

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Что убило
динозавров?

АСТРОФИЗИКА

На пороге
открытий

ЗДОРОВЬЕ

Оранжевый
туман

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

8/9 2016

12+



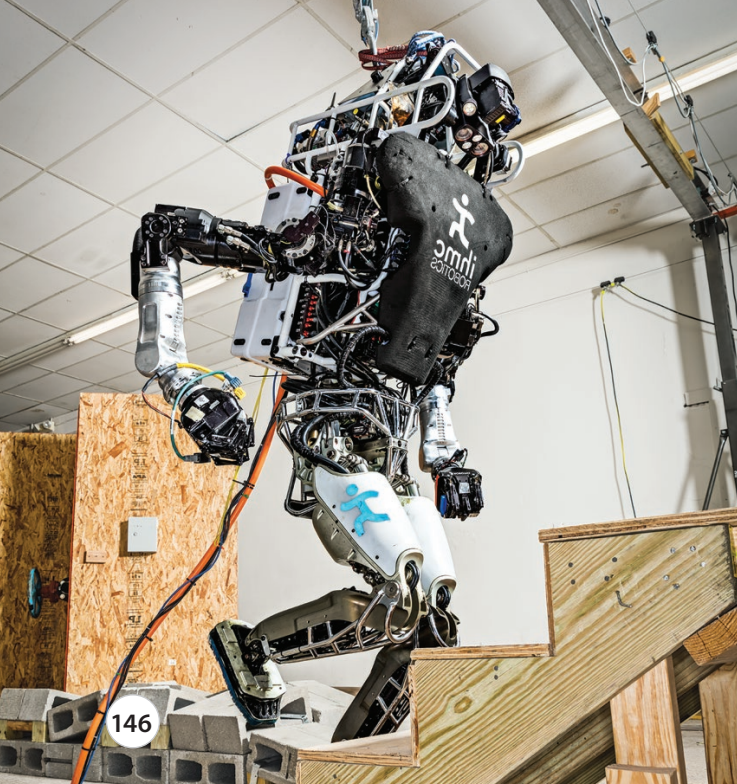
Взлет млекопитающих

Наши предки начали
процветать задолго до того,
как исчезли динозавры



СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕПОРТАЖ

ИИ ►► Как «умные сети» изменят наш мир



СОДЕРЖАНИЕ

Август/сентябрь 2016

Темы номера

ЭВОЛЮЦИЯ

Взлет млекопитающих

Стивен Брюсатт и Чжэ-Си Ло

Путь млекопитающих к мировому господству начался задолго до того, как столкновение Земли с астероидом уничтожило их главных конкурентов — динозавров

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Что убило динозавров?

Стивен Брюсатт

Огромный астероид упал на Землю в самое неподходящее для древних гигантов время

Специальный репортаж

Расцвет искусственного интеллекта

ИНФОРМАТИКА

Компьютеры тоже учатся

Джошуа Бенджо

После нескольких десятилетий разочарования благодаря мощной технологии глубинного обучения ИИ вышел из тени и готов оправдать большие надежды

ТРАНСПОРТ

Правда о «самоходных» автомобилях

Стивен Шлэдовер

Они приходят, но все происходит совсем не так, как нас убеждали

ЗООЛОГИЯ

Эйнштейны моря

Джонатан Бэлкомб

Некоторые виды рыб способны пользоваться орудиями

ВОЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

«Идею должна сопровождать радость» 48

Валерий Чумаков

4 Более 50 лет жизни посвятил генеральный конструктор САПР ОКБ «Дагдизель» профессор **Шамиль Алиев** торпедному оружию и военной промышленности



МЕДИЦИНА

Геномика для людей 54

Кевин Стросс

Врачи детской больницы, которую построили и содержат амиши и меннониты, предотвращают серьезные заболевания, используя высокотехнологичные достижения генетики

АСТРОФИЗИКА

«Мы стоим на пороге удивительных открытий в астрономии» 64

Наталья Лескова

Руководитель Астрокосмического центра ФИАН академик **Николай Кардашев** — о проектах «Радиоастрон» и «Миллиметрон» и о своем выдающемся учителе Иосифе Шкловском к его столетнему юбилею



НЕЙРОБИОЛОГИЯ

Лети, мысль, лети! 70

Стив Айан

К счастью, мозг никогда не отдыхает. Почему к счастью? Потому что блуждание мыслей приносит нам поразительные озарения

КОГНИТИВНЫЕ НАУКИ

Польза для мозга от видеоигр 76

Дафна Бавелье и Шон Грин

Охота на зомби и борьба с инопланетянами могут способствовать улучшению умственных способностей



14

ФИЗИКА СОЛНЦА

Взгляд сквозь Солнце

Владимир Покровский

Физик-теоретик **Сергей Олемской** надеется сделать теорию солнечного динамо источником точных прогнозов влияния Солнца на земные процессы, в частности на климат

ТЕПЛОФИЗИКА

Практическая теплофизика

Владимир Покровский

Фундаментальные исследования Института теплофизики СО РАН могут быть использованы при развитии реальных технологий, уверен заместитель директора института по науке профессор **Дмитрий Маркович**

ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

Часовых дел физик

Владимир Покровский

Директор Института лазерной физики СО РАН профессор **Алексей Тайченачев** работает над созданием самых точных в мире часов — лазерных

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

Оранжевый туман

Чарльз Шмидт

Вьетнам настаивает, что применение вооруженными силами США дефолианта Agent Orange отражается на здоровье потомков тех, кто контактировал с этим веществом во время войны

Эбола: дубль два

Сима Ясмин

Выжившие после лихорадки Эбола страдают от нарушений в работе головного мозга и других недугов. Каковы причины?

84



88



92



96

104



54

Ген ожирения

112

Ричард Джонсон и Питер Эндрюс

В основе наступившей человечество пандемии ожирения и диабета, возможно, лежит мутация, возникшая у доисторических приматов

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Бурение до землетрясений

120

Анна Качмент

Ученые все больше утверждают во мнении о взаимосвязи между землетрясениями и добычей нефти и газа, но власти запаздывают с реакцией

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Зачем считать тигров?

130

Уллаас Карант

В последние годы методы изучения диких популяций тигров стали совершеннее, однако природоохранные организации используют их неохотно

ЭКОЛОГИЯ

Спасение Эдема

138

Рэйчел Ньюер

Экотуризм — шанс сохранить уникальную природу Мьянмы, но развивать его непросто

РОБОТОТЕХНИКА

Ходячие роботы

146

Джон Павлус

Почему так сложно создать шагающего робота?

Разделы

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

47, 111

Технофайлы

156

Книжное обозрение

158

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



PETER



SERVICE



Сибирское отделение РАН



РОСАТОМ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



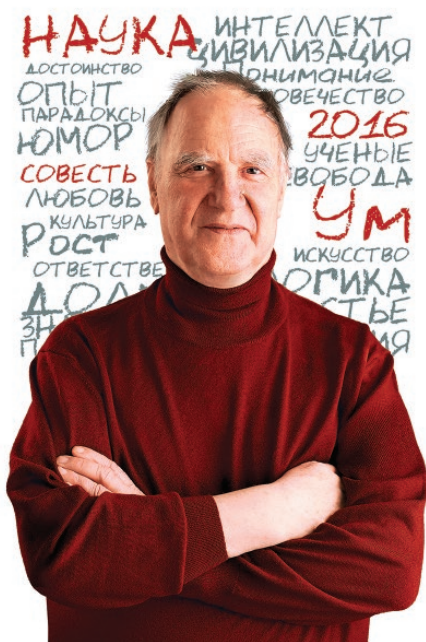
очевидное
невероятное



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

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



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство
распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортвов

Первый заместитель главного редактора:

А.Л. Асеев

Заместитель главного редактора:

С.В. Попова

Ответственный секретарь:

О.И. Стрельцова

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

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

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

д.т.н., проф. Ш.Г. Алиев; акад., д.ф.-м.н. Н.С. Кардашев; чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.,
проф. Д.М. Маркович; д. ф.-м.н. С.В. Олемской; д.ф.-м.н., проф. А.В. Тайченачев

Над номером работали:

М.А. Багоцкая, Т.В. Колядич, А.П. Кузнецов, Н.Л. Лескова, Е.С. Новоселова,
И.В. Ногаев, В.В. Покровский, А.И. Прокопенко, И.Е. Сацевич, В.В. Свечников,
В.И. Сидорова, В.Г. Сурдин, Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

Арт-директор:

Д.В. Левин

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

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

В.Е. Фортвов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

С.В. Попова

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Е.Р. Мещерякова

Адрес редакции:

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

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:

в АО «ПК «ЭКСТРА М», 143405, Московская область, Красногорский р-н, г. Красногорск,
автодорога «Балтия», 23-й км, владение 1, д. 1
Заказ №8 16-08-00034

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

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

Тираж: 12 500 экземпляров

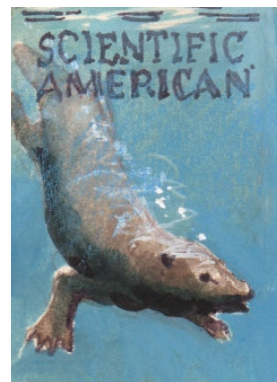
Цена договорная

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 ответ-
ственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.
Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной
собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным
договором.

ОТ РЕДАКЦИИ

Мосты из бесконечности



Касторокауда на этом первоначальном эскизе обложки — пример приспособляемости млекопитающих к новым нишам

«П

оговорим о скромных началах», — предлагает главный редактор журнала *Scientific American* Мариэтт Ди Кристина, представляя основной материал американского контента «Взлет млекопитающих». Наши предки млекопитающие — это не просто маленькие существа, миллионы лет жившие в тени

динозавров. Недавние поразительные ископаемые находки выявили неожиданные повороты в их истории. Основы для превращения млекопитающих в доминантных представителей позвоночных эволюция заложила за миллионы лет до того, как это считалось возможным. Они выработали ряд эволюционных инноваций, позволивших им использовать преимущества различных экологических ниш. Млекопитающие еще в самом начале научились лазать, плавать и планировать. В итоге они распространились по всей планете.

Когда-то люди считали, что не могут существенно влиять на среду обитания, в частности на изменение климата. Однако ученые находят все больше свидетельств того, что деятельность человека в целом способна вызвать сильнейшие реакции со стороны планеты. В статье «Бурение до землетрясений» описывается усиливающаяся взаимосвязь между землетрясениями и добычей нефти и газа.

Если влияние деятельности человека на природу ученые долгое время недооценивали, то вредность компьютерных игр, оказывается, была ими сильно преувеличена. После серьезного изучения того, что на самом деле происходит в нашем мозге, когда мы играем в видеоигры, ученые пришли к выводу, что «стрелялки» развивают некоторые когнитивные функции, включая улучшение внимания, скорость реакции и переключения с одной задачи на другую.

