
- Начало использованию этих принципов положили такие недавно спроектированные объекты, как Парк 20|20 в Нидерландах и База самодостаточной стабильности NASA в Калифорнии.
- «Позитивные» города позволят своим обитателям жить и работать в одном и том же районе, обеспечивая этим высокую экономическую эффективность и способствуя безопасности, достоинству и творческому потенциалу людей.

## БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ

Доля человечества, живущая в городах, составляет **55%**

**5 млрд**

человек будут жить в городах к 2030 г.

Города США,  
нацеленные на 100% энергии  
из возобновляемых источников

**27**

Доля жителей  
Куриtibaы в Бразилии,  
пользующихся автобусом

**85%**

Такие законы можно свести к трем ключевым принципам: приравниванию отходов к пище, максимальному использованию солнечной энергии и поддержке разнообразия.

В природе не существует отходов. Плоды фруктовых деревьев падают на землю, где разлагаются и становятся пищей для других организмов. Органическими отходами деревьев и животных, которые поедают их плоды, питаются бактерии и грибы, внося в почву питательные вещества, а деревья могут поглощать их и использовать для роста. Отходы одних организмов становятся пищей для других. Питательные вещества совершают непрерывный кругооборот в рамках регенеративных циклов рождения, распада и нового рождения. Отходы тождественны пище.

Наши сегодняшние города рассчитаны на однонаправленный поток материалов. Поступающие в такой «линейный» город биологические (пищевые продукты, древесина и др.) и технические (металлы, пластики и др.) «питательные материалы» используются в нем, отходы сортируются и перерабатываются с целью извлечения ценных веществ, пригодных для повторного использования (металлов, бумаги, некоторых пластиков). А то, что остается после этого, направляется на свалки или мусоросжигательные заводы. Весь процесс выглядит так: «принял — использовал — выбросил». Но, как некоторые потребительские изделия проектируются сегодня с расчетом на возможность их разборки, возврата в производство и повторного использования, так и города можно проектировать с расчетом на кругооборот «принял — использовал — переработал — восстановил».

В городе с кругооборотом материалов отходы становятся ресурсами. Рассмотрим сточные воды. В «линейном» городе водоочистные сооружения выделяют из них остатки пищи и экскременты (включая содержащиеся в них такие ценные вещества, как фосфаты), а остатки сливают в реки в качестве загрязнителей. При этом для восстановления плодородия почвы из-за убыли фосфатов фермерам приходится заказывать удобрения из Марокко и других дальних стран. В отличие от этого, в «кругооборотном» городе очистные сооружения становятся заводами по производству удобрений. В углероде, фосфатах и азоте видятся потенциальные активы для почвы, а не обуза для ближайшей реки. В «кругооборотных» городах сточные воды перерабатываются для извлечения фосфатов с целью использования для производства удобрений для парков, огородов на крышах зданий или ферм и лесов вокруг города. Это избавляет от необходимости закупки фосфатов из далеких источников и транспортировки их в США. В результате исключаются затраты энергии и выброс углекислого газа в атмосферу, связанные с добычей и транспортировкой фосфатов.

Исключение понятия отходов распространяется на все системы, поэтому в «кругооборотных» городах поступающие материалы рассматриваются как ресурс для последующего использования, а не как расходный материал. Например, новые технологии позволяют рентабельно перерабатывать схемные платы сотовых телефонов на безотходных производствах с извлечением всех минералов, содержащих редкоземельные элементы, и драгоценных металлов для последующего использования при производстве новых электронных изделий.

Второй ключевой принцип природы, который следует использовать в «позитивных» городах, это питание всего солнечной энергией и в некоторых случаях, как в столице Исландии Рейкьявике, — геотермальной. Деревья и другие растения, производящие пищу из солнечного света, — изящная и эффективная система, использующая единственный на Земле неиссякаемый источник энергии. Здания могут эксплуатировать такую энергию путем прямого преобразования ее в электрическую, а также и пассивно — путем сбора солнечного излучения с целью естественного освещения или получения тепла. Пустить в дело можно и энергию ветра — воздушные потоки, порождаемые солнечным излучением. Солнечная, ветровая и геотермальная энергии в совокупности позволяют вырабатывать такое количество электроэнергии, которого хватит для удовлетворения всех потребностей городов, регионов и даже целых стран. Причем производство будет вполне рентабельным. Такие города, как Сан-Франциско, уже значительно продвинулись в направлении выполнения намерения обеспечить стопроцентное удовлетворение своих энергопотребностей за счет возобновляемых источников в ближайших 15 лет.

Третий ключевой принцип — разнообразие — присущ всем здоровым экосистемам. Каждый организм реагирует на окружение по-своему, но в гармонии с другими организмами, и это работает на поддержание системы в целом.

В поисках подходящих решений проектировщики городов внимательно рассматривают местную экологию. Они оценивают геологию, гидрологию, растительность и климат, а также учитывают естественную и культурную историю. Используя такое богатое сочетание подсказок, проектировщики находят подходящие картины развития ландшафта, открывая этим возможности позитивного роста, обеспечивающего поддержание жизни.

В конце концов, то, чего мы хотим, — это город, позволяющий людям жить и работать в одном и том же окружении. Если сотовые телефоны жителей можно разбирать и перерабатывать на безотходном предприятии, вписывающемся в экосистему мегаполиса, то перемещать его в какую-то специальную неблагоприятную зону на окраине нет нужды. «Позитивные» города не нуждаются в зонировании по соображениям опасной или неблагоприятной деятельности. Заводы могут располагаться посреди чистых жилых массивов, что позволит работникам жить в пределах пешей или велосипедной доступности. А такая возможность намного уменьшит потребность в ежедневных поездках на транспорте, связанных с огромными затратами энергии и потерями времени людей. А если свежая и здоровая пища выращивается на крышах зданий по всему городу, как, например,

у завода компании *Method Products* в Чикаго, это может не только сделать местные органические отходы ресурсом для производства пищи на крышах, но и открыть возможность работникам ферм жить поблизости.

Вообразите, что вся наша деятельность — это действия, поддерживающие жизнь, вызывающие восхищение и находящиеся в гармонии с природой. Здания функционируют подобно деревьям: они поглощают углерод, вырабатывают кислород, очищают воду, служат жилищами для тысяч видов организмов, преобразуют солнечную энергию в необходимые им тепло и электрическую энергию и продают ее излишки соседям. Здания с собственными заливными лугами и ботаническими садами извлекают питательные вещества из сточных вод и очищают то, что остается, для использования на своих кухнях и в ваннах. Повсюду свежий воздух, цветущие растения и дневной свет. Здания и общины функционируют как системы жизнеобеспечения.

Имея все это в виду, можно представить себе, что пища и материалы, производимые в окружающей город сельской местности, создаются с использованием орудий и технологий, созданных в городе, который возвращает отходы в качестве сырья для восполнения ресурсов системы. Все движется в регенеративных циклах из города в село и обратно в рамках природных и культурных сетей, по которым циркулируют биологические и технические «питательные вещества». Метаболизм живого «позитивного» города позволяет поселениям человека и миру природы благоденствовать совместно. И если мы хотим сделать наши места обитания самодостаточными, мы должны принять это в качестве буквальной стратегической истины.

Формулирование принципов утопического будущего — дело заманчивое. Но могут ли современные города применить данные принципы на практике? Некоторые недавние промышленные установки показывают, как это можно сделать.

Обновление и расширение *Ford Rouge Center* в Дирборне, штат Мичиган, превратило огромный исторический автомобилестроительный комплекс в модель устойчивого развития промышленности. В мастер-план входит зеленая крыша площадью 4 га, служащая сердцем системы влажных садов, пористых дорожных покрытий, зеленых изгородей и биологических систем очистки от загрязнений с использованием болотных растений. Проект преобразовал экологически неблагоприятную промзону в процветающую экосистему, которая удерживает и очищает дождевые воды и постепенно спускает их в близлежащую реку Руж таким образом, чтобы поддерживать благополучие водосборной площади. И уже через неделю после завершения реконструкции к родным гнездам вернулись местные зуйки.



Другая модель — это База самодостаточной стабильности NASA, новый научно-вычислительный центр агентства в Исследовательском центре им. Эймса в Моффетт-Филде, штат Калифорния. База потенциально способна полностью удовлетворить все свои потребности в отоплении, охлаждении и электроэнергии (и даже обеспечить избыток последней) за счет солнечной и геотермальной энергии и топливных элементов с использованием передовых систем управления энергией. Сточные воды там перерабатываются на месте.

Еще одна модель — Парк 20|20 в Хофддорпе (Нидерланды). Это комплекс разнородных зданий и открытых площадей на площади в 10 га. До него легко добраться по воздуху, поездом, автобусом или велосипедом. Зеленые зоны, придорожные сервисные комплексы, общественные сады и дощатые дорожки вдоль канала обеспечивают связь с более широкой общиной. Размеры, структура и ориентация каждого здания оптимизированы применительно к использованию солнечного света и солнечной энергии. Все здания парка объединены общими системами энерго- и водоснабжения и переработки сточных вод, действующими как единый организм.

Можно ли внедрить данные достижения в целые города? В этом отношении вдохновляют некоторые интересные места. Одно из них — бразильский город Куритиба.

В Куритибе в 1970-х гг. начались большие преобразования под руководством легендарного архитектора и проектировщика Жайме Лернера (Jaime Lerner), который в разные периоды между 1970-ми и 1990-ми гг. занимал в ней пост мэра. Во время своего первого срока на этой должности Лернер увидел, что бедный город с населением в несколько сотен тысяч человек нуждается в совершенной системе общественного транспорта. Поскольку метро или трамвайная сеть стоили бы слишком дорого, он заказал компании *Volvo* 270 сочлененных автобусов, которые должны были быть изготовлены в Куритибе, что предоставило бы работу ее жителям. Город нанял местных рабочих для строительства крытых наземных автобусных остановок на улицах. С этих остановок люди могли ехать повсюду по единому тарифу. При этом Лернер отказался от системы оплаты проезда при посадке пассажиров в автобус, так как она замедляла посадку. Вместо нее он ввел систему предоплаты проезда при входе на остановку, что ускорило посадку в автобус по его прибытии и делало всю систему более эффективной.

Из-за быстрого роста населения Куритибы в узких переулках, куда не могли заехать грузовики-мусоровозы, стал накапливаться мусор. Лернер создал программу обучения детей сортировке мусора. Прошедшим обучение он давал задание обучить тому же их семьи. Сортировку мусора людям

оплачивали автобусными билетами или свежей пищей. То есть Лернер оплачивал людям их мобильность. Сегодня автобусом пользуются 85% населения Куритибы, а 90% занимаются сортировкой мусора. Город перерабатывает 70% своего мусора, и это один из высочайших показателей в мире.

Такой новаторский подход продолжает работать. Вместо строительства большого здания центральной библиотеки в центре города была создана сеть из 50 небольших «маяков знания» в разных районах города, так чтобы до каждого мог дойти пешком любой ребенок. Разумеется, местные строители соорудили ярко окрашенные здания. Библиотеки работают с муниципальными школами, предлагая горожанам в возрасте от 3 до 80 лет тысячи книг и бесплатный доступ к интернету. Эти и другие шаги преобразовали город в живой организм.

Теперь представьте себе, как это все можно перенести на Манхэттен. Выращивание продовольственных культур на крышах сотен школ и больниц, что обеспечивало бы людям питательные вещества и рабочие места в районах их проживания. Дети, имеющие возможность сортировать мусор, выделяя пластик и передавая его в центры переработки, чтобы не загрязнять океан, получающие за это плату игрушками. Безотходные предприятия, преобразовывающие пластик в мономеры, которые можно будет использовать повторно. Все будет приводиться в действие солнечной энергией, а пищевые и технические материалы будут совершать непрерывный кругооборот.

В итоге люди получат то, что я назвал бы хорошей жизнью, — жизнь безопасную, достойную и творческую. «Позитивные» города — это места, где такое может произойти. Если они будут спроектированы и функционировать в соответствии с подобными принципами, лучше будет всем. Нужно добиваться права на сосуществование человечества и природы, чтобы объединить города с их сельским окружением.

Города спроектированы человеком, но они — живые организмы. Как говорил много лет назад покойный французский антрополог Клод Леви-Стросс, города — это «нечто живое и нечто воображаемое». Как создатели мест обитания, мы должны проектировать себя на ландшафт. Но мечтая об идеальных условиях для проживания людей, налагая человеческую ткань на геологическую структуру, мы можем получить более ясное представление о месте своего обитания, его духе. И тогда, формируя природу своих городов, мы будем создавать места, ориентированные как на творчество человека, так и на богатые гармоничные взаимоотношения с живой планетой. Мы будем ковать новую географию надежды. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

# ЗАСТАВИТЬ ОТХОДЫ РАБОТАТЬ

Превращение отходов в ценный ресурс может сделать города высокоэффективными

*Майкл Уэббер*

# 20

декабря 2015 г. в китайском городе Шэньчжэне обвалилась гора городских отходов, погубив 69 человек и разрушив десятки зданий. Катастрофа стала реальным проявлением того, что способны натворить горы отходов, изображенные в мультфильме *WALL-E*, снятом в 2008 г., где выражена ужасная, но реальная мысль, что мусор может бесконтроль-

но накапливаться, вытесняя нас из нашей среды обитания. Эффективный путь превращения существующего сегодня города в экобезопасный и рассчитанный на долгосрочную перспективу, в город, сохраняющий, а не губящий нашу Землю, состоит в уменьшении всех потоков мусора и использовании того, что останется в качестве ресурсов. Отходы одних процессов должны стать исходными материалами для других.



## ОБ АВТОРЕ

**Майкл Уэббер** (Michael E. Webber) — заместитель директора Энергетического института, один из директоров компании *Clean Energy Incubator* и профессор энергетики Техасского университета в Остине. Его последняя книга — «Жажда власти: энергия, вода и выживание человека» (*Thirst for Power: Energy, Water, and Human Survival*, 2016).



В мире все больше людей переселяются в города, что ставит их на первое место при решении глобальной проблемы ресурсов. Мэрам приходится брать на себя все больше ответственности за разработку решений, особенно в тех странах, где общественность не рвется решать проблемы окружающей среды. Важная роль городов признается и в принятых в 2015 г. в Париже международных соглашениях по климату. Тогда на переговоры по объединению усилий в деле уменьшения выбросов в атмосферу в столицу Франции съехались более 1 тыс. мэров. Изменение строительных норм и инвестиции в эффективное использование энергии — два начальных этапа, где они могут начать действовать намного быстрее, чем национальные правительства.

Городам есть смысл активизироваться. В некоторых из них — в Нью-Йорке, Мехико, Пекине — живет больше людей, чем в иных государствах. Здесь все проблемы управления нашей жизнью сталкиваются в наиболее концентрированной форме. Города могут служить живыми лабораториями по улучшению качества жизни без использования ресурсов Земли, без загрязнения воздуха и воды и без вреда для здоровья людей в этом процессе. Города выбрасывают углекислый газ и расточают энергию, пищу, воду, пространство и время. Уменьшение этого потока отходов и рассмотрение его в качестве ресурса, а не затрат, позволяет разом решить множество проблем, создавая перспективное будущее для миллиардов людей.