Об этом — в статье «Польза для мозга от видеоигр».

«Любой ученый-фундаменталист — это человек, который строит мосты из бесконечности». Эту мысль высказал генеральный конструктор торпедного оружия доктор технических наук, профессор Шамиль Гимбатович Алиев в интервью «Идею должна сопровождать радость». Общая идеология проектирования оружия, считает он, — это многообразие динамических систем, максимально приближающихся к искусственному интеллекту.


Существует ли разумная жизнь за пределами Земли? Как ведут себя пульсары? Есть ли новости о черных дырах? На эти и многие другие вопросы дает ответ грандиозный космический проект «Радиоастрон», осуществляемый Астрокосмическим центром ФИАН. Об этом рассказывает руководитель центра академик Николай Семенович Кардашев в интервью «Мы стоим на пороге удивительных открытий в астрономии».

«Взгляд сквозь Солнце» — статья об ученых, которые на основе теории солнечного динамо будут делать реальные прогнозы влияния Солнца на земные процессы, в частности на климат планеты.

Без знаний, которые дает теплофизика, нельзя ни построить электростанцию, ни отправить на орбиту космический аппарат. О научной работе, которая ориентирована на практические результаты — от моделирования процессов теплообмена до создания новейших приборов, — в статье «Практическая теплофизика».

Материал «Часовых дел физик» рассказывает об ученом, главный научный интерес которого состоит в создании самых точных в мире часов — лазерных, необходимых для синхронизации работы всех спутников глобальных навигационных систем. ■

Редакция журнала «В мире науки / *Scientific American*»



ЭВОЛЮЦИЯ

ВЗЛЕТ МЛЕКО

Как показывают недавние ископаемые находки, путь млекопитающих к мировому господству начался задолго до того, как столкновение Земли с астероидом уничтожило их главных конкурентов — динозавров

Стивен Брюсатт и Чжэ-Си Ло

ПИТАЮЩИХ



Динозавр на обед: в окаменевшем желудке репеномама, древнейшего млекопитающего, жившего на территории Китая около 130 млн лет назад, ученые обнаружили кости детеныша пситтакозавра

ОБ АВТОРАХ

Стивен Брюсатт (Stephen Brusatte) — палеонтолог из Эдинбургского университета в Шотландии.



Чжэ-Си Ло (Zhe-Xi Luo) — палеонтолог из Чикагского университета, изучающий раннюю эволюцию млекопитающих.



О

днажды вечером в начале зимы 1824 г. английский натуралист и теолог Уильям Баклэнд поднялся на кафедру с важным обращением к Геологическому обществу Лондона. Аудитория затихла в нетерпеливом ожидании. Баклэнд славился эксцентричностью своих лекций в Оксфордском университете, на которых он, облаченный в академическую мантию и шапочку, имел обыкновение раздавать студентам отрубленные части животных и окаменелости. Ученики его обожали, а среди ученых ходили упорные слухи, что Баклэнд владеет несколькими гигантскими костями неведомых ископаемых существ, переданными ему землекопами, которые разрабатывали горный карьер в одном из сельских регионов Англии. И вот почти через десять лет исследований ученый наконец-то был готов сделать официальное заявление. Собравшимся коллегам он сообщил, что эти кости принадлежали какому-то древнему животному, напоминавшему современных ящериц, но во много раз превосходившему их размерами. Баклэнд назвал это существо мегалозавром. Аудитория пришла в восторг. Баклэнд только что познакомил ее с первым динозавром, ставшим известным науке.

Этот зимний вечер стал судьбоносным не только для истории науки: с него началось непреходящее увлечение человечества динозаврами. В тот вечер, однако, Баклэнд сделал еще одно сообщение, часто предаваемое забвению, но имеющее не менее серьезную научную ценность. Описывая другие окаменелости, обнаруженные в карьере вместе с мегалозавром, ученый обратил внимание коллег на «самую замечательную» находку — две крошечные челюсти млекопитающего размером с мышшь. До тех пор исследователи считали, что

млекопитающие (звери) появились на планете сравнительно недавно — после завершения дремучих эпох господства гигантских «саламандр» и «ящериц». Две миниатюрные челюсти, снабженные столь характерными для млекопитающих клыками, стали первым свидетельством того, что эта группа животных имеет гораздо более древнюю историю.

Находка челюстей породила массу вопросов. Как давно возникли млекопитающие? Что они делали на протяжении того длительного отрезка времени,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Вопрос о том, как и когда млекопитающие стали господствующей группой позвоночных животных на Земле, долгое время оставался для ученых загадкой из-за недостатка ископаемых свидетельств.
- Многочисленные окаменелости, найденные палеонтологами за последние 15 лет, помогли им лучше понять роль, которую сыграло вымирание динозавров в ранней эволюции зверей.
- Эти находки указывают на то, что стремительная эволюция млекопитающих началась гораздо раньше, чем было принято считать прежде, и что ряд важных адаптаций появился у этих животных еще во времена господства динозавров. Главной причиной эволюционного успеха млекопитающих стало вымирание динозавров.

когда планетой правили динозавры? Каким образом возникли классические признаки млекопитающих — волосы (шерсть), молочные железы, сложная зубная система, крупный головной мозг и превосходно развитые органы чувств? И почему господствующего положения достигла лишь одна группа зверей — плацентарные млекопитающие, представители которых производят на свет хорошо развитых детенышей? Эта группа объединяет более 5 тыс. видов животных (от летучих мышей до бегемотов, китов и человека) и распространена сегодня почти по всей планете.

Поскольку окаменелостей древнейших млекопитающих было известно крайне мало, на протяжении почти двух столетий после лекции Баклэнда все эти вопросы оставались без ответа. Многочисленные ископаемые останки этих существ, найденные за последние 15 лет, наконец-то позволили ученым проследить долгий эволюционный путь млекопитающих — от крошечных зверьков, живших в тени мегалозавров, до потрясающе разнообразных форм, ставших властителями современного мира.

Скромные начинания

Млекопитающие, или звери, представляют собой группу (класс) позвоночных животных, состоящую из трех подгрупп: яйцекладущих (однопроходных), сумчатых (детеныши которых завершают развитие в особой сумке на теле матери) и плацентарных. Древнейших существ, напоминавших внешним видом и поведением современных зверей, биологи объединяют в группу так называемых млекопитающеобразных (*Mammaliaformes*), которые в свою очередь произошли от цинодонтов (*Cynodontia*) — примитивных существ, обладавших многими типичными признаками рептилий.

Древнейшие ископаемые останки млекопитающеобразных датируются поздним триасовым периодом (около 210 млн лет назад), когда на Земле стремительно эволюционировали самые разнообразные организмы. А за несколько десятков миллионов лет до этого, в конце пермского — начале триасового периода, вследствие усиления вулканической активности на Земле произошло массовое вымирание видов. В результате исчезли большинство гигантских амфибий и рептилий, господствовавших на планете в пермский период, а вместо них в «постапокалиптическом вакууме» возникли многие из важнейших современных групп животных. Именно во время радикальных перемен на планете начали стремительно эволюционировать черепахи, ящерицы, лягушки, крокодилы, динозавры (давшие затем начало птицам) и предки млекопитающеобразных.

Одни из наиболее хорошо сохранившихся окаменелостей млекопитающеобразных найдены в скалах, окаймляющих фьорд Флеминга на восточном

побережье Гренландии. Многочисленные зубы и челюстные кости, обнаруженные в этом месте в 1990-х гг., помогли ученым восстановить облик непосредственных предков млекопитающих. Присмотреть эти останки было нелегко. Фаришу Дженкинсу (Farish Jenkins), легендарному палеонтологу из Гарвардского университета, умершему в 2012 г., и группе его бесстрашных сотрудников пришлось вырубать их из промерзшей горной породы.

Команда Дженкинса обнаружила останки трех основных групп млекопитающеобразных: кюнеотериид (*Kuehneotheriidae*), морганукодонтов (*Morganucodonta*) и харамиид (*Haramiyida*). Все эти существа были крошечными животными величиной от землеройки до мыши, однако у них уже имелся ряд важных признаков настоящих млекопитающих. Прежде всего, их тельце покрывал густой мех, согревавший их в стужу и помогавший рассеивать тепло в окружающую среду в жару. Их нижняя челюсть соединялась с черепом шарнирными суставами, которые вместе с крупными, хорошо развитыми челюстными мышцами обеспечивали гораздо более тонкие жевательные движения, чем грубые и беспорядочные кусательные движения челюстей цинодонтов. Бугорки на поверхности зубов — особенно сидевших в задней части челюстей моляров (коренных зубов) — делали пережевывание пищи еще более эффективным.

Окаменелости из Гренландии и других частей света свидетельствуют о том, что инноваций в строении челюстей сопровождалось радикальными изменениями зубного аппарата. Если у цинодонтов зубы на протяжении всей жизни постоянно росли, выпадали, а затем отрастали вновь, то у млекопитающеобразных существ зубы стали сменяться только раз в жизни: после выпадения молочных зубов у них отрастали постоянные, которые, достигнув определенной величины, прекращали рост. Беззубые новорожденные кормились материнским молоком, вырабатываемым особыми молочными железами самок (этой биологической особенностью группа млекопитающих и обязана своим названием). Таким образом, древние млекопитающеобразные, вероятно, вскармливали своих детенышей точно так же, как и современные млекопитающие. Такое важнейшее эволюционное новшество обеспечивало детенышам млекопитающих быстрый рост, повышало их шансы на выживание, а также позволило животным достигнуть более высокого уровня метаболизма, а это значит, что они могли оставаться активными даже в холодных условиях (например, темной ночью).

Ранние млекопитающеобразные обнаруживают и зачатки других ключевых признаков настоящих млекопитающих — например, более высокий уровень интеллекта и сенсорного восприятия. Недавние достижения в области компьютерной

От землеройки до человека

Недавние ископаемые находки позволили ученым воссоздать ход эволюционного развития млекопитающих от крошечных, похожих на землероек предковых форм до невероятно разнообразных современных существ, включая человека. Эволюционному успеху этих животных, позволившему им занять самые разные экологические ниши, способствовали такие важные инновации, как, например, изменение структуры зубного и слухового аппарата.