GETTY IMAGES



Машины раскапывают завалы в Шэньчжэне, образовавшиеся в результате обвала горы мусора, похоронившего десятки зданий

## Отходы как выход

История содержит множество уроков об отходах. Лондонский врач Джон Сноу (John Snow) пришел к выводу, что причиной страшных вспышек холеры в Лондоне в 1848 и 1854 гг. было загрязнение общественных колодцев сточными водами. Очевидным решением было создание канализационной системы, но политические лидеры отвергли выводы Сноу, поскольку его идеи не соответствовали господствующей идеологии, а предлагаемые им меры сочли слишком дорогостоящими. Подобным образом отвергаются и выводы современных климатологов, которые говорят, что отходы медленно убивают нас и что решение этой проблемы потребует больших вложений в новую инфраструктуру. Позднее, когда новые лидеры предприняли масштабные государственные работы по втискиванию почти 2 тыс. км канализационных труб в плотную застройку трехмиллионного города, решив этим проблему холеры, Сноу был объявлен героем (возможно, такая же судьба ждет и современных ученых). Эта работа привела также к созданию приятных набережных Темзы, которые и сегодня служат одним из ключевых элементов городской среды Лондона, местом для прогулок множества людей.

Однако сегодня одного удаления отходов недостаточно. После уменьшения их количества необходимо замкнуть цепь и использовать остаток повторно. Итак, стратегия такова: сначала уменьшить количество отходов, а затем заставить их работать.

Это новое мышление начинается с переопределения понятия загрязнений. Известный инженер системы коммунального водоснабжения в Остине, штат Техас, Радж Бхаттарай (Raj Bhattarai) дал мне новое определение загрязнения: ресурсы не на своем месте. Вещества вредоносны, если они находятся в неподходящем месте: в нашем организме, в воздухе или в воде. Но в нужном месте они полезны. Например, твердые отходы можно не отправлять на свалку, да еще оплачивая их вывоз нашими налогами, а сжигать для выработки электроэнергии. А из сточных вод городов-миллионников можно извлекать золото и другие драгоценные металлы на миллионы долларов в год и использовать их на местных производствах.

Эта идея хорошо согласуется с более широкой концепцией так называемой циркулярной

экономики, или экономики замкнутого цикла, где виды деятельности общества и процессы взаимовыгодно питают друг друга. Попросту говоря, отходы — это то, что вы получаете, если не проявите достаточного воображения.

## Меньше — это больше

Одно из очевидных мест, с которых можно начать действия по уменьшению количества отходов, — это водопровод. Из-за утечек из него обычно теряется 10–40% воды. А поскольку на очистку этой воды и подачу ее в систему расходуется энергия, утечки — это и потери энергии.

Само потребление энергии невероятно расточительно. Больше половины потребляемой городом электроэнергии теряется в виде тепла из дымовых труб, выхлопных труб автомобилей, с тыльной стороны нагревательных приборов и кондиционеров, а также от бытовых электроприборов. Повышение КПД всей этой техники уменьшает количество энергии, которое нам приходится вырабатывать, распределять и очищать.

Еще один поток отходов — мусор. В США на душу населения ежедневно создается почти 2 кг мусора. Несмотря на попытки компостировать, повторно использовать и сжечь часть этого мусора, не-

много больше половины его вывозится на свалки. Один из путей уменьшения количества мусора состоит в уменьшении объемов упаковки, а оно дает и другие преимущества. В частности, крупные розничные сети вроде Walmart обнаружили, что с уменьшением объемов упаковки уменьшается и количество грузовиков, потребных для доставки товаров, а также становится больше места на полках для их выставления.

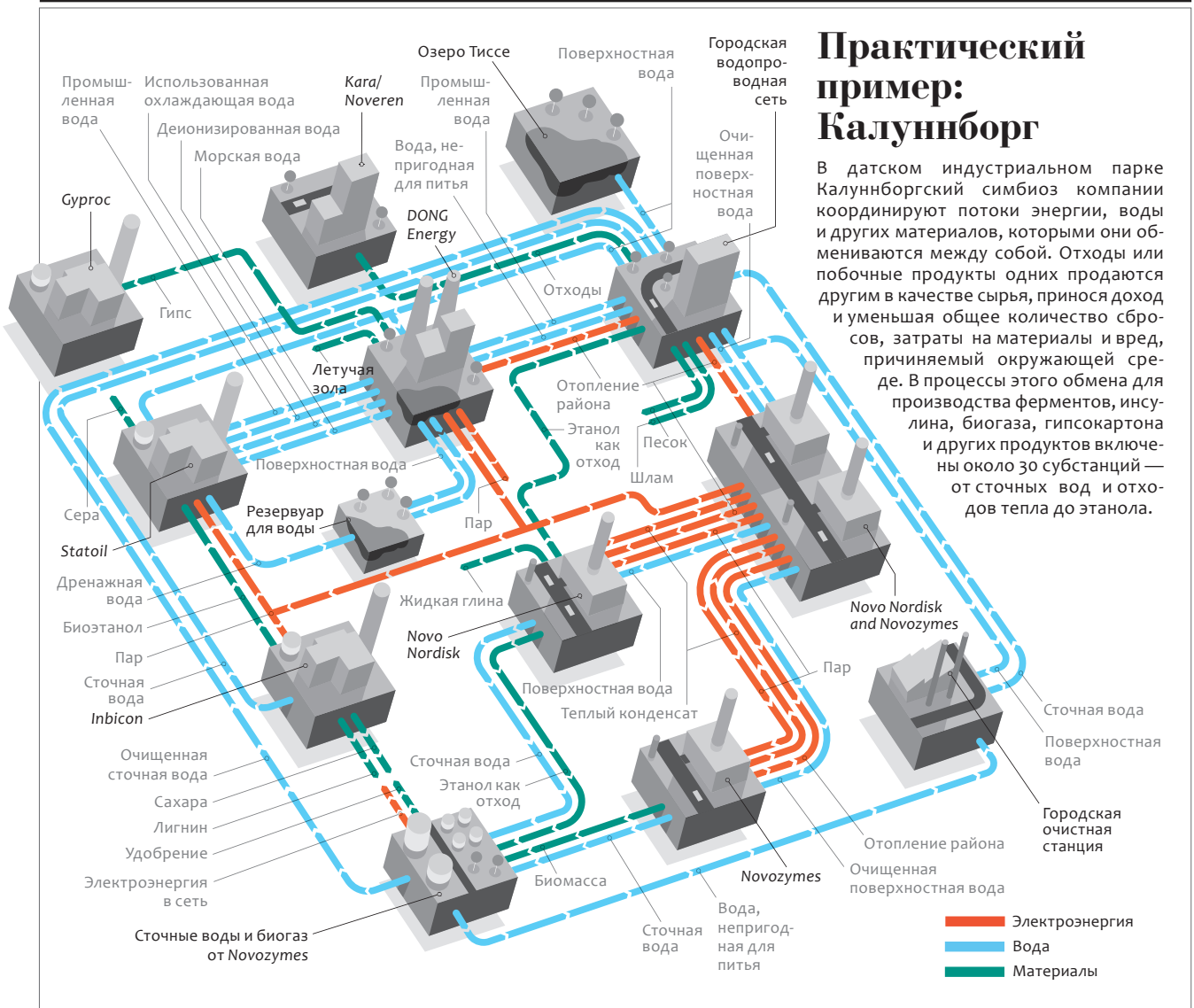
Пищевые отходы сами по себе крайне огорчительны. Несмотря на голод и нехватку пищи во многих местах мира, американцы выбрасывают от 25 до 50% пригодной пищи. Выращивание продовольственных культур, производство и хранение продуктов и приготовление пищи требуют огромных территорий, затрат энергии, и количества воды, поэтому пищевые отходы оказывают существенное влияние на экологию. Такие инициативы, как кампания «Я ценю пищу» в США и подобная в Великобритании, — это начало пути к решению данной жизненно важной проблемы.



Для отопления теплиц, где выращиваются помидоры, Ванкувер сжигает метан, собираемый со свалок

## Практический пример: Калуннборг

В датском индустриальном парке Калуннборгский симбиоз компании координируют потоки энергии, воды и других материалов, которыми они обмениваются между собой. Отходы или побочные продукты одних продаются другим в качестве сырья, принося доход и уменьшая общее количество сбросов, затраты на материалы и вред, причиняемый окружающей среде. В процессы этого обмена для производства ферментов, инсулина, биогаза, гипсокартона и других продуктов включены около 30 субстанций — от сточных вод и отходов тепла до этанола.



### Заставить отходы работать

После уменьшения потока отходов города должны использовать отходы одного городского процесса в качестве ресурса для другого. Пока это делается редко, но притягательные проекты множатся. Современные системы превращения отходов в энергию, например в швейцарском Цюрихе, обеспечивают чистое сжигание мусора, а некоторые, в частности в Палм-Бич, штат Флорида, извлекают более 95% металлов из золы, образующейся в результате сжигания мусора. Некоторые сельские поселения, например Юнде в Германии, вырабатывают из навоза достаточное количество биогаза, чтобы отапливать или снабжать электроэнергией значительную долю своих жилых домов. Моя исследовательская группа из Техасского университета в Остине показала, что на цементном заводе в Нью-Браунфелсе, штат Техас, в качестве топлива можно вместо каменного угля использовать

не поддающиеся переработке пластики, что исключает выбросы углекислого газа и уменьшает воздействие угледобычи на природу.

Некоторую ценность может представлять даже мусор, вывезенный на свалки. Города могут собирать метан, выделяющийся при разложении отходов, вместо того чтобы сжигать его или просто позволять ему уходить в атмосферу, где он захватывает гораздо больше тепла, чем эквивалентное количество углекислого газа. А сжигая собранный метан, можно получать электроэнергию. На свалках Ванкувера метан собирают и используют для отопления теплиц, где выращивают помидоры.

Однако весь метан со свалок не соберешь, и это вдохновило власти Ванкувера дать жителям отдельные емкости для мусора и органических материалов (остатков пищи, скошенной во дворах травы, обрезанных веток деревьев). Власти рассчитывают, что горожане будут использовать их

по назначению, и создают службу городских инспекторов, которые должны проверять, правильно ли разгружают мусоровозы раздельно собранный мусор. Собирая метан, выделяемый органическими отходами, город вырабатывает твердые остатки, способные повышать плодородие почв. Такой подход разом решает несколько проблем: экономит деньги, которые пришлось бы потратить на закупку электроэнергии, уменьшает потребность в территориях для свалок, исключает ненужное использование и повреждение земель и при этом повышает эффективность земледелия.

Примерно так же поступает Остин со шламом сточных вод, пропуская его через анаэробные биореакторы для получения биогаза, который город продает или использует на месте для получения тепла. А твердые остатки этого процесса он превращает в популярное удобрение *Dillo Dirt*. Продавая его, город зарабатывает деньги, чем компенсирует часть затрат на переработку сточных вод.



**Калуннборг:** трубы, по которым отработанный пар с электростанции DONG Energy передается компаниям для использования его в производственных целях

## Вместо того чтобы отправлять отходы на свалки, их можно сжигать для выработки электроэнергии, а из сточных вод можно извлекать золото и другие драгоценные металлы для использования на местных производствах

Хотя среди населения растет популярность компостирования, которое достойно поощрения, неправильное его проведение ведет к увеличению выбросов метана. Жителям Остина лучше измельчать остатки пищи и спускать их в канализацию, чтобы городские водоочистные предприятия промышленного масштаба выполняли компостирование более эффективно.

Большие возможности кроются и в отходах тепла. Использовать их трудно, поскольку недостаточно высокие температуры сложно преобразовывать в электроэнергию. NASA разработало термоэлектрогенераторы для выполнения этой работы на космических аппаратах, но технология агентства дорога и малоэффективна. Однако

появляются новые материалы, которые позволяют преобразовывать тепло в электроэнергию с более высоким КПД. Начать можно с горячих сточных вод, поступающих в канализацию, когда мы моем посуду, стираем или принимаем душ. В Сандвике, пригороде столицы Норвегии Осло, расположены большие теплообменники, отбирающие тепло из канализационных труб для обогрева десятков близлежащих зда-

ний и очистки дорог и тротуаров ото льда. А летом включение тепловых насосов позволяет использовать часть этого тепла для охлаждения тех же зданий. Властям Ванкувера эта идея так понравилась, что они позаимствовали ее, дабы использовать сточные воды для отопления сотен домов и Олимпийской деревни. Дальнейшим развитием этой идеи стал Калуннборгский симбиоз в Дании — выдающийся пример «мышления с замкнутым циклом». В этом индустриальном парке расположены семь компаний и муниципальные организации, занимающиеся энергоснабжением,

водоснабжением, водоочисткой и переработкой твердых отходов. Все они связаны между собой таким образом, что отходы одних из них служат ресурсами для других. По трубам, проводам и коробам движутся в разных направлениях пар, газы, вода, электроэнергия и твердые отходы, обеспечи-

вая повышение общей эффективности и уменьшая итоговый объем отходов, включая выбросы  $CO_2$ . В частности, тепло от нефтеперерабатывающего завода передается на электростанцию, где используется для очистки и стабилизации летучей золы, образующейся при сжигании каменного угля. А отходы пара из нефтеперерабатывающего завода идут компании *Novo Nordisk*, которая использует тепло этого пара для выработки почти половины всего производимого в мире инсулина с использованием бактерий и дрожжей. Весь парк функционирует как единый живой организм — и он продемонстрировал рост экономики без увеличения или даже с уменьшением выбросов в атмосферу.

## Решения на основе данных

Можно ли воспроизвести модель Калуннборгского симбиоза в более крупном масштабе в городах всего мира? Можно, но лишь при условии, что эти города будут «умными». Индустриальный парк гиббок, поскольку число арендаторов и лиц, принимающих решения, в нем невелико, тогда как в городе много индивидуальностей и организаций, которые ежедневно самостоятельно принимают решения в областях энерго- и водоснабжения и обращения с отходами. Их объединение требует культурных сдвигов в сторону кооперации, подталкиваемой развитием «умных» технологий. «Умные» города будут полагаться на повсеместный сбор данных и дешевую их обработку в сочетании с машинным обучением и искусственным интеллектом. Это сочетание позволит выявлять неэффективные звенья и оптимизировать операции,

## Исследования показывают, что создание велодорожек намного увеличило число пользователей велосипедов, а поскольку велосипеды занимают гораздо меньше места, чем автомобили, они могут уменьшить загруженность дорог

уменьшая количество отходов и затраты и при этом автоматически управляя работой всего оборудования.

К счастью, создание «умных» городов — привлекательная цель проектировщиков, которые хотят приспособиться к растущей плотности населения без ухудшения качества его жизни. Например, в Индии, где проблемы населения и его здоровья очень остры, премьер-министр Нарендра Моди (Narendra Modi) объявил о намерении превратить 100 муниципалитетов небольшого и среднего размеров в «умные» города в качестве возможного решения.

Само название «умные» звучит как обвинение большинства городов в неразумности. Но это обвинение представляется уместным, поскольку похоже, что муниципалитеты, перегруженные отходами, работают вслепую. Национальный научный фонд США только что запустил крупную исследовательскую программу «Умные» и взаимосвязанные сообщества» (*Smart & Connected Communities*), чтобы помочь городам лучше использовать данные. Кстати, это название напоминает, что одного «ума» недостаточно, необходима еще и взаимосвязь систем и людей.