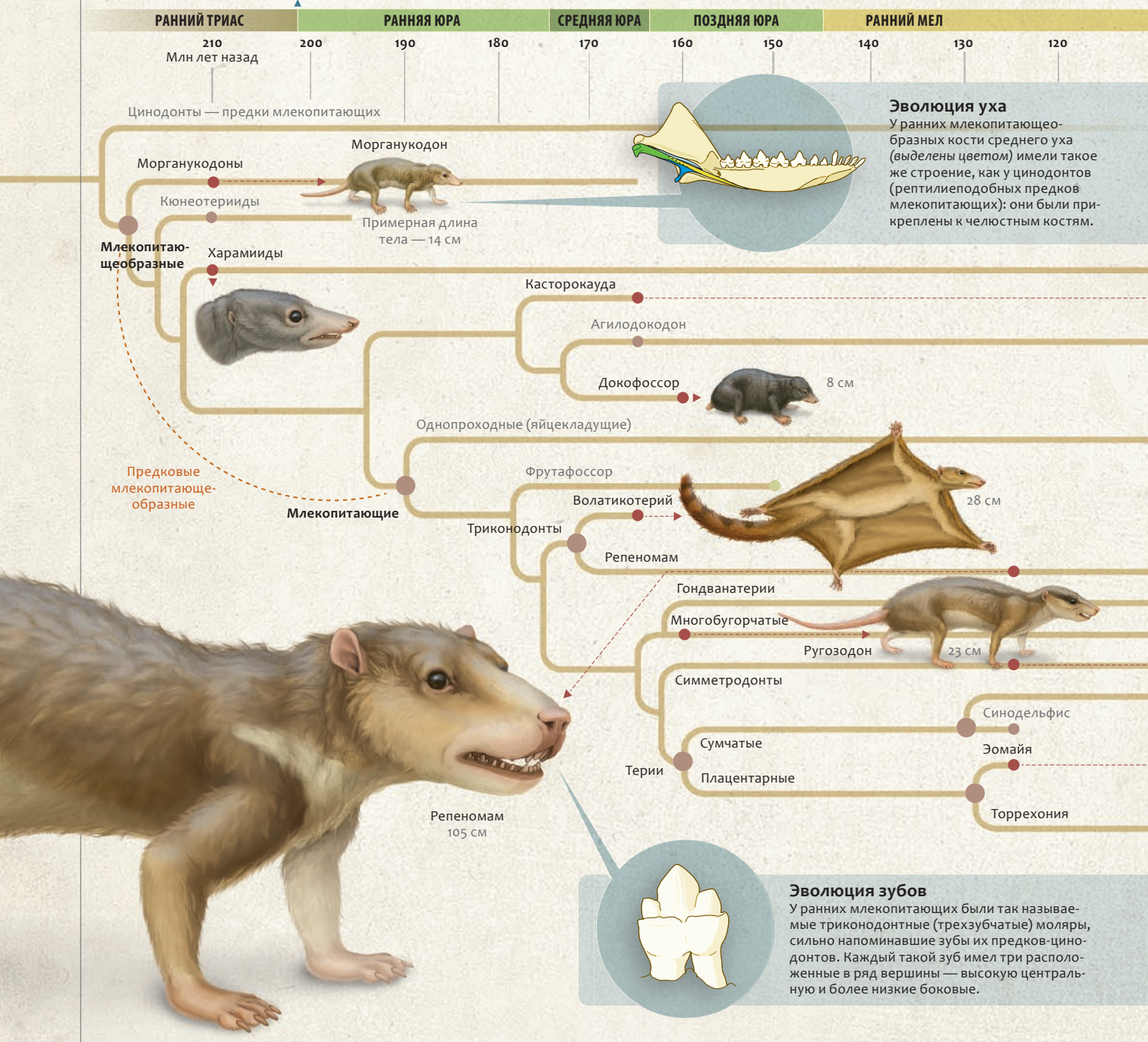
Скромные начинания

Первыми существами, напоминавшими млекопитающих, были примитивные млекопитающеобразные существа, появившиеся на планете еще в то время, когда все континенты составляли единый массив суши.

Ранняя специализация

Долгое время ученые полагали, что до вымирания динозавров эволюция млекопитающих шла черепашими темпами. Новые данные указывают на то, что эти животные выработали широкий спектр пищевых стратегий и способов передвижения еще во времена господства динозавров.

Раскол суперконтинента Пангеи



Звери и цветы

Появление цветковых (покрытосеменных) растений подстегнуло эволюцию терий — группы млекопитающих, включающей сумчатых и плацентарных зверей, которые производят на свет хорошо развитых детенышей.

Освоение планеты

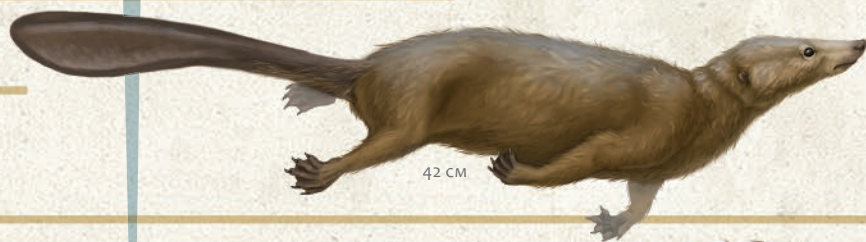
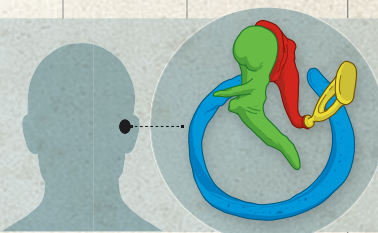
Хотя млекопитающие успешно эволюционировали и во времена динозавров, вымирание этих рептилий позволило им быстро увеличить свое видовое разнообразие и занять многие новые экологические ниши.

Вымирание динозавров



У ранних терий кости среднего уха начали уменьшаться в размерах и отделяться от челюстей. В результате их слух стал острее, что позволило им быстрее отыскивать жертв и спастись от хищников.

У современных терий кости среднего уха представлены тремя крошечными косточками — молоточком (зеленый), наковальней (красный) и стремечком (желтый) — и совершенно не связаны с челюстями.



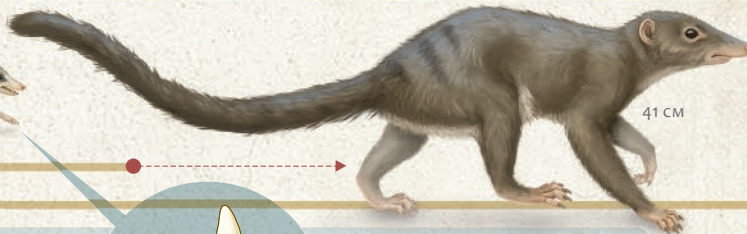
Современные млекопитающие



Однопроходные



Сумчатые



Плацентарные



На нижних молярах маленькие бугорки переместились в сторону языка, а на верхних — в сторону щек. Так устроены зубы симметродонтов.



Трибосфенические моляры размельчают пищу подобно пестику и ступке: во время жевания выступы на поверхности верхних моляров точно входят в выемки на поверхности соответствующих нижних моляров.

томографии позволили палеонтологам выяснить детали внутреннего строения окаменелых костей и черепа и даже проследить ход нервных путей. Ученые показали, что головной мозг этих примитивных млекопитающих был гораздо крупнее, чем у их предков-рептилий, но все же не достигал размеров, характерных для современных зверей. Кроме того, они обладали крупными обонятельными луковицами и слуховыми областями коры, что указывало на острые обоняние и слух, а также обширными корковыми зонами, перерабатывающими тактильную информацию от кожи и волос. Эти существа даже модернизировали свое внутреннее ухо, окружив его твердой костью, которая изолировала чувствительный слуховой аппарат от громких звуков, возникающих во время жевания.

Но несмотря на то что крошечные триасовые млекопитающеобразные начали приобретать некоторые полезные функции, свойственные современным зверям, в те далекие времена они, конечно



Маленький древолаз: найденный в Китае агилодокодон (*Agilodocodon scansorius*) жил примерно 165 млн лет назад; имеющиеся у него адаптации указывают на то, что млекопитающие освоили древесный образ жизни гораздо раньше, чем ученые считали прежде

же, не были господствующими животными на планете. Эту миссию выполняли динозавры и крокодилы, постепенно превращавшиеся в громадных животных и поднимавшиеся на самые вершины пищевых пирамид. Но свою «маломерность» примитивные млекопитающие сполна компенсировали разнообразием форм. Как показало недавнее исследование Памелы Джилл (Pamela Gill) из Бристольского университета в Англии, эти существа обнаруживали поразительное многообразие пищевых адаптаций. Сканируя зубы млекопитающеобразных с помощью синхротронного излучения, а затем моделируя их функции методами программной инженерии, Джилл и ее коллеги показали, что сильные челюсти моргануконов могли без труда раздавливать жуков и других крупных насекомых с жесткими экзоскелетами,

а изящные челюсти и тонкие зубы кюнеотерид были отлично приспособлены к кормежке червями, бабочками и другими мягкотелыми беспозвоночными. Один из авторов этой статьи (Чжэ-Си Ло) установил, что харамиидам невероятная подвижность челюстей помогала резать и перетирать стебли и листья небольших растений.

Юрский прорыв

Согласно стереотипным взглядам на эволюцию млекопитающих, первые представители этой группы животных на протяжении десятков миллионов лет, то есть в течение большей части мезозойской эры (длившейся между 252 и 66 млн лет назад и включавшей триасовый, юрский и меловой периоды) пребывали в состоянии глубокого «застоя». И пока на суше царствовали динозавры, млекопитающие вели неприметное существование в качестве мелких насекомоядных существ, рыскающих в подлеске и лесной подстилке в поисках корма. Однако масса новых ископаемых находок, сделанных в разных частях света, показали ошибочность такого представления. Высокая адаптивность ранних млекопитающеобразных стала основным «лейтмотивом» всей эволюции млекопитающих. Похоже, способность легко приспосабливаться к меняющимся условиям среды и стала ключевой причиной их эволюционного успеха.

Благодаря хорошо развитым органам чувств, тонкой координации движений и высокому уровню обмена веществ эти существа сохраняли активность даже холодными и темными ночами. Эти же особенности, по-видимому, помогли им пережить и еще одну страшную катастрофу. Как свидетельствует геологическая летопись, примерно 200 млн лет назад, на рубеже триасового и юрского периодов, произошел раскол суперконтинента Пангея. Из расширявшихся трещин в земной коре вырывались потоки лавы и облака вулканических газов и пепла, отравлявшие атмосферу Земли и уничтожавшие ее экосистемы. Млекопитающеобразные, вероятно, смогли пережить это неблагоприятное событие, освоив экологические ниши, недоступные для многих других позвоночных животных того времени.

Поскольку массовое вымирание видов в конце триасового периода удалось пережить и многим динозаврам, эти рептилии продолжали доминировать на суше и в юрский период. Но за 30 млн лет, миновавшие с начала этой катастрофы, млекопитающие совершили громадный эволюционный скачок. О взрывообразном возникновении новых видов свидетельствуют многочисленные находки, сделанные на протяжении последнего десятилетия в горных породах геологической формации Тяоцзишань в северо-восточной части Китая. Прекрасно сохранившиеся окаменелости включают

не только более двух дюжин скелетов млекопитающих, но и останки насекомых и оперенных динозавров. Примерно 160 млн лет назад все эти животные имели несчастье жить в лесах и по берегам озер в области с высокой вулканической активностью. Останки погибших животных, погребенные под слоем лавы и пепла, избежали полного разложения и великолепно сохранились до наших дней.