Работа «умных» городов в очень большой степени зависит от больших объемов данных, собираемых широкой сетью датчиков, и передовых алгоритмов

для быстрой оценки ситуаций, извлечения выводов и принятия решений на основе этих данных. Взаимосвязанные сети передают результаты анализа данных всему оборудованию, работающему в городе. Начать следует с «разумных» измерительных приборов, которые должны круглосуточно строго отслеживать расходы электроэнергии, природного газа и воды, а также работу бытового и промышленного электронного оборудования. Нужны также аппаратура для отслеживания движения транспорта в реальное время, мониторы загрязнения воздуха и детекторы утечек. В Остине консорциум *Pekan Street* собирает данные от сотен домов для оценки того, как доступ к этим потокам информации может помочь потребителям изменить свое поведение таким образом, чтобы уменьшить потребление и сэкономить расходы. Некоторые города, например Финикс, и военные базы,

например Форт-Карсон в штате Колорадо, уже пообещали стать самодостаточными пользователями электроэнергии и воды и не производить отходов. Для достижения этих грандиозных целей потребуются огромные количества взаимосвязанных данных.

Улучшение систем городского транспорта может стать для горожан первым намеком на преимущества «умного» города, сократив затраты времени на поездки. Для уменьшения воздействия транспорта на природу необходимы использование более чистых видов топлива, повышение эффективности транспортных средств, увеличение их заполнения, сокращение дальности и продолжительности поездок и уменьшение их числа. Если люди будут жить ближе к местам работы, они смогут добираться на работу пешком, на велосипедах или общественным транспортом. Исследования показывают, что создание выделенных велодорожек намного увеличило число пользователей велосипедов, а поскольку велосипеды занимают гораздо меньше места, чем автомобили, они могут уменьшить загруженность дорог и количество заторов.

Экономить место в городе и затраты времени на парковку могут также автомобили без водителей. Использование постоянно находящихся в работе автономных автомобилей совместного пользования вместо частных, паркуемых у дома или места работы, способно намного уменьшить потребность в парковочных местах, освободив большое пространство и тем самым уменьшив загруженность дорог. Специалисты из Центра транспортных исследований Техасского университета в Остине с помощью сложных моделей установили,



что внедрение автомобилей совместного использования на порядок уменьшит потребное городу число машин и снизит выбросы в атмосферу, несмотря на то что общий пробег автомобилей несколько возрастет, поскольку они будут находиться в движении постоянно. А их пассажиры, не будучи заняты управлением, смогут отдыхать, читать электронную почту, звонить по телефону или заниматься другими делами. Все это даст экономический эффект и позволит людям проводить на рабочих местах меньше времени и раньше поспевать домой к ужину.

Создание более «умных» инфраструктур несомненно дает ключ к решению и такой фундаментальной проблемы, как утечка из водопроводных труб. Размещение водомеров по всей водопроводной сети позволит быстро выявлять наличие утечек и определять их места. Исследователи из Бирмингема в Англии разработали систему миниатюрных датчиков давления, которые, расходуя очень мало энергии, выполняют частые проверки для выявления утечек, так что ремонтникам не нужно ждать, пока кто-то сообщит, что на дороге возник фонтан. А со временем мы, глядишь, сможем посылать для ремонта труб «умных» роботов.

Высокоэффективные датчики позволяют также обнаруживать и прогнозировать утечки газа раньше, чем они заявят о себе несчастным случаем. Ведь эти утечки — не только бесполезные потери, к тому же вредящие окружающей среде, они еще и опасны, о чем свидетельствуют попадающие на первые страницы газет сообщения о взрывах в городах со стареющей инфраструктурой.

Предсказать, где могут возникнуть «умные» города, заботящиеся об уменьшении отходов, трудно. В качестве вероятного кандидата я представляю себе город-миллионник на Среднем Западе, нуждающийся в обновлении, поскольку его экономика была истощена еще десятки лет назад. На ум приходит Индианаполис, в частности потому, что он нуждается в перестройке систем водоснабжения и канализации, созданных 100 лет назад на основе неудачных решений. Город инвестирует в свою деловую часть и находится на подъеме. Питтсбург стремится из города, узнаваемого по дымовым трубам, стать городом, славящимся своей интеллектуальной элитой, используя для этого имеющиеся у него активы — энергичный

центр, составляющий гордость города, новаторское руководство мэра Уильяма Педутто (William Peduto), значимость Университета Карнеги — Меллона и других центров инновации. И вот компания Uber открыла в нем службу автономных автомобилей. Еще один город, приглядывающийся к передовым экспериментам по превращению в «умный», — столица штата Огайо Колумбус с крупным университетом. Министерство транспорта США недавно предоставило ему грант на \$40 млн для обновления его подхода к мобильности.

### Пути к достижению цели

Превращение расточительных городов в такие, где количество отходов уменьшается, а то, что остается, перерабатывается для повторного использования, будет нелегким делом. Федеральные инвестиции в НИОКР должны сочетаться с правильной политикой на всех уровнях власти. К сожалению, финансирование НИОКР недавно было сокращено, а при администрации Трампа оно может и еще уменьшиться.

Кроме того, инвестиции в НИОКР должны быть социально продуманными. Исследования показывают, что в «умных» городах эти инвестиции направляются больше на технологии, чем на нужды горожан. При неправильной политике преимущества «умного» города могут идти на пользу больше тем, кто и так имеет доступ к интернету и передовым технологиям, что станет лишь увеличивать технологический разрыв вдобавок к другим социоэкономическим разрывам.

Наконец, муниципалитеты должны помогать горожанам становиться более продвинутыми, поскольку каждый человек принимает решения по ресурсам всякий раз, когда что-либо

покупает или даже просто щелкает выключателем. Доступ к образованию и данным будет широчайшим. А подключение горожан потребует сотрудничества и взаимодействия: парки, игровые площадки, общественные территории, школы, религиозные и общественные организации были важными элементами преуспевающих городов, структура которых сложилась лет сто назад. И чем более «умными» будут становиться города, тем больше мы будем нуждаться в этих элементах старого мира, чтобы держаться вместе. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

## Высокоэффективные датчики позволяют также обнаруживать утечки газа раньше, чем они заявят о себе несчастным случаем. Ведь эти утечки — не только вредят окружающей среде, они еще и опасны



# ПАРКИ ВМЕСТО ПАРКОВОК

Движущая паутина оснащенных датчиками транспортных средств и «умные» перекрестки изменяют дорожную обстановку в городе

**Ассаф Бидерман  
и Карло Ратти**

Между машинами и городами давно сложились непростые взаимоотношения. Страдая от бесчисленных пробок и загрязнения воздуха, сегодня мы все чаще задумываемся об их несовместимости. Однако на протяжении XX в. автомобиль сыграл весьма значимую роль в градостроительстве. Французский архитектор швейцарского происхождения Ле Корбюзье в своей известной книге «Город завтрашнего дня и его планирование» сказал: «Автомобиль перевернул все наши представления о планировании городов».

Прошло почти 100 лет, и мы вновь оказались на распутье. Во-первых, как ожидается, к 2050 г. потребность в городском общественном транспорте возрастет более чем в два раза, а это означает, что необходимо по крайней мере удвоить пропускную способность дорог, сохраняя при этом их загруженность (порой недопустимую) на современном уровне. Во-вторых, благодаря быстрому взаимопроникновению информационных и коммуникационных технологий, робототехники и искусственного интеллекта наши средства передвижения — автомобили, автобусы и другие виды транспорта — кардинально меняются. В очередной раз они могут радикально трансформировать городской ландшафт.

Основную роль в этих изменениях играют беспилотные (или автономные) транспортные средства. В последние десятилетия автомобили перестали быть механизированными конструкциями, превратившись в настоящие компьютеры на колесах. Обычный современный автомобиль оснащен множеством датчиков, которые собирают бортовые данные и информацию о происходящем вокруг, что позволяет сделать передвижение безопасным и экономичным. Такие компании, как Waymo (детище Google), Cruise (приобретенная General Motors), Otto (приобретенная компанией Uber), Zoox и nuTonomy, проводят исследования с использованием дополнительных датчиков, которые способны «видеть» улицу почти так же, как видим ее мы.

## ОБ АВТОРАХ

**Ассаф Бидерман** (Assaf Biderman) — изобретатель, заместитель руководителя лаборатории *Senseable City Lab* и основатель компании *Superpedestrian*, занимающейся разработкой роботизированных транспортных средств для перевозки одного и двух человек.

**Карло Ратти** (Carlo Ratti) — руководитель лаборатории *Senseable City Lab* Массачусетского технологического института и основатель дизайн-студии *Carlo Ratti Associati*.



Передавая все эти данные в бортовую систему искусственного интеллекта, вы получаете полностью автономный автомобиль, способный ориентироваться в оживленной транспортной сети без участия человека.

Автономные машины избавят нас от необходимости ежедневно проводить много времени за рулем и сделают езду безопаснее. Они коренным образом изменят жизнь городов, но последствия этих изменений могут быть разными. С одной стороны, одним таким транспортным средством смогут пользоваться несколько людей и в течение дня эти машины будут перевозить одного пассажира за другим. В этом случае парк находящихся в эксплуатации автомобилей в городах существенно уменьшится по сравнению с нынешним. С другой стороны, возможен менее оптимистический сценарий. Робин Чейз (Robin Chase), одна из основательниц и бывший генеральный директор каршеринговой (от англ. *car* — «автомобиль» + *share* — «делиться») компании *Zipcar*, писала, что «зомби-автомобили — те, в которых нет пассажира, — заполняют дороги, что повлечет за собой безработицу среди профессиональных водителей, потерю доходов в сфере инфраструктуры транспорта и создаст кошмарную ситуацию вследствие загрязнения окружающей среды, постоянных пробок и социальной нестабильности».

Технологическая нирвана или городская антиутопия? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно разобраться, как автономные транспортные средства могут изменить ландшафт наших городов и как мы будем в них перемещаться.

### Долевая экономика

Автомобили простаивают в среднем 96% времени, поэтому они идеально подходят для долевой экономики (совместного использования). А это ведет к значительному снижению заторов на дорогах. Деятельность таких каршеринговых компаний, как *Zipcar* и *car2go*, уже существенно повлияла на общее количество транспортных средств в городах. По оценкам специалистов, каждое совместно используемое транспортное средство убирает с улиц от девяти до 13 частных автомобилей.

Эффект будет расти в геометрической прогрессии с введением в эксплуатацию беспилотных автомобилей, которые в настоящее время находятся на стадии разработки; от стирания различий между частным и общественным видами транспорта выиграет значительная часть рынка. Ваш личный автомобиль может доставить вас утром на работу, а затем, вместо того чтобы простаивать на парковке, отвезет куда нужно кого-либо из членов вашей семьи — или кого-то из ваших соседей и знакомых.

В результате автомобиль вместо одного часа будет использоваться 24 часа в сутки. В недавно опубликованной статье наших коллег и Массачусетского технологического института говорится, что при подобных условиях спрос на транспорт в таком городе, как Сингапур (одном из первых в мире, где стали общедоступны беспилотные автомобили), составит всего 30% от нынешнего. Кроме того, каршеринг приведет к росту популярности райдшеринга (от англ. *ride* — «поездка» + *share* — «делиться») — совместного использования частного автомобиля с помощью онлайн-сервисов поиска попутчиков. Уже существующие ныне мобильные приложения, такие как *Via*, *uberPOOL* и *Lyft Line*, позволяют нескольким попутчикам совершать совместные поездки, сообщая оплачивая транспортные расходы и индивидуальные тарифы. Система автономного управления автомобилем сделает райдшеринг еще более удобным, поскольку все поездки можно будет организовывать в онлайн-режиме. Согласно исследованиям *Senseable City Lab* Массачусетского технологического института, у райдшеринга в крупных городах широкие перспективы.

Особенно распространена эта практика в Нью-Йорке. В рамках проекта *HubCab* нашей лаборатории собраны данные о 170 млн поездок 13,5 тыс. лицензированных такси Нью-Йорка — а именно, GPS-координаты всех пунктов посадки и высадки пассажиров и соответствующие промежутки времени между ними. Затем мы разработали математическую модель, позволяющую оценить потенциальный эффект от использования в этих поездках

райдшеринга. Введенное нами понятие «сети совместного использования» (*shareability networks*) позволяет оптимизировать преимущество совместных поездок. Количественные результаты наших исследований показали, что доленое использование такси может уменьшить суммарное количество автомобилей на 40% при минимальном увеличении времени ожидания пассажирами. Дальнейшие исследования продемонстрировали, что преимущества для таких городов, как Сан-Франциско, Вена и Сингапур, будут примерно одинаковыми.

Если комбинировать каршеринг и райдшеринг в городе, то для перевозки его жителей потребовалось бы лишь 20% от числа используемых в настоящее время автомобилей. Несомненно, пока это лишь теоретические расчеты. В реальности все будет зависеть от того, насколько людям понравится совершать совместные поездки и придется по душе технология автоматического управления транспортными средствами. Но уменьшение количества автомобилей неминуемо повлечет за собой снижение финансовых и энергетических затрат на возведение и обслуживание транспортной инфраструктуры. Чем меньше в городе машин, тем меньше времени в пути, пробок и вредных выбросов в окружающую среду.

### Ни парковок, ни светофоров

Для эксплуатации беспилотных автомобилей не потребуется дополнительная городская инфраструктура, как то проектирование и строительство специальных дорог, но их появление приведет к другим значительным изменениям. Возьмем, например, парковку. В США суммарная площадь парковок составляет 20 тыс. км<sup>2</sup>, что сопоставимо с размерами штата Нью-Джерси. Если увеличить число транспортных средств, используемых несколькими водителями, резко снизится необходимое количество парковочных мест. К чему это приведет?

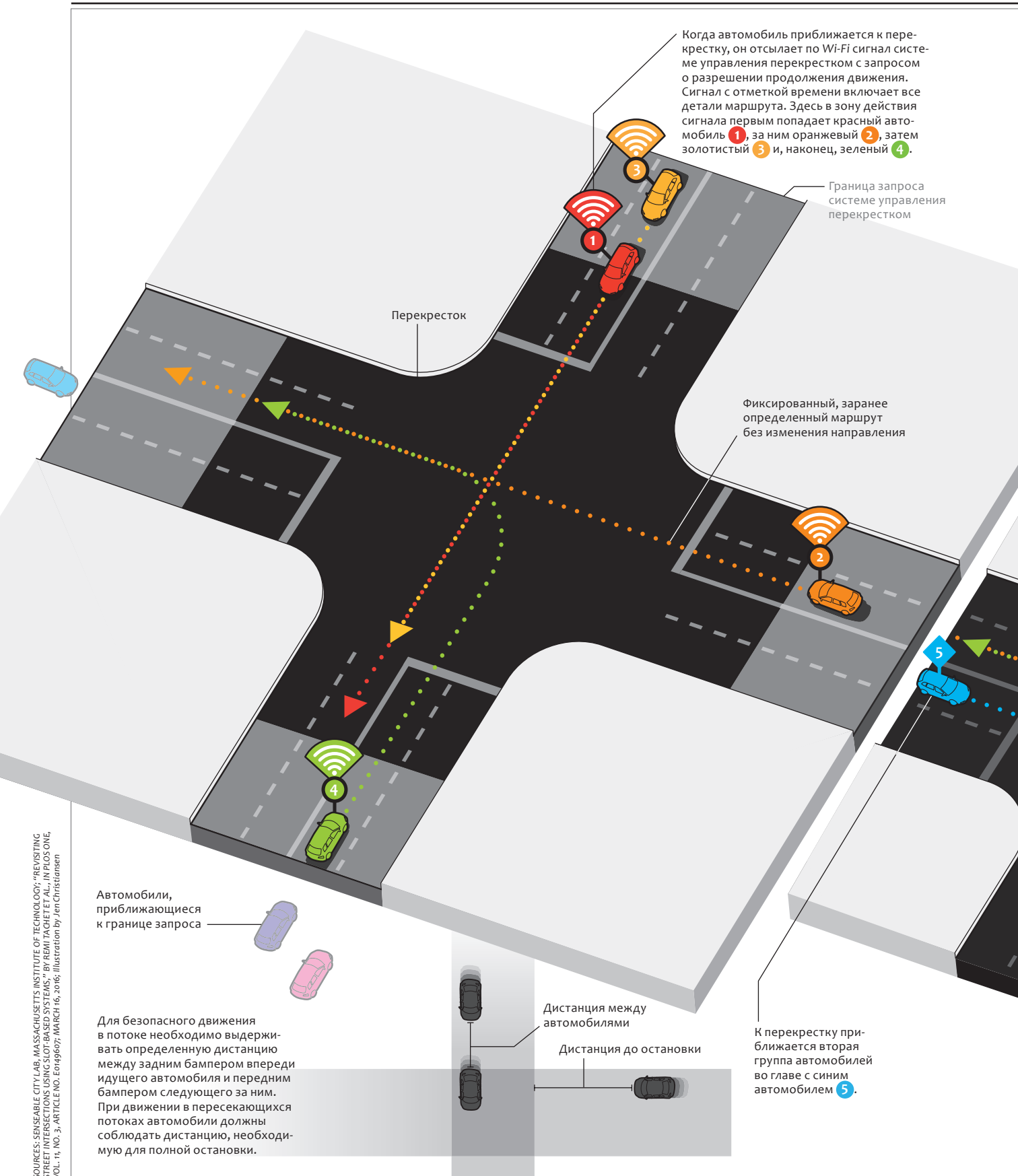
Со временем освободятся огромные территории занятой сегодня под парковку дорогостоящей городской земли, которые можно будет использовать для других социально значимых нужд. Ежегодная акция *Park(ing) Day*, впервые состоявшаяся в Сан-Франциско, предлагает некоторые предпроектные идеи. Каждый год энтузиасты приглашают артистов, дизайнеров и обычных граждан, чтобы превратить размеченные парковки во временные места отдыха, иллюстрируя тем самым, что в слове «парковка» главное — «парк»! Они раскатывают на месте парковок рулоны дерна, расставляют деревья в кадках, скамейки и другие атрибуты рекреационных зон. Цель акции — напомнить властям и горожанам, что город — это место, где живут в первую очередь люди, а не машины.

В гораздо большем масштабе и на постоянной основе освободившиеся парковки можно превратить в общественные места отдыха граждан — спортивные игровые площадки, кафе, тропы для оздоровительной ходьбы и велосипедные дорожки.

На дорогах наших городов могут исчезнуть и другие привычные атрибуты, например светофоры, изобретенные 150 лет назад и изначально предназначенные для предотвращения столкновений конных экипажей. Оснащенными специальными датчиками беспилотным автомобилям, которые позволяют обмениваться информацией с другими машинами, сохраняя безопасную дистанцию между собой, в меньшей степени требуется регулирование движения на перекрестках. На смену светофорам может прийти инновационная технология так называемых ячеечных интервалов (*slot-based intersections*), которая работает по тому же принципу, что и система организации воздушного трафика в аэропортах, где авиадиспетчер постоянно отслеживает местонахождение самолетов и в зависимости от очередности распределяет их по своеобразным временным ячейкам (слотам) для взлета и посадки. Приближаясь к перекрестку, автомобиль будет автоматически запрашивать у системы управления дорожным движением разрешение на проезд и получать индивидуальную временную ячейку для пересечения перекрестка.

Как продемонстрировал наш проект *Light Traffic*, оснащенный слот-системой перекрестки позволяют значительно уменьшить пробки и задержки в движении транспорта. По нашим данным, системы, выделяющие слоты для проезда в режиме реального времени, позволяют увеличить пропускную способность перекрестков вдвое. Эту тактику можно применять в любом городе. Время в пути и ожидание в пробках сократятся, расходы топлива снизятся, движение без остановок приведет к меньшему загрязнению воздуха. И еще: слот-система достаточно гибка, чтобы учитывать интересы пешеходов и велосипедистов при совместном пользовании дорогами.

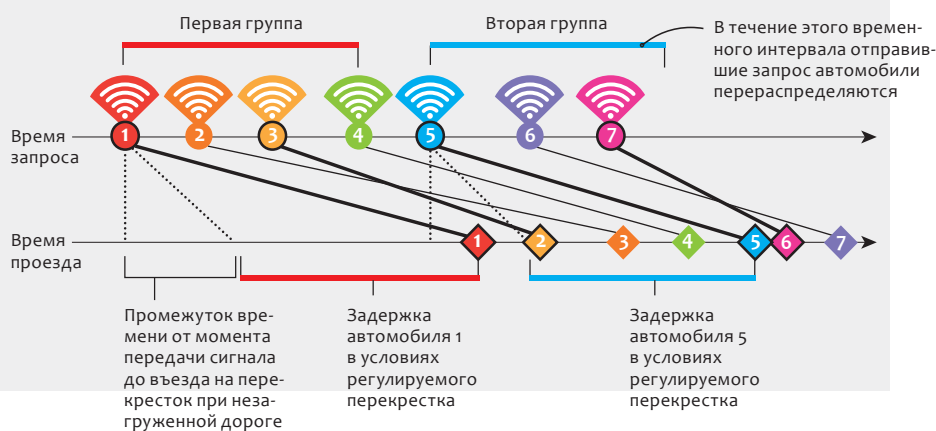
Стоит отметить, что реализация такой привлекательной идеи зависит не только от появления беспилотных автомобилей и «умных» систем управления дорожным движением. Необходимо также существенно улучшить согласованность действий всех участников процесса. Сегодня каршеринговые компании работают на независимых платформах, которые никак не связаны друг с другом. Клиенты не имеют возможности сравнить разные варианты, а водители — удовлетворить агрегированный спрос. Ситуация аналогична той, которая сложилась в сфере авиаперевозок до появления интернета. Сегодня пассажиры могут без труда сравнить тарифы на рейсы разных авиакомпаний с помощью глобальных дистрибутивных сервисов,



## Управление транспортными потоками

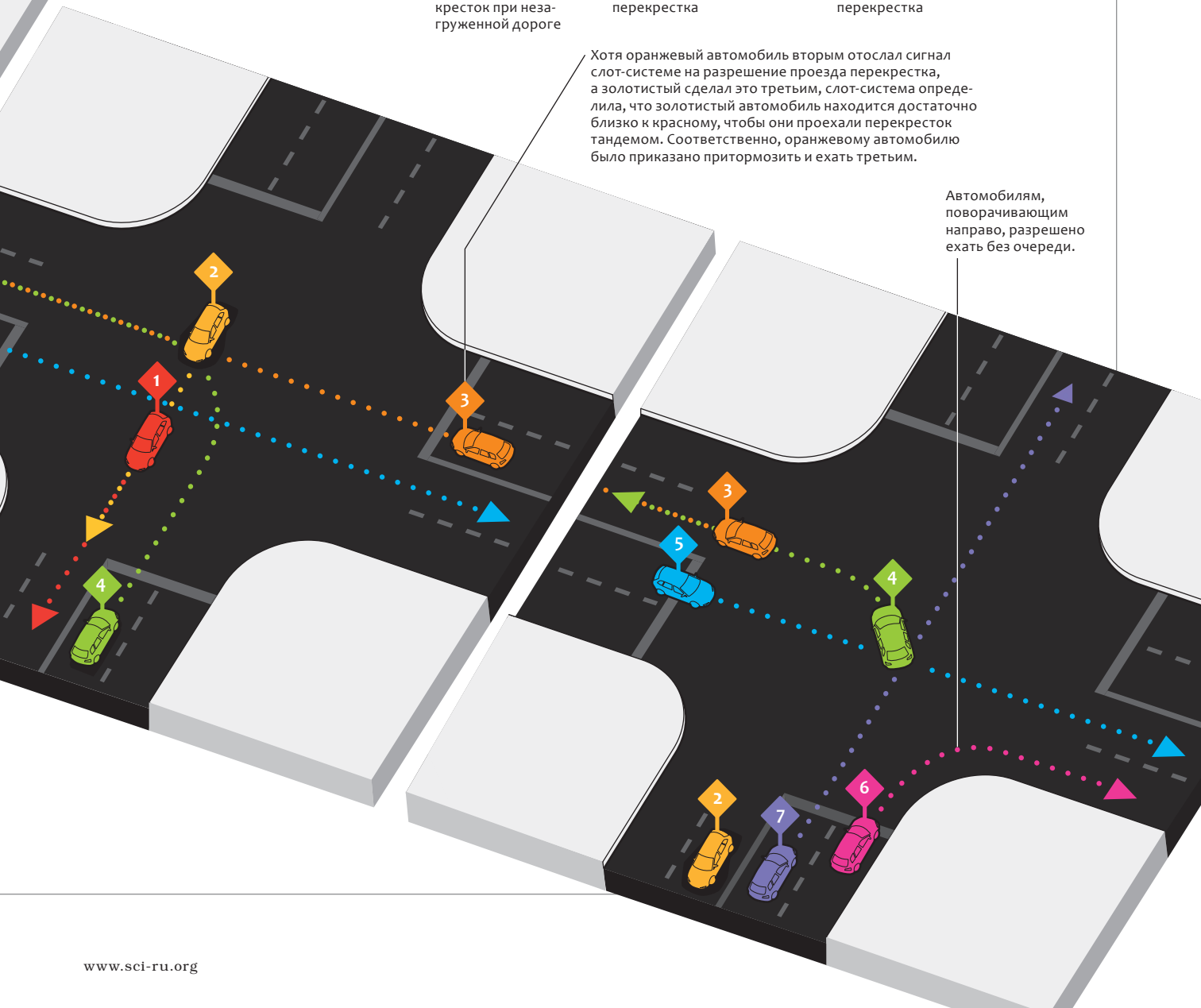
С появлением беспилотных автомобилей светофоры уступят место слот-системам. Тогда каждому приближающемуся к перекрестку автомобилю будет выделяться временной интервал — слот — для его пересечения. По результатам исследований, пропускная способность перекрестков, оборудованных слот-системой, по сравнению с перекрестками со светофорами увеличится в два раза.

Слот-система работает наиболее эффективно, когда автомобили распределены по группам, что позволяет очередность их прохождения в данном интервале времени (слоте). Эта схема предотвращает образование затора на более загруженной дороге за счет автомобилей, движущихся в другом направлении.



Хотя оранжевый автомобиль вторым отослал сигнал слот-системе на разрешение проезда перекрестка, а золотистый сделал это третьим, слот-система определила, что золотистый автомобиль находится достаточно близко к красному, чтобы они проехали перекресток тандемом. Соответственно, оранжевому автомобилю было приказано притормозить и ехать третьим.

Автомобилем, поворачивающим направо, разрешено ехать без очереди.



которые подчиняются стандартам, установленным *OpenTravel Alliance*, и благодаря прозрачности и конкуренции выбрать самый выгодный вариант.

В городах для создания подобной структуры перевозок можно использовать два подхода. Первый работает по схеме «снизу вверх», в которой к общим стандартам начинают приходить мелкие игроки. Этот процесс стартовал в таких компаниях, как *Lyft* и *Didi Chuxing* в Китае, *Ola* в Индии и *GrabTaxi* в Юго-Восточной Азии. Второй подход — инициатива сверху вниз под эгидой правительства или всемирных организаций, таких как *World Wide Web Consortium*. Поскольку транспортные услуги во многих странах уже сегодня жестко регламентированы, это не выглядит слишком неправдоподобно. Каждый из подобных подходов позволяет создать надежную и понятную прозрачную основу для компаний, оказывающих транспортные и логистические услуги.

### Подводные камни

Автономность транспортных средств и райдшеринг способствуют позитивным изменениям в структуре общественного транспорта. Но если переход к беспилотному транспорту в городах будет осуществляться непрофессионально, могут возникнуть неприятные последствия.

Первое, что нужно учитывать, — безопасность. Хорошо известно, что происходит, когда вирус заражает компьютер. А если такой вирус проникнет в компьютер автомобиля? Хакерам удается справиться с обычными государственными и промышленными средствами защиты, но особенно опасна хакерская атака для таких систем, как автономные машины, которые сочетают в себе как электронные, так и физические составляющие.

Дополнительные проблемы могут возникнуть из-за того, что можно назвать несправедливым конкурентным преимуществом беспилотных автомобилей. Стоимость километра поездки может снизиться настолько, что люди откажутся от общественного транспорта в пользу автономного — что, в свою очередь, приведет к увеличению количества транспортных средств в городе, а значит, и к огромнейшим пробкам на дорогах. Кроме того, круглосуточная эксплуатация автомобилей повлечет повышение уровня загрязнения воздуха.

Есть и еще одного неожиданное последствие: разрастание городов. Технические инновации в области транспорта не впервые приводят к такому результату. В 1941 г. в своей книге «На перепутье» Ле Корбюзье описал, как это происходило в первые десятилетия XX в.: «Железная дорога превратила города в настоящие магниты; они бесконтрольно разрастались, привлекая все новых и новых жителей, а сельская местность постепенно оскудевала. Это была настоящая катастрофа. К счастью, автомобиль и хорошие дороги

восстановят нарушенную гармонию и дадут начало возрождению села». Что если в будущем люди решат переселиться за пределы города, занимая земельные угодья и образуя беспорядочные поселения?

Стоит упомянуть и о некоторых других опасностях. Штрафы, оплата парковок и связанные с эксплуатацией автомобиля налоги, например транспортный, составляют значительную часть бюджета всех видов местных и федеральных органов власти. Широкое распространение автономных транспортных средств может пресечь этот важнейший денежный поток. Легко представить, что в этом случае произойдет с уже изрядно изношенной инфраструктурой. Возможно, города смогут компенсировать это за счет реконструкции невостребованных парковок и создания новой, приносящей доход инфраструктуры. Но мы также не должны забывать, что миллионы водителей, занятых сегодня в сфере логистики или городского общественного транспорта по всему миру, останутся без работы.

Как писала Робин Чейз, «просто устранив водителей из автомобиля и оставив всю остальную нашу систему как есть, мы получим катастрофу». Поэтому очень важно рассматривать новые технологии с критической точки зрения — и направлять их на решение насущных социальных проблем. Продуманная политика могла бы помочь предотвратить описанные здесь негативные последствия. Как это имело место в XX в., многое будет зависеть от разумного использования метода проб и ошибок.

Но если нам все же удастся продуманно осуществить задуманное, самоуправляемые автомобили помогут сделать нашу жизнь в городах более безопасной и комфортной. И, в конце концов, они смогут реализовать само предназначение городов, которые берут начало от первых поселений, возникших 10 тыс. лет назад: объединить нас вне зависимости от того, на каких транспортных средствах мы перемещаемся. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Фишетти М. Эффективный город // ВМН, № 11, 2011.
- Trash-to-Treasure: Turning Nonrecycled Waste into Low-Carbon Fuel. Alex C. Breckel, John R. Fyffe and Michael E. Webber in *EARTH*, Vol. 57, No. 8, pages 42–47; August 2012. *The Upcycle: Beyond Sustainability — Designing for Abundance*. William McDonough and Michael Braungart. North Point Press, 2013.
- Больше информации о нидерландском Парке 20|20: [www.park2020.com/en](http://www.park2020.com/en)
- Лаборатория Массачусетского технологического института Senseable City Lab: <http://senseable.mit.edu>





ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

# Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>







— Почему вы, наследник великой семьи палеонтологов, занялись охраной природы?