Анализ китайских ископаемых млекопитающих, проведенный Чжэ-Си Ло и другими исследователями, показывает, что эти существа отличались внушительным разнообразием форм, что, по-видимому, и позволило им освоить широкий спектр экологических ниш. Так, касторокауда (*Castorocauda*), жившая в середине юрского периода, достигала размеров луговой собачки и обладала перепончатыми передними и задними лапами и уплощенным, как у бобра, хвостом. Это древнейшее из всех известных ученым водных млекопитающих. Докофоссор (*Docofossor*) жил под землей и прокладывал норы лопатообразными передними лапами с широкими пальцами и сильными когтями, напоминая лапы современных африканских златокротов. Агилодокодон (*Agilodocodon*) был проворным маленьким древолазом, питавшимся соком деревьев; кору с их стволов он обдирает с помощью уплощенных передних зубов. Но, пожалуй, самым причудливым существом был волатикотерий (*Volaticotherium*), напоминавший современных летяг и планировавший по воздуху с дерева на дерево на широких кожных перепонках, натянутых между передними и задними ногами. Однако область распространения подобных специализированных млекопитающих не ограничивалась Китаем. Так, например, фруктафоссор (*Fruitafossor*), описанный Ло и Джоном Уайблом (John Wible) из Музея естественной истории Карнеги в Питсбурге (США), жил на территории современного штата Колорадо и питался муравьями, раскапывая их гнезда. Таким образом, ископаемые находки свидетельствуют о том, что новым видам млекопитающих, появившимся на Земле в юрский период, были свойственны все основные стили жизни, присущие современным мелким зверькам.

В середине юрского периода (174–164 млн лет назад) количество видов млекопитающих резко увеличилось. Как показывают данные статистического анализа, проведенного Роджером Клоузом (Roger Close) из Бирмингемского университета в Англии, юрские виды зверей эволюционировали почти вдвое быстрее, чем примитивные млекопитающеобразные триаса. Ускоренный темп эволюции определил особенности семейного древа млекопитающих: именно в это время его ствол разделился на две линии, ведущие к современным

однопроходным (яйцекладущим) млекопитающим и териям, или настоящим зверям (*Theria*), объединяющих сумчатых и плацентарных млекопитающих.

Несмотря на то что многие из описанных здесь юрских млекопитающих относились к вымершим линиям животных, занимавших на семейном древе промежуточное положение между яйцекладущими и териями, они, тем не менее, имеют огромное значение для понимания происхождения современных млекопитающих, так как помогают выяснить морфологические особенности их далеких предков. В юрский и наступивший после него меловой период давно вымершие генеалогические ветви животных эволюционировали одновременно с предшественниками современных зверей, и их представители освоили многие из тех же самых стилей питания и передвижения, что и предки современных млекопитающих. Но почему же в таком случае они не дожили до наших дней? Разгадать эту загадку и пытаются палеонтологи.

Млекопитающие сформировали свой современный облик на заре мелового периода. Характерными особенностями данной группы животных стали крупный головной мозг и высокая скорость роста

Цветочная революция

На заре мелового периода, около 145 млн лет назад, млекопитающие сформировали свой современный облик. Характерными особенностями данной группы животных отныне стали крупный головной мозг и высокая скорость роста. Наряду с этим возникла, казалось бы, и не столь важная эволюционная адаптация: у них появились так называемые трибосфенические моляры. Их особенность состоит в том, что выступы на поверхности верхних коренных зубов точно попадают в выемки на поверхности соответствующих нижних моляров, что позволяет зубам растирать пищу подобно пестику и ступке. Такая конструкция зубов открыла для млекопитающих совершенно новые «диетологические» перспективы.

Вооружившись многофункциональными трибосфеническими зубами, терии начали быстро увеличивать свое видовое разнообразие. Генеалогические линии, которые в конечном итоге приведут к возникновению двух основных групп современных зверей — плацентарных и сумчатых, окончательно разделились и продолжили эволюцию

в разных направлениях. Останки древнейших и наиболее примитивных представителей этих линий обнаружены в Китае; они оказались на лесной подстилке задолго до того, как 125 млн лет назад ее начали топтать ногами оперенные динозавры.

Несмотря на то что терии бегали по Земле еще в начале мелового периода, время их расцвета наступит намного позднее. В ту пору они представляли собой немногочисленную группу мелких зверьков величиной с песчанку. А наиболее заметными млекопитающими на протяжении первых 30 млн лет мелового периода были более примитивные триконодонты (*Triconodonta*) и симметродонты (*Symmetrodonta*), появившиеся еще в юрский период. Некоторые представители этих групп были крупнейшими млекопитающими всей мезозойской эры. В качестве примера можно привести обнаруженного в Китае репеномама (*Repenotamus*) — зверя длиной 1 м и весом 14 кг, в окаменевшем желудке которого были найдены кости мелкого динозавра.

А затем произошло событие, резко изменившее ход эволюционного развития млекопитающих. На Земле появились покрытосеменные (цветковые) растения — кустарники и деревья, образующие цветки и плоды и составлявшие большинство видов современных растений. В середине мелового периода покрытосеменные расселились почти по всей планете и обеспечили млекопитающих новыми источниками пищи — цветочным нектаром, плодами и насекомыми, которые тоже кормились этими растениями. Трибосфенические моляры настоящих зверей (терий) оказались идеальным инструментом для переработки подобных кормов и дали мощный толчок эволюции этой группы млекопитающих. Тем временем охотившийся на динозавров репеномам и многие другие млекопитающие с более примитивными зубами начали сокращаться в численности и к концу мелового периода вымерли.

Но полного эволюционного успеха не могли гарантировать териям даже новые эффективные стратегии питания. Пока в середине и конце мелового периода терии набивали свои животы насекомыми, некоторые другие, более примитивные группы млекопитающих обзавелись сложным зубным аппаратом, лучше приспособленным для резки и перетирания грубых тканей покрытосеменных растений. В результате северные континенты планеты заполнили так называемые многобугорчатые млекопитающие (*Multituberculata*) — похожие на крыс зверьки, чьи моляры были усажены многочисленными бугорками. Несмотря на внешнее сходство, с настоящими грызунами эти существа

в близком родстве не состояли. Недавний статистический анализ, проведенный Грегори Уилсоном (Gregory Wilson) из Вашингтонского университета и Дэвидом Гроссниклом (David M. Grossnickle) из Чикагского университета, показал, что многобугорчатые достигли эволюционного расцвета в конце мелового периода. Они дали множество видов, постоянно увеличивались в размерах и усложняли строение своих коренных зубов в соответствии с эволюционными изменениями покрытосеменных.

Конкуренты терий появляются и на южных континентах. О южных млекопитающих конца мелового периода палеонтологам известно пока очень мало, но новые интересные находки заставляют предполагать, что здесь процветала группа причудливых существ, названных учеными гондванатериями (*Gondwanatheria*), которые, однако, несмотря на название, к группе настоящих зверей (терий) не относились. В течение многих десятилетий эти таинственные млекопитающие были известны

Судьба динозавров изменилась в мгновение ока, когда столкновение планеты с огромным астероидом породило массовые землетрясения, извержения вулканов, пожары и цунами, изменившие лик Земли за короткое время до неузнаваемости

ученым лишь по отдельным ископаемым зубам — молярам с высокой, покрытой эмалью коронкой, которые были идеально приспособлены к измельчению грубого растительного материала и которые, как у современных коров и лошадей, росли на протяжении всей жизни животных. В 2014 г. группой ученых под руководством Дэвида Краузе (David Krause) из Университета Стони-Брук был найден первый череп гондванатериев. Он принадлежал млекопитающему, названному винтаной (*Vintana*), жившему на Мадагаскаре в самом конце мелового периода. Это существо напоминало современного бобра и, похоже, питалось появлявшимися в то время травянистыми покрытосеменными растениями.

После катастрофы

К концу мелового периода, примерно 66 млн лет назад, млекопитающие заняли на планете довольно заметное положение. Со времени своего триасового дебюта они прошли долгий путь развития и дали начало множеству видов насекомоядных

и растительноядных существ, включенных в сложные пищевые цепи и сети, конечные звенья которых составляли тираннозавры и другие крупные динозавры. Но из-за своих мелких размеров они по-прежнему были вынуждены жить в подлеске, не отваживаясь осваивать новые типы местообитаний.

Но судьба этих животных — как и многих других существ — изменилась в мгновение ока, когда столкновение планеты с огромным астероидом породило массовые землетрясения, извержения вулканов, пожары и цунами, которые всего за несколько недель до неузнаваемости изменили лик Земли. Для динозавров катастрофические события и вызванные ими долгосрочные климатические и экологические последствия оказались слишком суровым испытанием: эти великолепные существа, безраздельно царствовавшие на планете более 150 млн лет, в одночасье ушли в историю.

Катастрофа не обошла стороной и млекопитающих. Об их упадке свидетельствуют данные полевых исследований, начатых Уильямом Клемменсом (William Clemens) из Калифорнийского университета в Беркли и ныне продолжаемых Уилсоном, которые за пять десятилетий собрали в штате Монтана внушительную коллекцию останков животных, датированных временем катастрофы. Результаты этой работы показывают, что одновременно с динозаврами вымерли и многие крупные млекопитающие. С лица Земли почти полностью исчезли сумчатые, которые начали процветать в конце мелового периода, и если бы не несколько отважных видов, уцелевших после катастрофы, в Австралии сегодня не было бы их потомков — современных кенгуру и коал.

Среди других млекопитающих, переживших эти тяжелые времена, были и некоторые древнейшие плацентарные — звери, производящие на свет хорошо развитых детенышей (к этой группе млекопитающих относятся и люди). Исследования, основанные на сравнении ДНК ныне существующих видов, показывают, что общий предок плацентарных зверей эволюционировал бок о бок с динозаврами в меловой период. Но стремительно развиваться млекопитающие начали лишь после массового вымирания видов в конце этого периода; в итоге они разделились на несколько линий, давших начало основным группам современных млекопитающих (грызунам, приматам и др.). Причина их внезапного расцвета очевидна. Вымирание тираннозавров, трицератопсов и прочих крупных динозавров расчистило «игровую площадку» эволюции и позволило плацентарным зверям быстро занять доступные экологические ниши.