— Когда я изучал ископаемые останки, мне приходилось иметь дело с видами, исчезнувшими в результате изменений климата или хищнического истребления. Теперь я стою на величественной земле Кении среди большого количества их выживших наследников, сегодня уже других видов. И это производит огромное впечатление. Среди них я чувствую себя как дома, лучше понимаю себя. Я ощущаю свое место в более широком множестве жизни. Так что палеонтология неотделима от моего восприятия живой природы.

## Многие люди начинают понимать, что стране нужны дикие территории, где можно глубоко и свободно дышать и любоваться красотами. Кенийцы видят в них бесценное национальное наследие, и в долгосрочной перспективе это гораздо важнее туризма

— Будучи руководителем KWS с 1989 по 1994 г., вы решительно боролись с коррупцией в этой службе и снабдили своих лесников оружием для борьбы с браконьерами, добывающими слоновую кость, которые наносили тогда большой урон Кении.

— Нам тогда пришлось заняться и рынком. Я предложил сжигать конфискованную слоновую кость. Это вызвало широкое обсуждение убийства слонов ради их клыков, что побудило организацию CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species*, Соглашение о международной торговле изделиями из видов, находящихся под угрозой вымирания) наложить запрет на международную торговлю изделиями из слоновой кости. Этот запрет оказал большое воздействие. Число убиваемых в Кении за год слонов уменьшилось с нескольких тысяч примерно до сотни в 1990 г. И оставалось на этом низком уровне почти десять лет.

— Что вызвало возврат браконьерства к сегодняшнему губительному уровню в большей части Африки?

— Когда нелегальное истребление уменьшилось, на складах еще оставалось большое количество слоновой кости, и некоторые страны, в частности ЮАР, Ботсвана, Намибия и Зимбабве, надеялись заработать на ее продаже. Они побудили CITES разрешить поставку ее на рынок. Мы в Кении

чувствовали, что, если торговля слоновой костью возобновится, людям будет очень трудно отличать законные лицензии на экспорт от фальшивых. В итоге браконьеры стали снова добывать слоновую кость и вывозить ее по подложным документам. Цены резко выросли, а это вызвало заинтересованность у больших преступных картелей. Ситуация стала плачевной.

— Чтобы исправить положение, вас снова пригласили возглавить KWS. Почему вы согласились на это?

— Президент обещал предоставить организации широкую свободу в принятии решений, осуществлению которых продажные чиновники не смогли бы мешать. Когда я занял предложенный пост, моральный климат в KWS был отвратительным. Но сегодня появились порядочные люди, которые чувствуют, что им не будут мешать. За последние 11 месяцев в Кении были убиты 94 слона, тогда как за тот же период предыдущего года — несколько сотен. Мы пересмотрели кенийский закон об охране дикой природы, чтобы упростить управление службами охраны природы; наняли еще тысячу лесников и ужесточили наказание за браконьерство. Сегодня мы составляем и обучаем корпус специальных обвинителей по делам об охране живой природы, приобретаем автомобили для своего персонала, ремонтируем дороги, предоставляем работникам приличное жилье в саваннах, медицинское обслуживание и новое оборудование для борьбы с браконьерством.

— Для защиты дикой природы вам нужно также делать закупки у местных общин. Как вы связываетесь с ними?

— В последние десятилетия журнал *National Geographic*, корпорация BBC и другие крупные СМИ сняли ряд документальных фильмов о дикой природе Африки для демонстрации в других странах. Однако в Кении ни один из этих фильмов так и не был показан. Созданная мною благотворительная организация *WildlifeDirect* убедила несколько кинотеатров бесплатно предоставить нам эти документальные фильмы, и с января 2016 г. мы транслируем их каждую субботу в 20:00. При каждом показе они лидируют в кенийских СМИ. Кроме того, *WildlifeDirect* ведет по вторникам вечернюю передачу *NTV Wild Talk*. Это первые фильмы о дикой природе Африки, снятые самими африканцами. Скоро в Кении появятся люди, которые будут любить этих животных не меньше, чем жители Лондона, Парижа или Нью-Йорка.

— Обычный довод в защиту охотничьих угодий в Африке состоит в том, что они приносят туристские доллары. KWS согласна с этим?



**Гибель в огне:** 30 апреля 2016 г. лесник Национального парка Найроби смотрит, как сгорают на кострах конфискованные слоновьи бивни

— Кенийцы приходят к пониманию необходимости пересмотра всего подхода к дикой природе. Да, на сегодня туризм — важный элемент нашего экономического будущего. Однако он ненадежен и способен помогать лишь в среднесрочной перспективе, поскольку с развитием страны промышленность станет сокращать отставание. С другой стороны, многие люди начинают понимать, что стране нужны дикие территории, где можно глубоко и свободно дышать и любоваться красотами. Кенийцы видят в них бесценное национальное наследие, и в долгосрочной перспективе это гораздо важнее туризма.

**— А как обстоят дела у жителей сельских поселений, находящихся в опасной близости к диким животным?**

— Численность населения Кении выросла втрое, и люди все больше поселяются в местах, где водятся дикие животные. И многие из них были убиты слонами, буйволами, крокодилами. Животные вытаптывают посевы, и между людьми и животными явно ощущается враждебность. Я твердо убежден, что национальные парки необходимо огородить, чтобы их обитатели не могли приходить на поля, а домашний скот не мог забредать на территорию национальных парков.

**— Весьма радикальное предложение.**

— Согласен. Но, видимо, только оно и способно помочь. Технологии ограждения сегодня очень эффективны, но дороги. Мы думаем о льготных займах с низкими ставками у таких международных организаций, как Всемирный банк, с рассрочкой выплаты на 30 лет. Эти ограждения помогут бороться с браконьерством, поскольку скот, бродящий вокруг национальных парков, браконьеры часто используют в качестве прикрытия, притворяясь пастухами. Возведение оград займет от трех до пяти лет, но, когда мы закончим его, люди скажут: «Отлично сделано». Пока же они говорят: «Вы сумасшедшие».

**— Большинство сельских жителей Кении не видят большой отдачи от туризма в дикую природу. В Намибии и Ботсване заповедники, принадлежащие общинам, получают поддержку от местных властей. Не считаете ли вы нужным обеспечить защиту населения от дикой природы?**

— Разумеется, поддерживать население необходимо. Но при этом не следует основываться на буме туризма, когда жители окрестностей национальных парков получают бонусы, а их дети ходят в школы. Ведь если бум туризма, к несчастью,

спадет, этим детям придется покинуть школы. Мне представляется, что доходы от туризма должны идти центральному правительству и использоваться для строительства современных больниц, дорог и инфраструктуры для всей страны. Это не должно быть временной поддержкой для тех, кому посчастливилось жить вблизи национальных парков.

**— Насколько целесообразно использовать правительственные деньги для защиты дикой природы, когда многие кенийцы живут в нищете?**

— Когда я служил секретарем в кабинете министров Кении, каждый пункт бюджета проходил в рамках правительственного механизма через мой стол. И многие мои коллеги по прежней работе в области охраны дикой природы обращались ко мне с просьбой: «Не могли бы вы прибавить хоть чуточку в наш бюджет? Это было бы такой большой помощью». И мне приходилось отвечать им: «Не имею морального права. Когда столько детей не имеют возможности учиться в школе, не получают прививок, страдают от нехватки воды и даже лишены дома, я не могу позволить себе отнять у них лишнюю копейку, чтобы дать ее вам для охраны дикой природы». Для меня эти два года были очень трудными.

**— Но теперь вы опять на другой стороне.**

— Да, но я хорошо понимаю, как важно помогать людям. Без борьбы с бедностью не может быть безопасности для кого бы то ни было в нашем обществе: ни корпоративной, ни государственной, ни безопасности для неосвоенных земель и диких животных. Национальные парки содержатся для блага всего населения. Доходы от них должны использоваться для помощи всем кенийцам в получении лучшего образования, для строительства лучших дорог и совершенствования инфраструктуры, в общем, для того, чтобы кенийцы жили дольше и здоровее.

**— Момбаса, второй по величине город Кении, остается, вероятно, важнейшим портом Восточной Африки для вывоза нелегальной слоновой кости в Азию. Что предпринимает правительство Кении для того, чтобы взять здесь ситуацию под контроль?**

— Сегодня основная часть слоновой кости, проходящей через Момбасу, — не кенийского происхождения, она из Танзании и Центральноафриканской Республики (ЦАР). Первой целью я поставил себе прекращение убийства слонов в Кении, и мы добились этой цели. Борьба с контрабандой в задачи KWS не входит. Однако работа эта ведется. Портовые власти Момбасы недавно очистили весь свой штат сверху донизу. Они создали совершенно новые таможенное и доковое подразделения, а также подразделение для обработки контейнеров. Сегодня все это выглядит хорошо.

**— Планируемая автострада пересечет плато Серенгети в соседней Танзании. Некоторые защитники природы утверждают, что это погубит крупнейший в мире процесс миграции диких животных. Однако вы поддерживаете это строительство.**

— Серенгети — фантастическая экосистема, и сохранять ее необходимо любой ценой. Однако решать проблемы следует реалистично. Серенгети окружают растущие сообщества. Предполагается, что города, которые должна обслуживать эта автострада, вырастут в мегаполис с населением более 3 млн человек. В следующем десятилетии Танзания построит еще один порт. Она, как и мы в Кении, заинтересована в торговле с ЦАР. Поэтому и нужна дорога. И я поддерживаю создание транспортного коридора через Серенгети. Но 40 км этой дороги будут подняты над землей на 30 м, что даст животным возможность мигрировать в обоих направлениях.

**— Что вас тревожит больше всего?**

— Изменение климата. Это просто ужасно. Я все-речь опасуюсь, что рост населения и стихийная застройка приведут к созданию «островов» для диких животных. А если вы посмотрите на палеонтологические записи, где описаны подобные острова, вы увидите, что их обитатели вымерли в результате изменений климата, потому что им некуда было уйти. И если случится засуха и колодцы в парке высохнут, уходить будет тоже некуда. И я пока не знаю, что делать с нехваткой воды и уменьшением количества дождевых вод в будущем.

**— В фильме, который планируется снять о вас, вашу роль будет играть Брэд Питт. Как вы относитесь к этому?**

— Я всегда мечтал о фильме, в котором было бы показано положение слонов и носорогов. Если в Брэде Питте увидят бойца за спасение этих животных, ему поверят сотни миллионов людей, в том числе и в Китае.

**— Значит, голос Брэда Питта, изображающего Ричарда Лики, будет звучать громче голоса самого Ричарда Лики?**

— В тысячи раз. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Вассер С., Кларк Б., Лори К. Спасти слона! // ВМН, № 9, 2009.
- Wildlife Wars: My Fight to Save Africa's Natural Treasures. Richard Leakey and Virginia Morell. St. Martin's Press, 2001.
- Wildlife Protection and Trafficking Assessment in Kenya: Drivers and Trends of Transnational Wildlife Crime in Kenya and Its Role as a Transit Point for Trafficked Species in East Africa. Sam Weru. TRAFFIC Report, May 2016.

# Формула романа

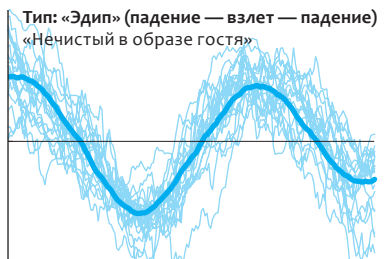
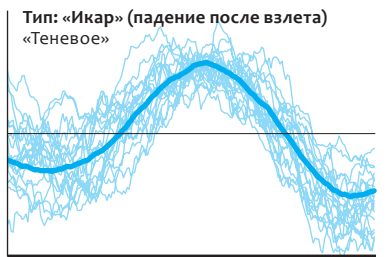
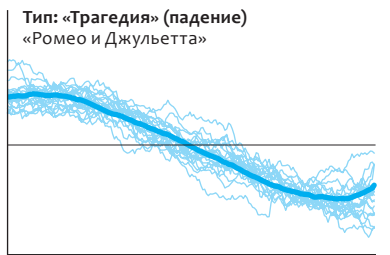
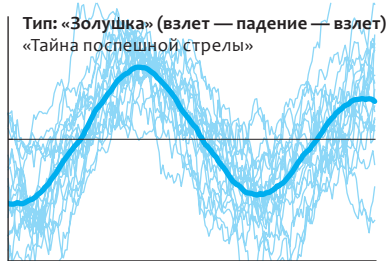
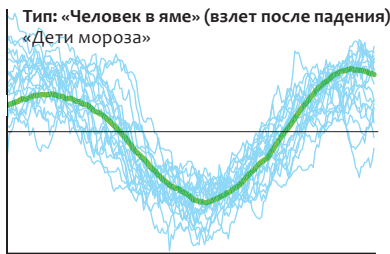
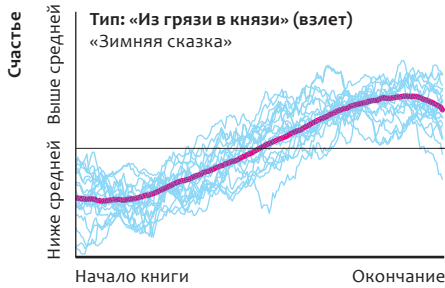
Большая литература на удивление «математична»

Марк Фишетти

Хорошая книга всегда пробуждает целую гамму чувств и эмоций. Ученые выяснили, что почти любое художественное произведение можно описать с помощью одного из шести графиков («эмоциональных дуг»), отображающих переживания читателя. Каждому графику дали название, например: «Из грязи в князи» (возрастающая функция), «Икар» (функция возрастает, а затем убывает) и т.д. Исследователи из Вермонтского университета решили разобраться, можно ли выявить эмоциональные траектории, вдоль которых выстраиваются сюжеты книги, и обнаружили относительно небольшое число таких кривых. Специалистам удалось построить графики, схематично отображающие эмоциональную окраску слов (позитивную или негативную), которые попадались на страницах более 1,3 тыс. художественных произведений. В еще одном исследовании, проведенном под эгидой Института ядерной физики в Польше, ученые выяснили, что большая часть текстов имеет фрактальную структуру (напомним, что фрактальными называются объекты, обладающие самоподобием независимо от своих размеров).

Зачем нужно искать математические закономерности в произведениях художественной литературы? Специалист в области прикладной математики из Вермонтского университета Эндрю Рейган (Andrew J. Reagan) ответил на этот вопрос так: а вдруг, получив новую информацию о литературных текстах, ученые откроют нечто неожиданное? Ведь так уже было с проектом «Геном человека» — именно благодаря огромному количеству данных, собранных в рамках этого проекта, ученые узнали много нового о генах.

Перевод: И.В. Ногаев

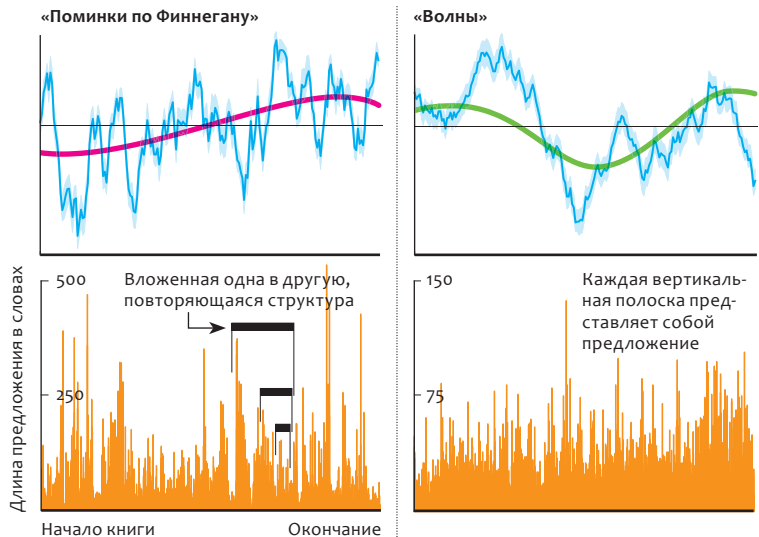


## Эмоциональные дуги

Около 85% из 1327 электронных книг из коллекции проекта «Гутенберг» можно описать одним из шести видов «эмоциональных дуг» — гладких кривых, у которых имеются максимумы и минимумы (изображены темным цветом). Эти кривые схематично отображают эмоциональную окраску слов в анализируемом тексте — позитивную или негативную (нервные кривые).

## Пример построения эмоциональных дуг

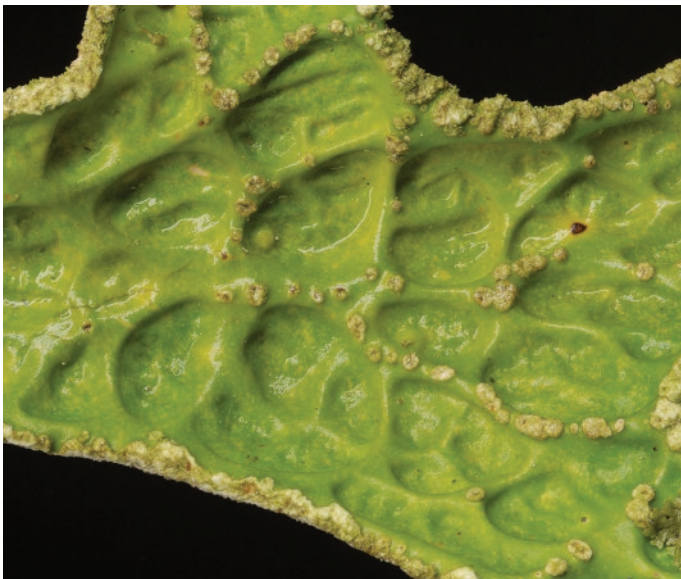
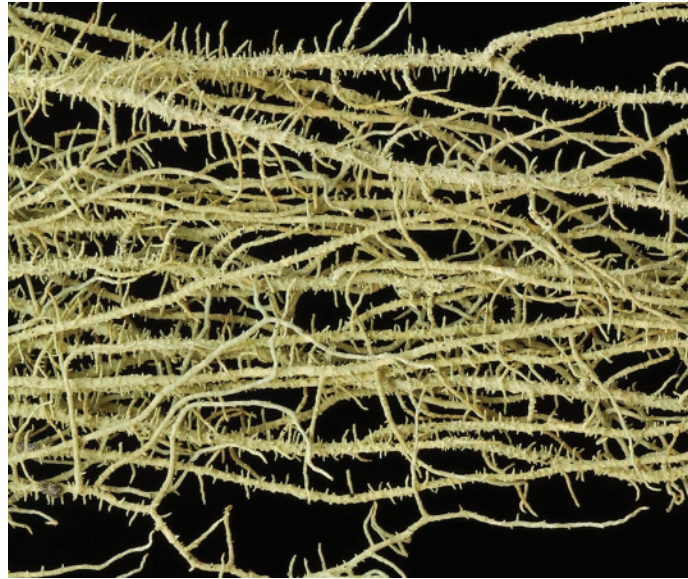
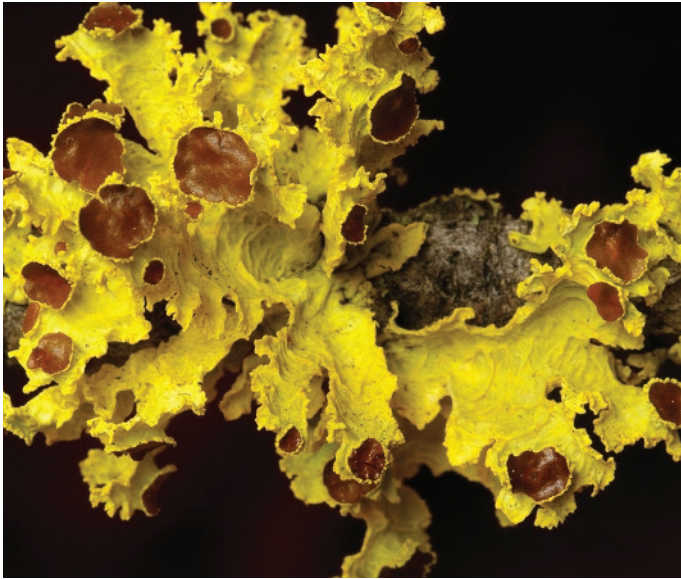
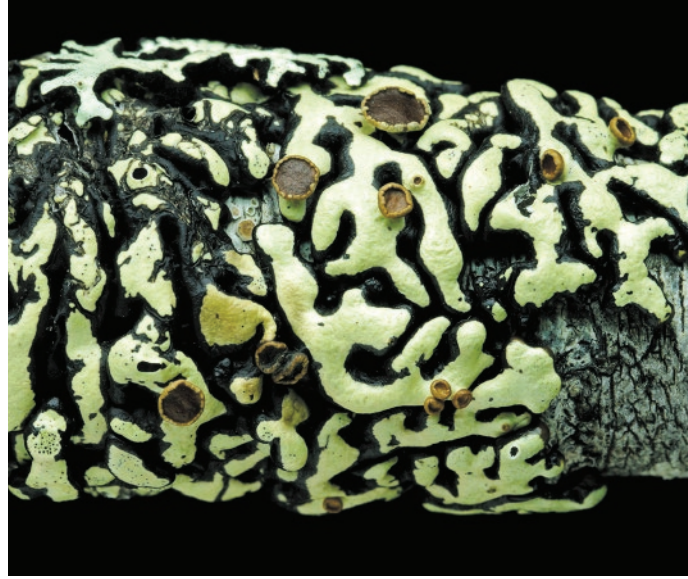
По просьбе нашего журнала ученые из Вермонтского университета исследовали две книги на основе анализа фрактальной структуры предложений и обнаружили, что этим книгам соответствуют два разных типа эмоциональных дуг. Возникает вопрос: если несколько разным произведениям соответствует одинаковый вид эмоциональной дуги, будут ли они обладать похожей фрактальной структурой? Ответа пока нет.



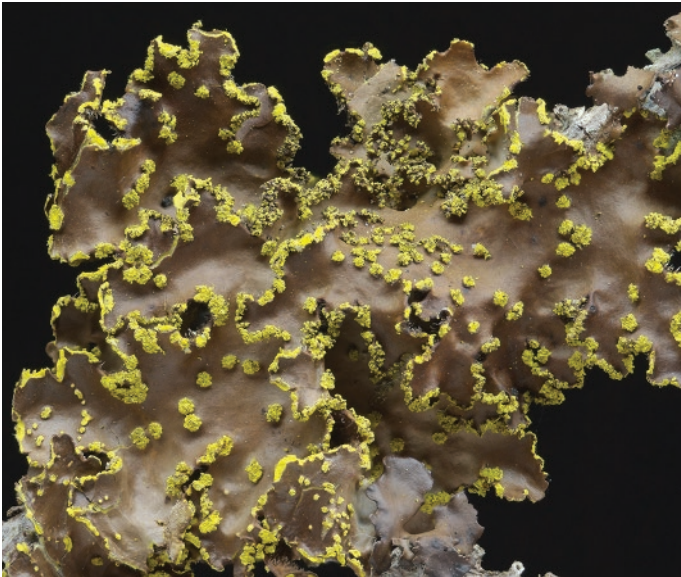
## Фрактальная структура предложения

Порядок следования предложений и их длина, которые наблюдались в 113 известных литературных произведениях, написанных на разных языках, почти всегда имеют фрактальный характер. Для книг в стиле «потока сознания», как, например, «Поминки по Финнегану» Джеймса Джойса, характерны ярко выраженные повторы, для более традиционных книг, таких как «Волны» Вирджинии Вулф, — более умеренные.

SOURCES: "THE EMOTIONAL ARCS OF STORIES ARE DOMINATED BY SIX BASIC SHAPES," BY ANDREW J. REAGAN ET AL., IN EPJ DATA SCIENCE, VOL. 5, NO. 1, ARTICLE NO. 31; DECEMBER 2016 (arXiv); "QUANTIFYING ORIGIN AND CHARACTER OF LONG-RANGE CORRELATIONS IN NARRATIVE TEXTS," BY STANISLAW DROZDZ ET AL., IN INFORMATION SCIENCES, VOL. 331, FEBRUARY 20, 2016 (fractal); Graphics by Andrew J. Reagan (emotional arcs) and Jen Christensen (fractal charts)





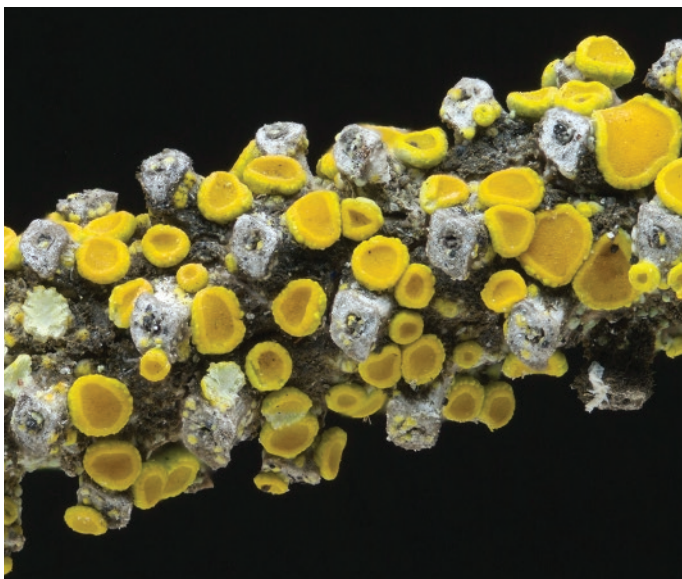
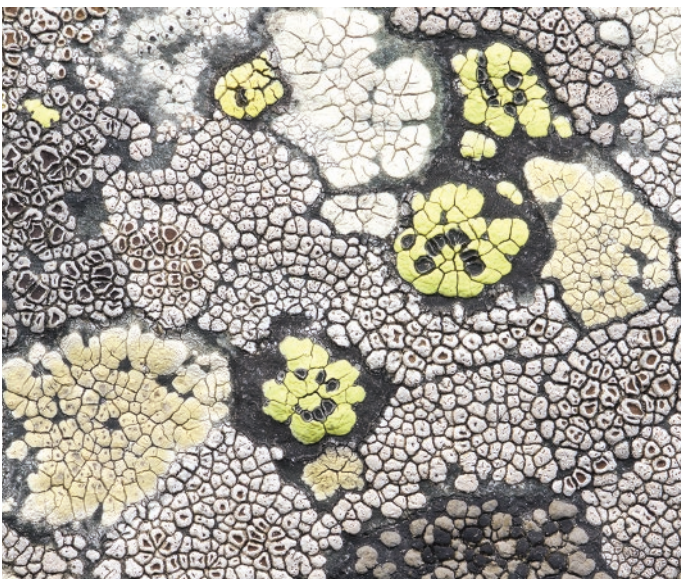


БИОЛОГИЯ

# Кто такие лишайники?

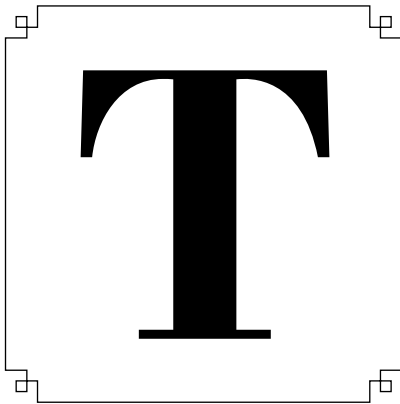
В лесной глуши Британской Колумбии натуралист-самоучка обнаружил новый тип симбиотических отношений у лишайников — и значительно пополнил тем самым наши знания об этих организмах

*Эрика Гиз*



## ОБ АВТОРЕ

**Эрика Гиз** (Erica Gies) — научный репортер, живущая в Виктории и Сан-Франциско. Ее статьи, посвященные общим проблемам науки и окружающей среде, регулярно публикуются в *New York Times*, *Guardian*, *Economist*, *Ensiä*, *National Geographic* и других изданиях.



Тревор Говард (Trevor Goward) пропускает меня вперед, и мы идем по смешанному лесу в удобном для меня темпе. В противном случае мне бы ни за что не угнаться за этим поджарым человеком почти двухметрового роста, привыкшего стремительно шагать по едва различимым оленьим и медвежьим тропам на своей земле, примыкающей к природному Провинциальному парку Уэлс-Грей в Британской Колумбии. Тревор почти все время молчит, но внимательно прислушивается к моим замечаниям об окружающем нас ландшафте. Что мне интересно? Что я вижу вокруг? Я останавливаюсь перед небольшим голубовато-зеленым наростом на стволе осины — кустиком лишайника цетрарии сизой. «Взгляните-ка лучше через эту штуковину!», — говорит Тревор, протягивая мне лупу. И я вдруг оказываюсь в каком-то фантастическом мире, где перед моим взором предстают причудливые ажурные веточки, испещренные по краям темными пятнышками.

В этот прохладный осенний день Говард напялил на себя три фланелевые рубашки. Его седые волосы растрепаны, с шеи свисает на шнурке увеличительное стекло, а у его длинных ног трусит австралийская овчарка по кличке Перпл. Сейчас хозяин леса больше похож на горца, чем на ученого-натуралиста в духе Чарлза Дарвина или Генри Дэвида Торо. Научная любовь Говарда — лишайники, эти причудливые наросты на стволах деревьев, камнях или земле, напоминающие маленькие кустики, низкорослый мох или разноцветные корочки. И он неотделим от этого места, где прошла большая часть его жизни, которая началась в одном из городов к югу от парка Уэлс-Грей. А сейчас, в свои 64 года, Тревор живет в своих владениях почти

безвыездно. «Это место стало для меня центром духовного притяжения», — говорит он. И не трудно понять, почему. Большая часть парка лишена дорог, и люди бывают здесь редко. Его площадь превышает 5 тыс. км<sup>2</sup>, а ландшафт был сформирован вулканами и ледниками. Речные долины, горные ущелья, альпийские луга и влажные зоны вокруг водопадов обеспечивают богатое биоразнообразие. «Я пришел к выводу, что лишайники в этом месте совершенно особенные, — сияя, заявляет Говард. — Их здесь сотни видов — и не сосчитать!».

Говард заинтересовался лишенологией (наукой о лишайниках), когда занимался биологическим самообразованием. «Я решил каждый год посвящать изучению какой-нибудь крупной группы

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

■ Тревор Говард — натуралист-самоучка, не имеющий никаких научных степеней. Но внимательные наблюдения за жизнью природы позволили ему пролить новый свет на строение лишайников и тем самым существенно изменить привычные представления об этих организмах.