Хотя ученые давно догадывались о том, что именно вымирание динозавров дало толчок развитию млекопитающих, сегодня мы понимаем истинную роль этого события гораздо лучше: оно

стало искрой, из которой возгорелось пламя революции плацентарных млекопитающих. Как и все революции, революция плацентарных произошла очень быстро, возможно, за считанные сотни тысяч лет — ничтожно малое время по геологическим меркам. Один из авторов статьи (Стивен Брюссатт) проводит полевые исследования в штате Нью-Мексико, пытаясь лучше понять некоторые критические аспекты эволюции млекопитающих во время и после астероидной катастрофы — например, выяснить вопрос, помогли ли особенности пищевого и других форм поведения уцелеть этим животным в постапокалиптическом мире. Находящаяся в этом штате геологическая формация Насимьенто — лучшее в мире хранилище окаменелостей, свидетельствующих о расцвете млекопитающих после исчезновения динозавров. Коллега Брюссатта, Томас Уильямсон (Thomas Williamson) из Музея естественной истории и науки Нью-Мексико, более чем за 25 лет работы извлек из здешних горных пород многие тысячи окаменелостей. Среди них челюсти и зубы самых разных древних плотоядных и травоядных млекопитающих размерами от землеройки до коровы. И все они жили в этом уголке планеты всего-навсего через 500 тыс. лет после падения астероида — наглядное свидетельство того, насколько быстро плацентарные звери освоили планету, воспользовавшись благоприятным шансом.

Среди останков ископаемых плацентарных, обнаруженных Уильямсоном в Нью-Мексико, есть и скелет торрехонии (*Torrejonia*) — причудливого существа величиной со щенка с длинными конечностями и пальцами. Торрехония жила примерно 63 млн лет назад, но, глядя на ее изящный скелет, так и видишь перед собой проворного зверька, прыгающего по веткам деревьев и цепляющегося за них тонкими острыми коготками. Торрехония — один из древнейших представителей приматов. Пройдет еще около 60 млн лет, и первые примитивные приматы постепенно превратятся в прямоходящих человекообразных существ. Но это уже отдельная глава книги о грандиозном эволюционном путешествии млекопитающих длиной в 200 млн лет. ■

Перевод: В.В. Свечников

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ The Origin and Early Evolution of Metatherian Mammals: The Cretaceous Record. Thomas E. Williamson, Stephen L. Brusatte and Gregory P. Wilson in *ZooKeys*, Article No. 465. Опубликовано онлайн 17.12.2014.

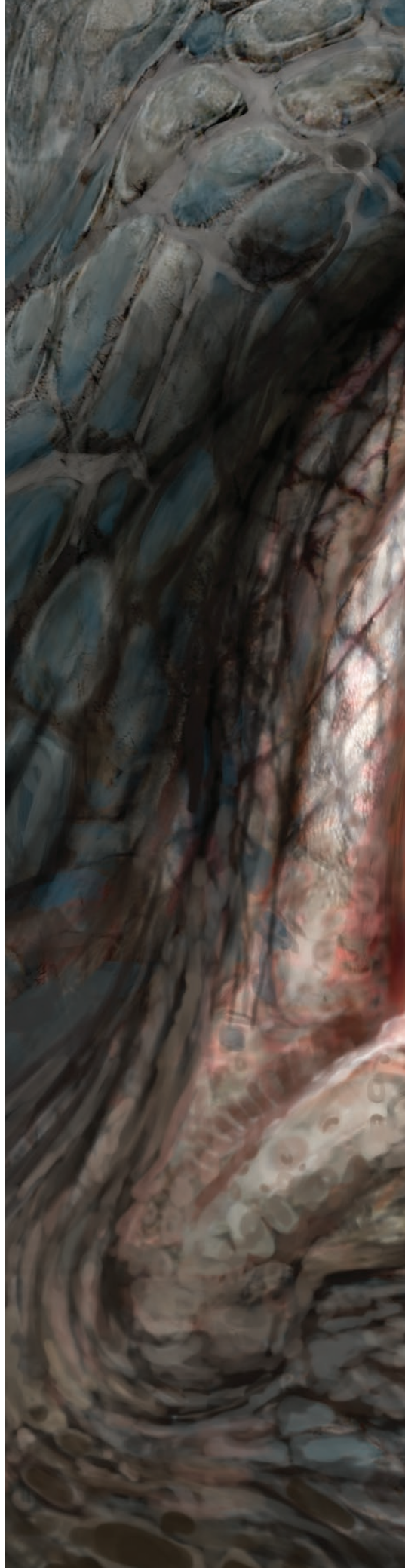
■ An Arboreal Docodont from the Jurassic and Mammaliaform Ecological Diversification. Qing-Jin Meng, Qiang Ji, Yu-Guang Zhang, Di Liu, David M. Grossnickle and Zhe-Xi Luo in *Science*, Vol. 347, pages 764–768; February 13, 2015.

ЧТО ПАЛЕОНТОЛОГИЯ УБИЛО ДИНОЗАВРОВ?

Гигантский астероид упал
на Землю в самое неподходящее
для динозавров время

Стивен Брюсатт

Храм Спаса на Крови в Санкт-Петербурге словно вырос из сказки. Он стоит на берегу закованного в гранит канала и увенчан целым лесом вздымающихся к небу куполов, а каждый квадратный дюйм его интерьера украшен великолепной мозаикой в пастельных тонах. Памятники архитектуры — совсем не то место, где обычно собираются палеонтологи, но я приехал в Петербург изучать останки недавно открытого динозавра и решил обязательно побывать в этом соборе. Визит имел чисто личный характер. Храм воздвигнут на том месте, где в 1881 г. в результате покушения революционеров-народников был смертельно ранен Александр II. Данное обстоятельство инициировало целую череду событий, приведшую в конце концов к моему появлению на свет.





ОБ АВТОРЕ

Стивен Брюсатт (Stephen Brusatte) — палеонтолог, работающий в Эдинбургском университете в Шотландии. Занимается эволюцией и морфологией динозавров. Его последняя статья, опубликованная в нашем журнале, посвящена эволюции тиранозавров (*Брюсатт С. Взлет тиранозавров // ВМН, № 7, 2015*).



Смерть царя породила волну еврейских погромов, вызвавшую страх у евреев, проживавших на окраине Российской империи. Панике поддались и одно из еврейских семейств в Литве, решившее отправить своего младшего сына в безопасную Америку. Этот человек был моим прадедом. Если бы не такая цепочка событий, начавшаяся более 100 лет назад в Санкт-Петербурге, сегодня меня не было бы на свете.

Подобные истории случаются во всех семьях — причудливые повороты судьбы в далеком прошлом, без которых настоящее выглядело бы совершенно иначе. Точно так же обстоит дело и с эволюцией. История жизни на Земле — непрерывная череда случайных событий, способная в любой момент времени изменить свое направление. Именно это и произошло на планете 66 млн лет назад, в конце мелового периода. На протяжении предшествовавших 150 млн лет динозавры безраздельно господствовали на суше, достигнув колоссальных размеров и заселив почти все пригодные для жизни местообитания. Но затем что-то изменилось, и тиранозавры, трицератопсы и все остальные их сородичи навсегда исчезли с лица Земли.

Вымирание динозавров — одна из величайших загадок науки, определившая и мое решение в подростковом возрасте стать ученым. Последние десять лет, собирая по всему миру ископаемые останки динозавров, я непрестанно задавался вопросом: как угораздило этих преуспевающих существ исчезнуть с лица планеты? Популярная теория, выдвинутая в 1980 г., утверждает, что виновником данного события стало столкновение Земли с астероидом. Скептики, однако, не исключают, что в гибели динозавров могли участвовать и другие факторы. Открывая все новые виды динозавров и получая все более полное представление об их эволюции, ученые, похоже, вплотную подошли к окончательной разгадке тайны.

Недавно я организовал международную встречу палеонтологов, специально посвященную причинам вымирания динозавров. Используя самые свежие данные о разнообразии динозавров, мы решили проследить тенденции эволюционного развития этих рептилий, обсудить последние сведения о предположительном времени их вымирания и проанализировать многочисленные изменения окружающей среды, происходившие в ту далекую эпоху. К нашему удивлению, участники встречи пришли к единодушному заключению: как и утверждает расхожая доктрина, вымирание динозавров было внезапным и произошло главным образом по вине астероида. Но такой вывод был бы неполным: астероид упал на Землю в то время, когда жизнь динозавров уже начала превращаться в настоящий кошмар из-за разрушения их экосистем, связанного с предшествовавшими климатическими изменениями. Такой неожиданный поворот событий в конечном итоге определил и облик современного мира, и эволюционную историю человеческого рода.

Вечная загадка

Как и большинство подростков, я совершал порой довольно опрометчивые поступки. Но, пожалуй, самым безрассудным из них был телефонный звонок, сделанный мною весной 1995 г. Уолтеру Альваресу (Walter Alvarez), геологу из Калифорнийского университета в Беркли. В то время я был 15-летним мальчишкой, бредившим динозаврами, а Альварес — всемирно известным ученым и членом Национальной академии наук США, который двумя десятилетиями ранее и предположил, что динозавров погубило столкновение Земли с гигантским астероидом. На эту мысль его натолкнуло любопытное наблюдение. В горных породах сохранился тонкий пласт глины, соответствующий границе между отложениями мелового периода,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Вымирание динозавров — одна из величайших загадок науки.
- Согласно популярной теории, предложенной несколько десятилетий назад, эту группу рептилий погубило столкновение Земли с громадным астероидом.
- Скептики, однако, и по сей день задаются вопросом: а не могли ли повлиять на это событие и какие-нибудь другие факторы?
- Результаты недавнего исследования указывают на то, что огромная каменная глыба обрушилась на нашу планету как раз в то время, когда многие сообщества динозавров стали более уязвимыми к неблагоприятным внешним воздействиям.