■ Идеи Говарда, вызывающие восхищение одних ученых и насмешки других, еще раз доказывают, что современная биология (и наука в целом) сильно оторвана от мира природы и что независимые энтузиасты-любители могут делать не менее блестящие научные открытия, чем академические ученые.



**Тревора Говарда** изучает лишайник цетрарию на стволе осины. Глубокие наблюдения за миром природы позволили натуралисту, подобно его знаменитым предшественникам Чарльзу Дарвину и Генри Дэвиду Торо, существенно изменить привычные научные представления.

живых организмов. В первый год это были птицы, во второй — растения, в третий — грибы, затем насекомые». Добравшись, наконец, до лишайников, натуралист-самоучка был сражен наповал. А через некоторое время он превратился в авторитетнейшего эксперта по лишайникам в центральной части Британской Колумбии, к которому шли консультироваться и метеорологи, и золотоискатели, и биологи, изучавшие жизнь северных оленей (карибу). Его именем были названы несколько видов лишайников. Он опубликовал три справочника по этим организмам и получил звание ассоциированного члена ботанического факультета Университета Британской Колумбии.

И, тем не менее, в научном мире Тревор Говард слышит белой вороной. Его самобытные рассуждения о лишайниках, изложенные в 12 провокационных очерках на сайте *Ways of Enlichenment*, вызывали и насмешки, и восторженные отзывы, но большинство ученых попросту игнорируют их, потому что у Говарда нет научных степеней, а многие из его догадок не подкреплены строгими научными доказательствами. Зато люди, открытые для восприятия новых идей, заявляют, что рассуждения Говарда расширяют их представления

и о лишайниках, и о биологии, и о жизни в целом. Давний друг Говарда и соавтор некоторых его работ, лихенолог из Университета Альберты Тоби Спрайбилл (Toby Spribille), утверждает, что его очерки изобилуют настоящими самородками: «Если честно, я считаю их просто гениальными!».

В лесу Говард лучился тихой радостью. Когда мы останавливались, он опирался на свою крепкую трость и пускался в пространные рассуждения о том, как тесно связаны между собой все элементы лесной экосистемы. По внешнему виду лишайников он судил о химическом составе почвы, содержании в ней питательных веществ, характере погоды и уровне осадков. Натуралист показывал мне лишайник, растущий на стволе тсуги, и объяснял, что в этом необычного: обычно кора хвойных деревьев обладает слишком высокой кислотностью для произрастания данного вида. В чем же дело? В 2000 г. Говард совместно с Андре Арсено (André Arsenault) опубликовали статью, в которой разъяснили, что причина кроется в растущей поблизости взрослой осине с вечно дрожащей листвой. Вода, капающая с ее веток и листьев на кору тсуги, уменьшает ее кислотность и делает пригодной для жизни лишайника.

Современное научное сообщество склонно игнорировать аутсайдеров. Но редукционистская наука — не единственный способ познания мира. Предшественниками современных ученых были натуралисты. Когда-то люди были гораздо ближе к природе и, внимательно наблюдая за всеми ее явлениями, обладали глубоким пониманием природных взаимосвязей. Сегодня биологи сфокусированы главным образом на изучении молекул; из-за нежелания и неспособности ученых оторваться от лабораторных приборов и присмотреться к взаимодействиям друг с другом элементов природного мира иногда остаются без внимания понастоящему важные открытия. Из-за клинической сосредоточенности на деталях ученые могут упустить из виду общую картину их взаимосвязей — несмотря на ставшее уже общепризнанным представление о том, что биологические комплексы и системы нередко представляют собой более жизнеспособные формы жизни, чем составляющие их компоненты. По сути дела, именно идеи Говарда вдохновили Спрайбилла на проведение лабораторного исследования, когда после защиты докторской диссертации он работал в Университете Монтаны. Оно завершилось крупным успехом: статья, опубликованная в 2016 г. в июльском выпуске журнала *Science*, буквально потрясла закослелый мир лихенологии. Открытие, сделанное ученым, поставило под сомнение симбиотическую природу лишайников и пролило новый свет на механизмы симбиотических отношений, процессы естественного отбора и даже сложившиеся представления о формах жизни.

**Л**ишайники — удивительные организмы. Они появились на Земле более 500 млн лет назад и сегодня встречаются на всех континентах — даже в некоторых наиболее неблагоприятных для жизни уголках планеты. Примерно полтора года они жили даже в открытом космосе, подвергаясь воздействию космического излучения и безвоздушной среды. Известно около 14 тыс. видов лишайников, сильно различающихся формой тела и населяющих самые разные места обитания. Среди них — и плоские округлые «нашлепки» на камнях, и растущие среди мхов кустики с выемчатыми стебельками, и корочки на древесной коре, и свисающие с веток «бороды» из тонких нитей, и напоминающие грибы крошечные «бокальчики» на высоких ножках.

На протяжении долгих столетий люди считали лишайники растениями (а затем грибами).

Но в 1860-х гг. швейцарский ботаник Симон Швенденер (Simon Schwendener) обнаружил, что лишайники — совершенно особые организмы, образованные грибами и водорослями, состоящими друг с другом в партнерских (симбиотических) отношениях. Гриб образует тело (слоевище) лишайника, внутри которого живут микроскопические зеленые водоросли, обеспечивающие своего «хозяина» питательными веществами, вырабатываемыми в процессе фотосинтеза. (Позднее выяснилось, что в некоторых лишайниках гриб обеспечивает пищей цианобактерии или цианобактерии вместе с зелеными водорослями.) Вначале науч-



**Лабораторное изучение** бриории Фремонта показало, что этот лишайник образован не только грибом и зеленой водорослью, как считалось долгое время, а еще и микроскопическим дрожжевым грибом

ное сообщество восприняло открытие Швенденера в штыки, но в конце концов представления о симбиозе — взаимовыгодном партнерстве между организмами разных видов — получили всеобщее признание, а примеры симбиотических отношений биологи стали встречать в природе буквально на каждом шагу. Один из таких примеров — мириады микробов, живущих внутри и на поверхности нашего тела.

В 2016 г. Спрайбилл и его коллеги сделали еще один шаг в понимании природы лишайников и симбиоза: они обнаружили, что многие лишайники образованы двумя видами грибов. Объектом изучения биологов стали два вида лишайников, на которых внимание Спрайбилла обратил Говард. Одним из этих видов была бриория Фремонта (*Bryoria fremontii*) — лишайник с нитевидными стеблями обычно красновато-бурого цвета, используемый в пищу коренными жителями Северо-Запада Америки, а другим — бриория извилистая (*Bryoria tortuosa*), нередко окрашенная

в желтовато-зеленые тона и обладающая ядовитыми свойствами благодаря высокому содержанию вульпиновой кислоты. Генетический анализ, проведенный в 2009 г. Саарой Вельмала (Saara Velmala) и ее сотрудниками из Университета Хельсинки, показал, что, несмотря на значительные различия, оба вида лишайников состоят из одних тех же видов гриба и водоросли. Спрайбилл вспоминает, как сильно поразил их с Говардом этот удивительный факт. «Говард никак не мог взять в толк, как могут быть одинаковыми два разных лишайника, один из которых к тому же ядовитый!» Эта загадка никак не давала покоя натуралисту.



**Ядовитая бриория извилистая** образована теми же самими грибом и водорослью, что и съедобная бриория Фремонта, но в ней значительно больше клеток дрожжевого гриба

Но потом он обнаружил, что лишайники различаются не только внешним видом и содержанием вульпиновой кислоты: слегка отличались они и экологическими характеристиками. В 2009 г. натуралист предположил, что формирование бриории Фремонта и бриории извилистой определяется не типом их грибного компонента (партнера), а характером взаимодействий между грибом и водорослью во время развития. Лишайники, образованные одними и теми же партнерами, могут приобретать различные характеристики, потому что их развитие шло разными путями. Говард предположил, что причина различий между двумя видами бриории может корениться в особенностях их взаимодействия с неким третьим партнером — бактерией.

В результате пятилетних лабораторных исследований Спрайбилл и его коллеги обнаружили, что оба вида бриории и в самом деле включают третьего партнера. Но им оказалась не бактерия, а дрожжевой гриб из группы бизидиомицетов. В ядовитой

бриории извилистой клеток этого гриба было гораздо больше, чем в съедобной бриории Фремонта. Ученые показали также, что лишайники не заражаются этим дрожжевым грибом в процессе развития, а сосуществуют и совместно эволюционируют с ним уже более 200 млн лет. Изучив многочисленные виды лишайников из разных частей света, исследователи обнаружили присутствие дрожжевого гриба у представителей 52 родов этих организмов.

Говард впервые заинтересовался бриорией Фремонта и бриорией извилистой, прочитав написанную в 1977 г. статью этнобиолога Нэнси Тернер (Nancy Turner) о роли бриории Фремонта в жизни коренных северных народов. Как отмечает автор статьи, пожилые женщины этих народов с легкостью отличают съедобные лишайники от несъедобных. Хотя два вида бриории обычно различаются окраской стебельков и формой тела, порой они выглядят совершенно одинаково. Для их распознавания пожилые женщины учитывают такие факторы, как место произрастания, цвет и видовую принадлежность лишайников, растущих по соседству. Когда друг Говарда этноботаник Стюарт Кроуфорд (Stuart Crawford) показывал пучки двух лишайников старейшине народа несконлит и защитнице природы, ныне покойной Мэри Томас (Mary Thomas), та всякий раз безошибочно идентифицировала съедобную «зелень».

Народная мудрость не всегда вяжется с научными объяснениями, говорит Кроуфорд, но факты, основанные на внимательных наблюдениях, всегда верны. Местные жители поведали Кроуфорду, что они каждый год ждут, когда на деревьях начнет «созревать» бриория Фремонта. Разумеется, лишайники не созревают на деревьях, подобно фруктам, но темная окраска и характерная форма, приобретаемые этими организмами по мере роста, помогают местным жителям распознавать съедобные и несъедобные виды. «Знаниями, накопленными коренными северными народами о бриории, можно было эффектно дополнить нашу статью в *Science*, — сетует Спрайбилл, — но, к сожалению, для них в ней не хватило места».

Через три месяца после выхода статьи Кроуфорд, познакомившийся со Спрайбиллом через Говарда, сообщил ему поразительные сведения. Долгие годы Кроуфорд собирал свидетельства разных культур мира — Древнего Египта, современной Мексики, средневековой России, библейского Среднего Востока и Европы 1950-х гг. — об использовании лишайников для выпечки хлеба и изготовления спиртных напитков. В некоторых

случаях лишайники явно применялись в качестве закваски для теста и вина. И Кроуфорд неожиданно понял, что люди знали о том, что лишайники содержат дрожжи или в всяком случае могут функционировать как дрожжи. Работая над магистерской диссертацией в Университете Виктории, Кроуфорд поделился своей догадкой с одним из местных пивоваров, на что тот сказал ему: «Раздобудьте рецепт, и я сварю вам бочку пива!»

**В**озможно, восприимчивость Спрайбилла к нетрадиционным идеям Говарда отражает сложную научную судьбу самого ученого. Он вырос в консервативной христианской семье на северо-западе Монтаны, где после окончания четвертого класса родители забрали его из школы, чтобы уберечь ребенка от «тлетворного влияния мира». Спрайбилл рассказывал мне об этом по скайпу из Австрии, когда там уже была глубокая ночь и его жена и маленькая дочь крепко спали. Говоря о том периоде жизни, ученый часто моргал своими голубыми глазами за прямоугольной оправой очков, словно воспоминания причиняли ему легкую боль.

Но обстоятельства не смогли обуздать природную любознательность Спрайбилла. Зачарованный жизнью растений и животных, с которыми он сталкивался в природе, ответы на мучившие его вопросы он пытался получить от биологов в местном отделении Лесной службы США. В конце концов, заручившись их рекомендациями, он устроился работать инспектором по учету численности сосудистых растений. Отныне он мог на законных основаниях допытывать своими вопросами специалистов-ботаников. Был среди них и Тревор Говард. «В первый раз Тревор продержал меня два с половиной часа», — тепло вспоминает Спрайбилл. Это было 20 лет назад. В последующие годы они совместно написали несколько научных статей, но «нам есть о чем поговорить и по сей день». В самом начале их дружбы Говард поведал Спрайбиллу о том, что у него есть некоторые идеи, способные перевернуть мир лишайнологии вверх тормашками. «Он сказал мне на это, что я брежу, — вспоминает Говард. — Но потом все-таки захотел выслушать мои бредни».

В конце концов Спрайбилл ощутил острую потребность получить официальное образование. Сдав экзамены за курс средней школы, он изыскал возможность поступить в один из колледжей Германии. Закончив его, он получил докторскую степень в области лишайнологии в Университете Граца, а в марте этого года начал работать в качестве доцента кафедры экологии и эволюции симбиоза в Университете Альберты. Работая после защиты докторской диссертации в Университете Монтаны, Спрайбилл познакомился с Джоном Маккатченем (John McCutcheon) — одним из соавторов статьи,

**Биологические системы, компоненты которых связаны партнерскими отношениями, отличаются большими устойчивостью и долговечностью, чем индивидуальные организмы**



*Лишайники растут на всех континентах и даже полтора года прожили на борту МКС, где сполна подвергались космическому излучению*

опубликованной в *Science*, и заведующим лаборатории, где и было проведено нашумевшее исследование.

По словам Спрайбилла, Говард оказал огромное влияние на образ его мышления. «Благодаря его очеркам я почувствовал себя вправе размышлять о лишайниках так, как мне того хотелось. Они сняли с меня оковы традиционных представлений и помогли мне и моим коллегам обнаружить удивительное устройство бриории». Но даже при этом, продолжает Спрайбилл, «я лишь с трудом смог полностью принять возможность, которую за 150 лет существования лишайнологии упускали из виду мои предшественники, — возможность участия в лишайниковом симбиозе более одного грибного партнера».

Отдавая должное полученному образованию, Спрайбилл утверждает, что академическое



В лесной обители Говарда постоянно гостиют биологи, поэты и астрофизики, рассуждающие об экзотических формах жизни и возможных последствиях оторванности современных людей от природы

преклонение перед догмами неизбежно ограничивает научное мышление. «Эта система предварительной обработки мозгов сильно осложняет нестандартное мышление, — замечает ученый. — Она попросту запикивает его в какой-то ящик».

С таким мнением вполне согласен и Джонатан Фоули (Jonathan Foley) — один из исполнительных директоров Калифорнийской академии наук в Сан-Франциско и ученый с докторской степенью, сделавший громкую академическую карьеру. Когда дело касается идей, «башня из слоновой кости превратилась сегодня в крепость», — иронизирует он. Стимулы и системы поощрения в современной академической культуре — публикации в признанных журналах, получение хороших грантов и престижных должностей — «плохо соответствуют желанию развивать высокую творческую активность. Мне кажется, мы потеряли некую важную часть души. Чрезмерная специализация, требующаяся современной биологии, заикленной на биотехнологических и молекулярных исследованиях, не оставляет времени на изучение, например, систематики или основ гносеологии. В Америке сегодня полно людей, получивших степени в области биологических наук в лучших наших университетах, которые даже не знают названий диких животных и растений и которые никогда в жизни не изучали более крупные биологические объекты, чем клетки». А это значит, что масса биологов, умеющих работать только в лабораториях, полностью зависят от таких людей, как Говард, чтобы подыскать интересные для лабораторных исследований виды организмов и даже сформулировать свежие гипотезы для проверки.