СКРЫТАЯ ТЕНДЕНЦИЯ

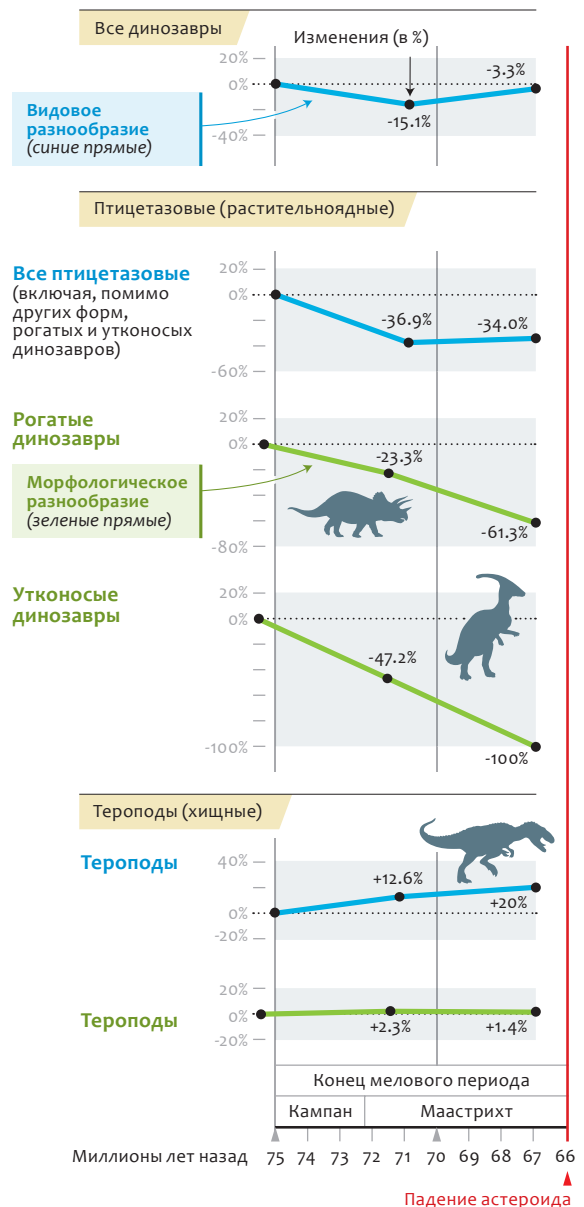
изобилующими окаменелостями динозавров, и отложениями палеогенового периода, продолжавшегося между 66 и 23 млн лет назад и начисто лишённого ископаемых останков этих ящеров. Альварес обнаружил также, что глиняный пласт был насыщен иридием — элементом, редко встречающимся на Земле, но обычным для состава комет, астероидов и прочих небесных тел. Ученый впервые заметил данную аномалию в одном из горных ущелий неподалеку от средневековой коммуны Губбио в итальянской области Умбрия. Случилось так, что двадцатую годовщину свадьбы моих родителей наше семейство решило отметить путешествием в Италию. Всеми правдами и неправдами я убедил родителей оторваться от посещения базилик и музеев и на день съездить в Губбио — посмотреть на геологическую достопримечательность, подсказавшую Альваресу мысль об астероиде-убийце. А за соответствующими указаниями я недолго думая решил обратиться прямо к первоисточнику.

Когда я вспоминаю, что Альварес не только ответил на мой звонок, но и подробно рассказал, как найти то место в ущелье, где он обнаружил иридиевый пласт глины, мне до сих пор становится не по себе. Я и надеяться не мог, что столь прославленный ученый, не считаясь со временем, отзовется на просьбу незнакомого мальчишки! Его астероидная теория вымирания динозавров, опубликованная им в 1980 г. в журнале *Science* совместно с его отцом, лауреатом Нобелевской премии по физике Луисом Альваресом, и еще двумя коллегами по университету в Беркли, на целое десятилетие стала предметом неистовых научных споров. Динозавры и массовое вымирание видов постоянно упоминались в новостных программах; о них было написано несметное количество книг и снято множество документальных телефильмов; в сотнях научных статей, написанных палеонтологами, геологами, химиками, экологами и астрономами, обсуждались возможные причины их вымирания — в решение самого злободневного научного вопроса десятилетия пытались внести свой вклад ученые самого разного профиля.

К концу 1980-х гг. стало окончательно ясно, что примерно 66 млн лет назад в нашу планету врезался астероид или комета. Ученые обнаружили иридиевый слой глины во всех частях света. Более того, геологи даже идентифицировали кратер, чье возникновение в точности совпадало по времени с вымиранием динозавров, — кратер Чиксулуб диаметром примерно 180 км на п-ове Юкатан в Мексике. Какое-то громадное небесное тело около 10 км в поперечнике неожиданно врезалось в нашу планету и вызвало небывалую волну катаклизмов — вулканических извержений, цунами, кислотных дождей, а также образование сплошной пелены пыли, дыма и пара, долгие годы застывшей солнечный свет.

Травоядные в беде

Изучение североамериканских динозавров показывает, что 66 млн лет назад, когда Земля столкнулась с астероидом, в целом эта группа рептилий — судя по ее видовому разнообразию — переживала эволюционный расцвет (вверху). Но более детальный анализ позволяет выявить и скрытые отрицательные тенденции. У одной из основных групп динозавров, хищных тероподов, дела обстояли вполне нормально (внизу). Но другая крупная группа, птицетазовые динозавры, мало-помалу приходила в упадок: сокращалась ее как видовое, так и морфологическое разнообразие — показатель, отражающий степень различий в строении и размерах тела видов (в середине). В особенно сложном положении оказались две группы птицетазовых ящеров — рогатые и утконосые динозавры (гадрозавры). Их упадок почти неминуемо должен был отразиться на положении других динозавров.



SOURCE: "THE EXTINCTION OF THE DINOSAURS," BY STEPHEN L. BRUSATTE ET AL., IN BIOLOGICAL REVIEWS, VOL. 90, NO. 2, MAY 2015; GRAPHIC BY SYW/Infographics

Однако драгоценной информации о том, как эволюционировали динозавры в преддверии астероидной катастрофы и каким образом они и заселенные ими экосистемы отреагировали на это бедствие, ученым было крайне мало. Вот почему не утихали споры о том, вымерли ли динозавры внезапно, находясь в полном расцвете сил, или же астероид попросту нанес последний сокрушительный удар по отживающей свой век группе животных, которая в любом случае была обречена на вымирание. В конце концов, астероид врезался не в статичное космическое тело, а в живую планету с беспрестанными колебаниями уровня моря, температурными сдвигами и извержениями вулканов. Может быть, какие-то из этих факторов тоже повлияли на вымирание динозавров?

Свежие находки

Попасть в Губбио во время нашей семейной поездки в Италию мне так и не довелось: наводнение прервало железнодорожное сообщение с Римом. Увы, судьба может быть жестокой (спросите об этом хотя бы у динозавров!), но порой она поворачивается к нам и светлой стороной. Представьте мой восторг, когда пять лет спустя я вернулся в Италию на университетскую практику по геологии. Мы остановились в маленькой обсерватории в Апеннинах и работали под руководством АLESSАНДРО МОНТАНАРИ (Alessandro Montanari) — одного из многочисленных ученых, сделавших себе имя в 1980-х гг. благодаря изучению массового вымирания видов в конце мелового периода. В первый же день после приезда, проходя по библиотеке, мы заметили одинокую фигуру, склонившуюся над столом и в мерцающем свете неоновых ламп пристально изучавшую какую-то геологическую карту. «Познакомьтесь с моим другом и наставником Уолтером Альваресом, — произнес МОНТАНАРИ со своим певучим итальянским акцентом. — Возможно, кому-то из вас это имя уже знакомо».

Спустя несколько дней мы оказались в ущелье Губбио, залитом ярким средиземноморским солнцем и наполненным шумом мчавшихся неподалеку машин. Стоя перед группой студентов, Альварес показал нам точное место, где зародилась астероидная теория вымирания динозавров. Сокурсники то и дело поддразнивали меня: после того как я представился Альваресу и он вспомнил наш телефонный разговор пятилетней давности, с моего лица не сходила улыбка. Этот день врезался мне в память как одно из важнейших мгновений начала моей научной карьеры. Тогда я уже точно знал, что тайна исчезновения динозавров никогда не оставит меня в покое.

Но, как ни парадоксально, в аспирантуре я занимался главным образом становлением динозавров как господствующей группы животных на суше, а также происхождением и ранней эволюцией птиц

(единственной современной группы животных — прямых потомков динозавров). А изучением вымирания древних ящеров я смог заняться лишь в 2012 г., перед окончанием аспирантуры. Именно тогда РИЧАРД БАТЛЕР (Richard Butler), палеонтолог из Бирмингемского университета в Англии, исследовавший эволюционное развитие животных с помощью статистических методов, сделал мне заманчивое предложение — объединив нашу эрудицию в области биоразнообразия динозавров и аналитических технологий, по-новому взглянуть на эволюционные изменения этих рептилий в течение 10–15 млн лет, предшествовавших их вымиранию.

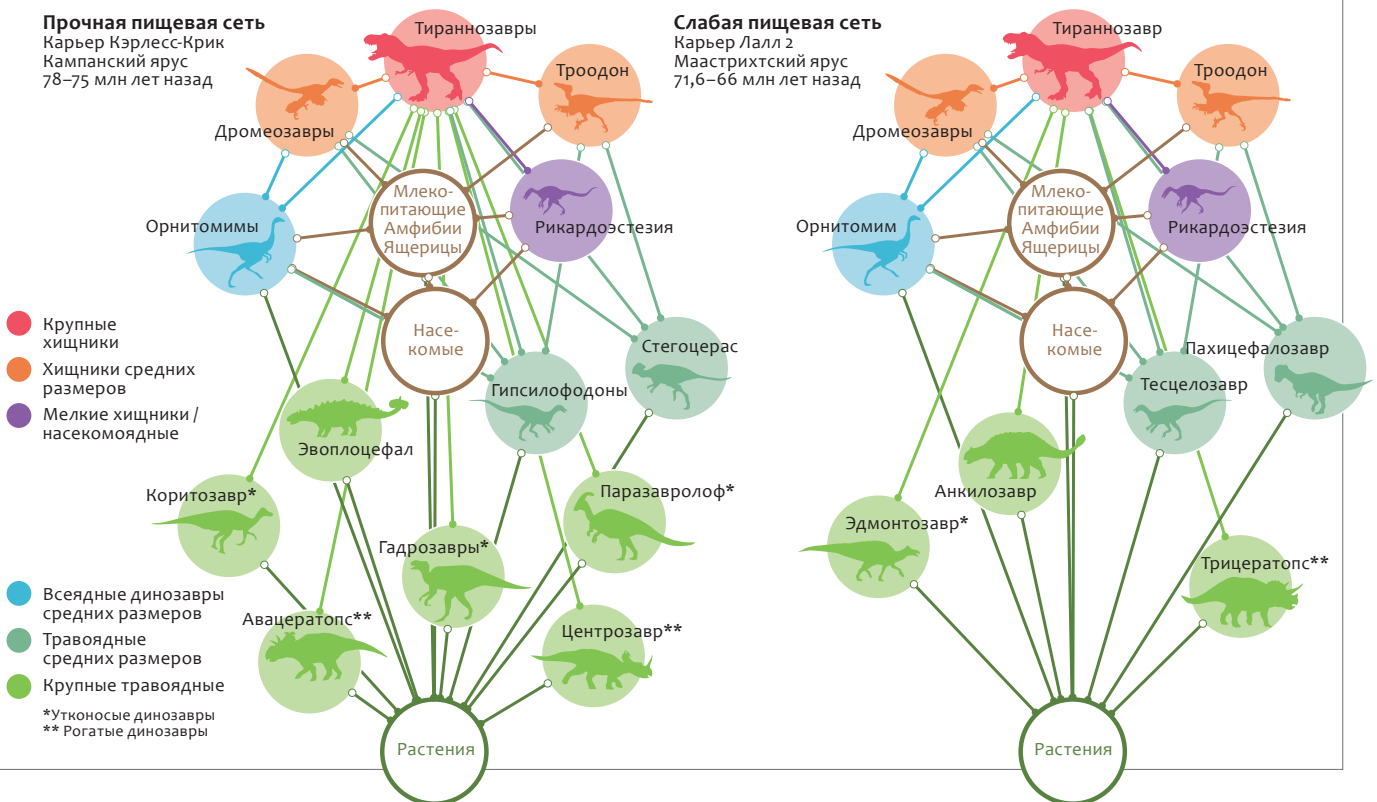
Мы решили изучить эволюционную изменчивость динозавров с помощью анализа так называемого морфологического разнообразия. Эту характеристику можно считать анатомическим мерилем биоразнообразия: она позволяет количественно оценить изменчивость размеров, формы и строения тела в той или иной группе живых существ на протяжении определенного отрезка времени или в разных экосистемах. Представьте себе две экосистемы, одна из которых населена 15 видами мелких грызунов, а другая — всего лишь одним видом летучих мышей, одним видом газелей и слонами. Хотя первая экосистема содержит большее число видов, животные, обитающие во второй экосистеме, будут отличаться большим разнообразием размеров и форм тела, а также поведения. Морфологическое разнообразие нередко отражает жизнеспособность и биоразнообразие групп животных гораздо точнее, чем простой подсчет видов. Увеличение или стабильность этого показателя в конце мелового периода могло бы указывать на то, что ко времени падения астероида дела у динозавров шли вполне успешно. С другой стороны, снижение морфологического разнообразия свидетельствовало бы о том, что и без падения с неба каменной глыбы существование рептилий находилось под серьезной угрозой.