Тревожит Спрайбилла и тот факт, что его собственные студенты жутко боятся ошибаться, а такое психологическое состояние, по его мнению, несовместимо с научным поиском. В качестве контр-примера он приводит Говарда, предположившего, что лишайник бриория образован тремя симбиотическими партнерами, хотя в качестве третьего партнера он ошибочно назвал бактерию. Но всегда быть правым «не есть критерий блестящего ума», — говорит Спрайбилл. Скорее, его признак — это неутомимое любопытство и постоянная потребность задавать вопросы. Эти качества Спрайбилл и пытается привить своим ученикам. «Я твержу им: "Высказывайте все, что приходит вам в голову! Никто здесь не собирается ругать вас за то, что ваша мысль окажется неправильной, и заявлять, что мы даже не станем обсуждать ее!" Этим я и живу».

Одни из наиболее серьезных проблем, которые пытается решить современная наука, — глобальное изменение климата, сокращение биоразнообразия и безопасность пищи и воды для здоровья — требуют всестороннего и широкомасштабного изучения с самых разных точек зрения. И для этого ученые первым делом должны покинуть стены лабораторий, вернуться в природу и внимательно присмотреться к тому, как на самом деле работают природные системы. Именно так и поступил биолог Дэвид Джордж Хаскелл (David George Haskell) из Южного университета. Хаскелл провел целый год на 1 м<sup>2</sup> старого леса в штате Теннесси, просто наблюдая за его жизнью. Написанная в результате книга «Невидимый лес» (*The Forest Unseen*) была номинирована на Пулитцеровскую премию. «Этот опыт меня попросту уничтожил, — признается Хаскелл. — Он показал мне всю глубину моего невежества. Десятки лет я изучал и преподавал биологию, публиковал научные статьи и т.д., и т.п. А сидя в лесу, я понял, что почти ничего о нем не знаю!». Это самоуничижение породило у Хаскелла жгучую любознательность и десятки вопросов о взаимоотношениях растений и животных, их экологической истории и ее связи с климатом и геологией. Сейчас Хаскелл работает советником в нью-йоркском Институте открытого пространства и помогает его сотрудникам идентифицировать территории, устойчивые к климатическим изменениям с целью их дальнейшей охраны.

Если приобретать знания путем чтения научной литературы, «мы так или иначе окажемся оторванными от реальных явлений», — поясняет Хаскелл. И хотя инструменты и приборы сильно помогают ученым понять мир, «наше тело оснащено аналогами всех этих гаджетов испокон века, — продолжает он. — С помощью наших обычных органов чувств можно узнать об окружающем мире очень многое!»

Говард превратил подобную этику в стиль жизни. Его дом под названием Эджвуд-Блю стоит на 4 га земли, примыкающих к парку Уэлс-Грей, и оснащен водопроводом, раковинами и душем, но туалета в нем нет. Когда вечером я надеваю пальто и ботинки, чтобы сходить в находящийся во дворе туалет, друг Говарда этноботаник Кертис Бьорк (Curtis Björk) советует мне поднять голову и полюбоваться Млечным Путем, ярко сияющим на чистом от городского смога небосводе. Когда я спрашиваю, почему в доме нет туалета, Говард отвечает, что им с Бьорком нравится заставлять себя каждый раз выходить на улицу — даже в разгар зимы. Во время таких вылазок в туалет он как-то раз видел северное сияние и лосей. Когда я в шутку напоминаю ему о дожде, холоде, комарах и пуме, что недавно утащила у соседей поросенка, Говард остается непреклонным: «Так и есть. Жизнь не всегда комфортна».

Главная опасность для Говарда — не комары и пумы, а наша оторванность от природного мира, замкнутая жизнь в городах и полное безразличие к тому, как варварски люди разрушают природу. Согласен с этим и Хаскелл, считающий, что оторванность современных людей от природы чревата серьезными этическими последствиями: «Деревья, грибы, лягушки... Если верить Дарвину, все это наша кровная родня. Переставая понимать окружающий мир, мы утрачиваем адекватные представления о правильности наших действий в отношении природных экосистем».

**В**о внутреннем убранстве Эджвуда доминируют книги. Они расставлены на самодельных полках в большинстве комнат дома и, по сути дела, выполняют функции обоев. На кухне безраздельно властвует Бьорк. Когда обед готов, он посылает за нами Перпл, которая ест за столом вместе с нами, демонстрируя при этом прекрасные манеры.

Во время обеда ведутся пространственные дискуссии. «Мы стараемся превратить дом в место, где любой может совершенно свободно высказывать свои мысли». Частая тема разговоров — мощь, недостатки и просчеты современной науки, к которой, однако, все собеседники испытывают глубокое уважение. Говорим также о жизни и человеческих отношениях, иногда проводя забавные параллели с лишайниками. Уверенность Говарда в истинности своих идей граничит с высокомерием, но он всегда готов прислушаться к оппоненту. Его монологи изобилуют ссылками на труды других авторов.

Поскольку официальные научные журналы публикуют Говарда неохотно, он знакомит людей со своими идеями вживую. В доме непрерывной чередой гостят биологи, увлеченные натуралисты, поэты, географы, экологи, астрофизики и журналисты. Одни задерживаются здесь лишь на день,

другие — на неделю и дольше и в знак благодарности помогают хозяевам по дому. Спрайбилл и Кроуфорд бывают здесь регулярно. «Я переделал здесь кучу ландшафтных работ, — с гордостью заявляет Кроуфорд. — А в перерывах вел с хозяевами серьезные интеллектуальные беседы».

В день моего появления в Эджвуде Говард заикнулся на одной из своих любимых тем. Что на самом деле представляют собой лишайники? Можно ли считать их отдельными организмами? Или же это грибные теплицы? А может быть, водорослевые фермы? Или целые экосистемы?

Поскольку научные названия лишайников традиционно соответствуют названиям входящих в их состав грибов, невольно создается впечатление, что главный их компонент — гриб. Говард допускает, что когда-то, давным-давно, такое ограниченное понимание природы лишайников было вполне оправданным. Сегодня он относится к лишайникам как к своего рода головоломке. «Лишайник можно сравнить с дверным проемом, — говорит натуралист. — Если посмотреть на него с одной стороны, это организм, а если взглянуть с другой — это целая экосистема». В своих очерках Говард отстаивает необходимость рассматривать лишайники не как грибы или водоросли и даже не как самостоятельные организмы, биокомплексы или экосистемы. Скорее, они представляют собой особые биологические системы, заключенные в тонкую оболочку: лишайник как качественно новая сущность. В конце концов лишайники, отправленные в космос, выжили, а одни только водоросли, входившие в их состав, погибли.

Представление о лишайниках как о сложных биологических системах соответствует общей тенденции современной биологии рассматривать в качестве фундаментальной единицы жизни не генетически однородный индивидуальный организм, а сообщество организмов, связанных между собой партнерскими отношениями. Как отмечает Хаскелл, «будь то микробиом (совокупность микроорганизмов) внутри человеческого тела, деревья, тесно взаимодействующие корнями со своими грибными партнерами, или лишайники — во всех случаях мы видим, что биологические системы, компоненты которых связаны сетевыми взаимоотношениями, отличаются большими устойчивостью и долговечностью, чем индивидуальные организмы».

**Перевод: А.В. Щеглов**

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Cyanolichen Distribution in Young Unmanaged Forests: A Drip-zone Effect? Trevor Goward and André Arsenault in *Bryologist*, Vol. 103, No. 1, pages 28–37; Spring 2000.
- The Forest Unseen: A Year's Watch in Nature. David George Haskell. Viking, 2012.



<b>Senior Vice President and Editor in Chief:</b>	Mariette DiChristina	<b>Contributing editors:</b>	David Biello, W. Wayt Gibbs, Ferris Jabr, Anna Kuchment, Robin Lloyd, George Musser, Christie Nicholson, John Rennie
<b>Executive Editor:</b>	Fred Guterl	<b>Art Contributors:</b>	Edward Bell, Bryan Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins
<b>Design Director:</b>	Michael Mraz	<b>Art director:</b>	Jason Mischka
<b>Managing Editor:</b>	Ricki L. Rusting	<b>Senior Graphics Editor:</b>	Jen Christiansen
<b>Digital Content Manager:</b>	Curtis Brainard	<b>President:</b>	Dean Sanderson
<b>News Editor:</b>	Dean Visser	<b>Executive Vice President:</b>	Michael Florek
<b>Opinion Editor:</b>	Michael D. Lemonick	<b>Executive Vice President,</b>	
<b>Senior Editors:</b>	Eliene Augenbraun, Christine Gorman, Steve Mirsky, Clara Moskowitz, Debbie Ponchner, Claudia Wallis, Kate Wong,	<b>Global Advertising and Sponsorship:</b>	Jack Laschever
<b>Associate Editors:</b>	Sunya Bhutta, Lee Billings, Andrea Gawrylewsk, Larry Greenemeier, Dina Fine Maron, Annie Sneed, Amber Williams	<b>Publisher and Vice President:</b>	Jeremy A. Abbate
		© 2017 by Scientific American, Inc.	

## В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

### Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

#### в почтовых отделениях по каталогам:

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

#### по РФ и странам СНГ:

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

## Читайте в следующем номере

### Источники жизни

Зарождение жизни в океанских глубинах — гипотеза, ставшая почти аксиомой. Однако новые данные предлагают присмотреться к ландшафту с вулканической активностью.

### Реквием по ваките

Что вымирание калифорнийской морской свиньи может рассказать нам об исчезновении видов в XXI в.

### Наш кузен Нео

Обнаружен на редкость сохранный ископаемый скелет возраста как минимум таинственного *Homo naledi*.

### Тихо сам с собою...

Изучение внутренней речи людей, то есть наших разговоров с самими собой, приподнимает завесу над скрытыми механизмами работы мозга и сознания.

### Великое затмение 2017 года

Первое за 99 лет полное солнечное затмение, которое накроет США от побережья до побережья, — это не только грандиозное шоу, но и бесценный подарок ученым.

### Солнечные затмения грядущего тысячелетия

Если вы будете жить долго и путешествовать, то вас ожидает изобилие возможностей понаблюдать за тем, как исчезает солнце.

### Битва за урожай

Специалисты учатся манипулировать комплексным взаимодействием между растениями, микробами, вредителями, питательными веществами и другими элементами фитобиома в надежде предотвратить грядущий голод.





## СЕНТЯБРЬ 1967

**Наука о твердых телах.** «Если согнуть проволочную скрепку для бумаг, она останется согнутой, не разогнется и не сломается. Металл, из которого она сделана, называется пластичным (ковким). Когда пытаешься согнуть стеклянный стержень (если только не держать его при этом в пламени), он просто ломается.

Его называют хрупким. В этом отношении, как и во многих других, стекло ведет себя совершенно не так, как металл. В основе их различия должны лежать либо свойства атомов, из которых состоят металлы и стекло, либо род связи этих атомов между собой, а возможно, и то и другое. Студенты, изучающие эти вещества, хотят, естественно, знать причины различия их поведения. В последние 20 лет эта область исследований получила название физики твердого тела (а иногда, поскольку здесь очень большую роль играет химия, просто науки о твердых телах). Это очень важная отрасль науки, открывшая новые и неожиданные свойства материалов. Примером могут служить свойства полупроводников, знание которых породило множество технических устройств, в том числе транзисторов». — Невилл Мотт (Nevill Mott).



## СЕНТЯБРЬ 1917

**Идеи, которые не работают.**

На правительство постоянно обрушиваются буквально тысячи порожденных войной планов, предложений, изобретений, чертежей, моделей, устройств и идей, причем большинство из них касаются подводных лодок. Хорошим примером умных, но непрактичных идей служит предложение некоего способного человека защищать корпуса судов от атак подводных лодок струями



Современный пожарный экипаж Пожарного департамента Нью-Йорка с паровым насосом, 1867 г.

воды. Каждый, кто видел работу пожарного брандспойта, понимает, что мощный высокоскоростной поток воды способен наносить повреждения. Изобретатель предлагал использовать систему таких струй, бьющих от борта корабля, для того чтобы отклонять и отталкивать торпеды и тем защищать судно. Автор этой идеи не учел, что для реализации такой системы потребуется мощность в десятки тысяч лошадиных сил, достаточная для того, чтобы приводить в движение несколько судов.



## СЕНТЯБРЬ 1867

**Пожарные насосы.** Хотя для тушения пожаров в нашей стране все еще широко применяются ручные насосы, в крупных городах все чаще используют гораздо более эффективные паровые насосы с «мускулами» из железа и стали, которые не подвержены

усталости. У Пожарного департамента Нью-Йорка есть не меньше 34 пожарных экипажей с такими насосами, один из которых показан на рисунке.

**Император земледелия.** Император Наполеон III пригласил мистера Сайруса Маккормика (Cyrus Hall McCormick) представить частным образом его жатвенную машину. Вскоре после этого были проведены испытания этой жатки в хозяйстве императора вблизи Шалона, на которых присутствовали сам император, а также маршал Адольф Ньель (Adolphe Niel), генерал Эдмон Лебеф (Edmond Le Boeuf) и генеральный директор Имперского земледельческого хозяйства Эжен Тиссеран (Eugene Tisserand). Испытание имело полный успех и настолько удовлетворило императора, что он сразу же приказал закупить три такие машины для использования на полях его личных ферм и искренне рекомендовал внедрение этого изобретения на полях всей Франции, поскольку оно сберегает очень много ручного труда. Император сказал также, что намерен подать пример, применив эти машины на всех имперских фермах.

**О назначении пирамид.** Цель строительства Великой пирамиды тысячи лет оставалась тайной для всего мира, и в бесплодных попытках разгадки этой тайны многие из наиболее просвещенных мудрецов выдвигали различные гипотезы и рассуждения. Джон Тейлор (John Taylor), редактор газеты *London Observer*, предположил, что эта постройка была вдохновлена божьим промыслом для того, чтобы предоставить египтянам эталоны веса и других мер. Эта нереальная и надуманная теория недавно даже нашла защитника в лице одного нью-йоркского профессора. ■



МИНИСТЕРСТВО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ



ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ,  
ПРОМЫШЛЕННОЙ  
ПОЛИТИКИ И  
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА  
ГОРОДА МОСКВЫ



МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

ВСЕРОССИЙСКИЙ  
ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ

НАУКА  +

80 РЕГИОНОВ РФ

FESTIVALNAUKI.RU

МОСКВА

6.10 – 8.10

САЛЕХАРД

30.09 – 1.10

САМАРА

6.10 – 8.10

ВЛАДИВОСТОК

27.10 – 29.10

КРАСНОЯРСК

1.12 – 3.12

ВХОД СВОБОДНЫЙ

0+



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



ПРИ  
ПОДДЕРЖКЕ



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ПАРТНЕР



ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ  
ПАРТНЕРЫ



ЗАКИСЛЕНИЕ ОКЕАНА СВОДИТ МОРСКИХ СУЩЕСТВ С УМА?

# В мире науки

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Ежемесячный  
научно-информационный  
журнал

[www.sci-ru.org](http://www.sci-ru.org)

8/9 2017

12+

# КВАНТОВАЯ МУЛЬТИ- ВСЕЛЕННАЯ

Неожиданные связи, объединяющие  
космологию и квантовую механику, помогут  
разгадать секреты пространства и времени

ПЛЮС

## РАЗВИТИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Машины обучаются как дети

## ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ СИБИРИ

Передовые технологии  
от томских ученых

## НОВЫЙ ШАНС ПОБЕДИТЬ БОЛЕЗНЬ ШАРКО

Генная терапия может решить проблему