Полученные нами результаты оказались довольно любопытными. На протяжении 10–15 млн лет, предшествовавших падению астероида, большинство динозавров обнаруживали сравнительно стабильное морфологическое разнообразие;

ПОСЛЕДСТВИЯ

Рванные пищевые сети

Компьютерное моделирование пищевых сетей, сложившихся в конце мелового периода в двух североамериканских местах обитания динозавров — карьере Кэрлесс-Крик в штате Монтана и более молодом карьере Лалл 2 в Вайоминге, — заставляет предполагать, что упадок рогатых и утконосых динозавров должен был сильно повлиять на положение других видов ящеров. Эти крупные растительноядные рептилии составляли ключевые звенья пищевых цепей, и их исчезновение destabilizировало пищевые сети, сделав остальных динозавров более уязвимыми к пагубным эффектам падения астероида.



к их числу относились хищные тероподы (тираннозавры, велоцирапторы и др.), длинношеее зауроподы и небольшие и средних размеров растительноядные ящеры (например, купологоловые пахицефалозавры). Но морфологическое разнообразие двух групп динозавров к моменту падения астероида явно снижалось; это были рогатые динозавры (трицератопсы и их сородичи) и утконосные динозавры (гадрозавры). Обе группы были представлены массивными травоядными рептилиями, потреблявшими огромную массу растительного корма. Если бы вы смогли перенестись на 66 млн лет назад, вам сразу бы бросилось в глаза, что именно эти динозавры были самыми многочисленными рептилиями на суше, составлявшими ключевые звенья пищевых сетей тех далеких времен.

Могло ли снижение морфологического и видового разнообразия крупных растительноядных динозавров отразиться на других группах этих рептилий? Ответ на данный вопрос подсказало исследование, проведенное с помощью компьютерного моделирования ученым из Чикагского университета Джонатаном Митчеллом (Jonathan Mitchell). Митчелл и его сотрудники воссоздали пищевые сети, характерные для некоторых из заселенных динозаврами экосистем мелового периода, и смоделировали события, которые могли бы произойти после вымирания нескольких видов динозавров. Результат оказался ошеломляющим: пищевые сети, существовавшие на планете во времена

падения астероида и включавшие меньшее число видов крупных растительноядных динозавров из-за снижения их разнообразия, разрушались гораздо легче и быстрее, чем более богатые видами пищевые сети, существовавшие за несколько миллионов лет до катастрофы.

Как нельзя нектати

Пораженные обилием новых научных сообщений о вымирании динозавров, Батлер и я задумали осуществить довольно рискованный проект: собрать группу ведущих специалистов по динозаврам, усадить их за стол переговоров и сообща обсудить богатейшую информацию, накопленную к настоящему времени о вымирании рептилий, чтобы прийти к некоему консенсусу о причинах этого события. Поначалу мы относились к данной идее скорее как к шутке: ведь палеонтологи спорят об исчезновении динозавров уже долгие десятилетия, и не слишком ли много, в конце концов, мы думаем о себе, чтобы браться за решение таких проблем? Скорее всего, наш сомнительный проект просто напросто зайдет в тупик или — того хуже — завершится громкой ссорой и смертельными обидами. В действительности все получилось наоборот. Наша группа, включавшая 11 ученых из США, Канады и Великобритании, фактически пришла к единодушному решению. Результаты дискуссии опубликованы в майском выпуске журнала *Biological Reviews* за 2015 г.

Рассмотрев все обстоятельства дела, мы пришли к следующим выводам. В самом конце мелового периода динозавры, похоже, чувствовали себя вполне неплохо. Ничто не указывает на то, что их общее разнообразие (количество видов и морфологическое разнообразие) за многие миллионы лет постепенно сократилось. В самом конце мелового периода на Земле по-прежнему обитали все основные группы динозавров. Можно думать, что в Северной Америке, где обнаружены наиболее полные ископаемые останки этих рептилий, свидетелями столкновения планеты с астероидом были тираннозавры, трицератопсы и многие другие их сородичи. Такой вывод опровергает популярную некогда гипотезу о постепенном вымирании динозавров вследствие долговременных колебаний уровня моря и глобальной температуры, сильно изменивших доступные для них площади суши и типы кормов. Напротив, в масштабе геологического времени вымирание динозавров произошло очень быстро и резко. А потому логично заключить, что виновником катастрофы стало какое-то внезапное и кратковременное событие — скорее всего, падение астероида.

Но, как мы и предположили на основании своих ранних исследований, одним только астероидом дело не ограничилось. В конце мелового периода разнообразие крупных травоядных динозавров все-таки упало. Истинная причина такого сокращения пока неизвестна, но, скорее всего, она связана с кратковременным падением уровня моря, которое на несколько последних миллионов лет их существования на планете сильно изменило наземные ландшафты — по крайней мере, в Северной Америке. Такие изменения среды обитания и характера растительности первыми ощутили на себе самые многочисленные рогатые и утконосые ящеры. Снижение их разнообразия и численности, по-видимому, имело самые серьезные последствия для экосистем: расшатав основы пищевых сетей, оно увеличивало вероятность того, что вымирание всего-навсего нескольких видов животных вызовет каскад исчезновения других живых существ и тем самым сделает экосистемы более уязвимыми к коллапсу.

Таким образом, астероид, похоже, рухнул на Землю в самое тяжелое для динозавров время. Случись это событие на несколько миллионов лет раньше, до сокращения разнообразия крупных травоядных ящеров, экосистемы, обладавшие достаточным запасом прочности, вполне смогли бы выдержать этот удар. Произойди оно на несколько миллионов лет позднее, травоядные динозавры, возможно, восстановили бы свое разнообразие и численность — точно так же, как они это делали несметное число раз на протяжении предшествовавших 150 млн лет своей эволюции. Падение с неба громадного астероида всегда некстати, но астероид, уничтоживший динозавров, столкнулся с Землей

в наиболее неподходящий для них час. Небольшой сдвиг в хронологии — и, возможно, динозавры бродили бы по планете и сегодня.

Отголоски событий, произошедших 66 млн лет назад, когда прилетевшая из ниоткуда огромная глыба из камня и льда рухнула на территории современной Мексики, дошли и до наших дней. Массовое вымирание видов стало величайшей трагедией в истории Земли, но оно расчистило путь для эволюции новых видов растений и животных. Вымирание динозавров дало возможность млекопитающим, которые более 100 млн лет жили в их тени, стать господствующей группой животных на планете. Их бурная эволюция началась почти сразу же после исчезновения динозавров. Млекопитающие быстро увеличились в размерах, освоили множество новых типов корма, выработали новые формы поведения и расселились по всему свету. Данный процесс в конце концов привел к появлению наших далеких предков — первых приматов. Удалите из этой исторической цепной реакции любое из звеньев — и на планете сегодня, возможно, не было бы людей.

Но вымирание динозавров — не просто одно из тех событий далекого прошлого, которые заставляют нас задуматься о роли случайностей в эволюционном процессе. Оно преподносит нам и более важный урок. События, произошедшие в конце мелового периода, говорят нам о том, что даже самые благополучные и господствующие на Земле группы организмов могут исчезнуть с ее лица едва ли не в одночасье. Динозавры властвовали на суше более 150 млн лет, когда наступил их судный день — занявшее доли секунды столкновение Земли с космическим телом. И их вымиранию во многом способствовало сокращение биоразнообразия на планете до падения астероида. Современные люди живут на Земле всего несколько сотен тысячелетий, но изменяют среду с такой скоростью, что впору говорить о шестом массовом вымирании видов, сопровождающемся быстрым снижением глобального биоразнообразия. И кто знает, насколько уязвимее к внешним воздействиям мы сделаем себя в результате этого процесса. ■

Перевод: В.В. Свечников

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Альварес У., Азаро Ф. Удар из космоса // ВМН, № 12, 1990.
- T. rex and the Crater of Doom. Walter Alvarez. Princeton University Press, 1997.
- The Extinction of the Dinosaurs in North America. David E. Fastovsky and Peter M. Sheehan in GSA Today, Vol. 15, No. 3, pages 4–10; March 2005.
- The Extinction of the Dinosaurs. Stephen L. Brusatte et al. in Biological Reviews, Vol. 90, No. 2, pages 628–642; May 2015.
- Видеофильм о вымирании динозавров см. по адресу: ScientificAmerican.com/dec2015/dinosaurs



НАУКА
ТЕЛЕКАНАЛ

ЦИКЛ ДОКУМЕНТАЛЬНЫХ ФИЛЬМОВ

ЭВОЛЮЦИЯ

С АЛЕКСАНДРОМ КАПЛАНОВ

СМОТРИТЕ ОСЕНЬЮ
НА ТЕЛЕКАНАЛЕ «НАУКА»



vk.com/tv_nauka



facebook.com/nauka20



youtube.com/c/naukatv



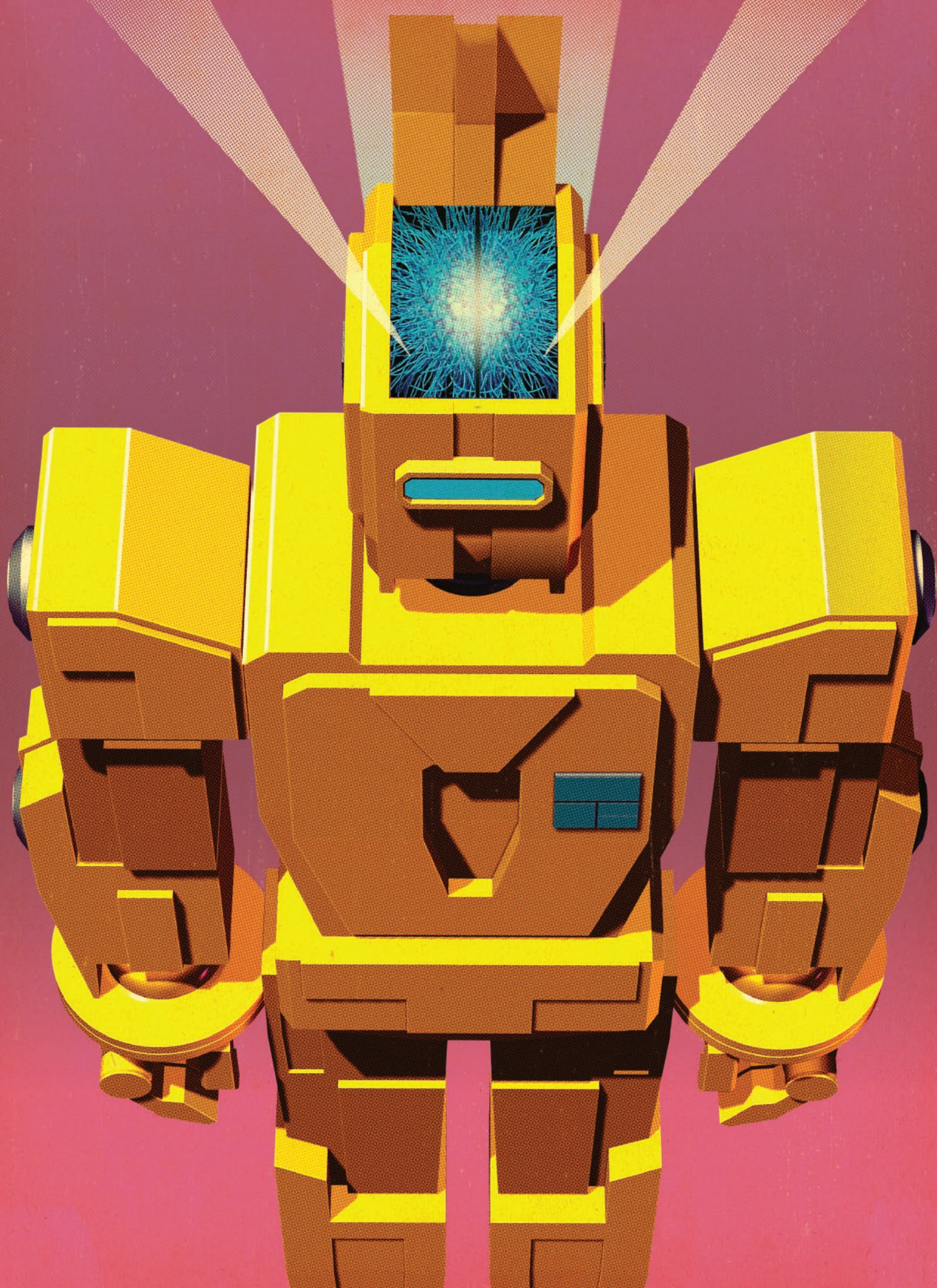
naukatv.ru

СПРАШИВАЙТЕ У ОПЕРАТОРОВ ПЛАТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ



ПОЗНАНИЕ

6+

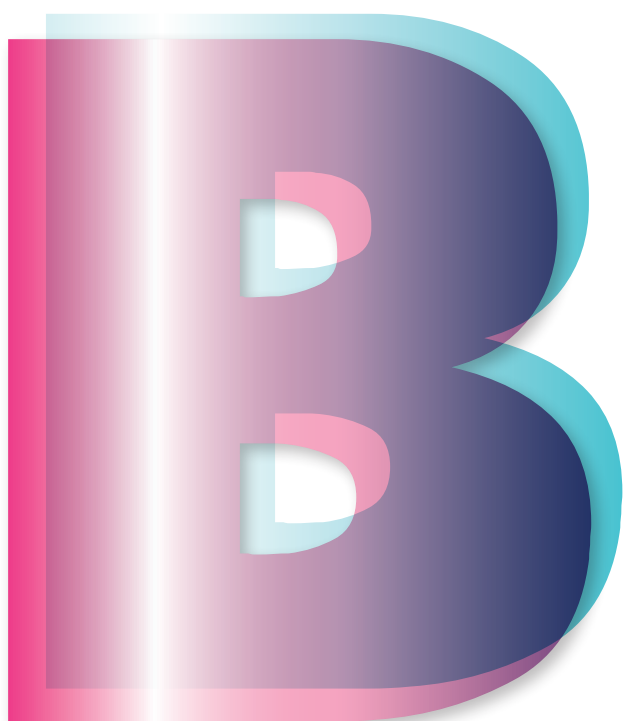


РАС- ЩВЕТ ИИ

СПЕЦИАЛЬНЫЙ
РЕПОРТАЖ

Перспективы появления самоуправляющихся автомобилей и самообучающегося программного обеспечения вновь пробудили интерес к искусственному разуму — а заодно и страхи, что наши машины однажды окажутся способными восстать против нас

КОМПЬЮТЕРЫ ТОЖЕ УЧАТСЯ



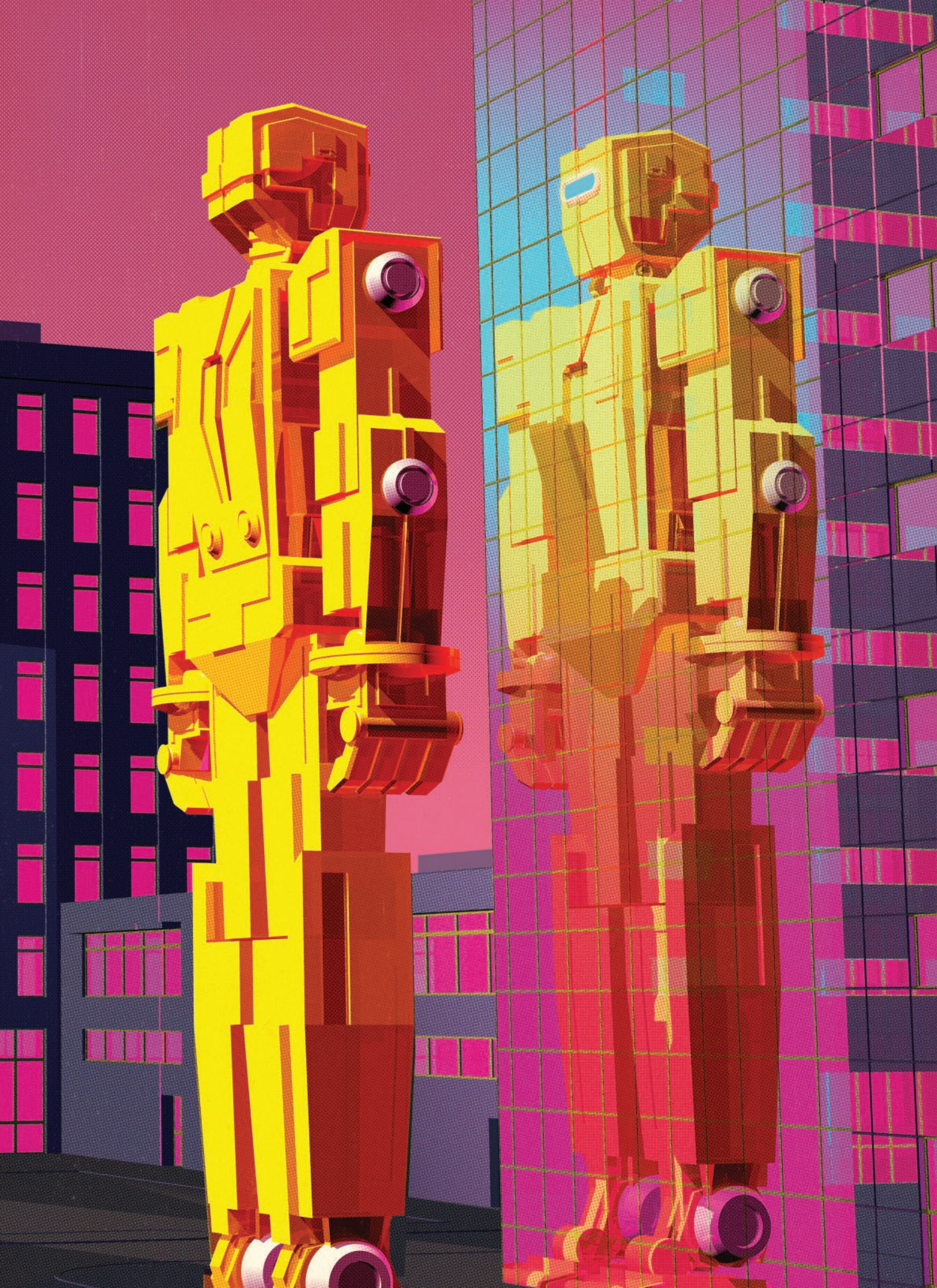
После нескольких десятилетий разочарования искусственный интеллект благодаря мощной технологии глубинного обучения вышел из тени и готов оправдать надежды, которые в свое время на него возлагались

Джошуа Бенджо

1950-е гг. компьютеры наделали много шума, после того как им удалось обыграть человека в шашки и доказать теорему. В 1960-е гг. появилась надежда на то, что ученые совсем скоро создадут модель человеческого мозга в аппаратном и программном исполнении, а так называемый искусственный интеллект наконец-то сможет справиться с любой задачей не хуже человеческого мозга. В 1967 г. Марвин Минский из Массачусетского технологического института (к сожалению, почивший в январе нынешнего года) торжественно провозгласил, что искусственный интеллект появится уже буквально через считанные десятилетия.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Впервые искусственный интеллект (ИИ) стал предметом серьезного изучения в середине 1950-х гг. В те времена ученым казалось, что он обязательно будет создан в ближайшем будущем.
- Надежды развеялись, когда оказалось, что решить эту задачу нельзя из-за слабой алгоритмической и вычислительной базы. Скептики отказались от исследований ИИ, считая идею фантастичной.
- Сдвиги, наблюдающиеся в последние годы после появления ПО, имитирующего работу нейронов головного мозга, говорят о том, что ИИ готов оправдать возлагавшиеся на него надежды.
- Глубинное обучение — метод, использующий гигантские нейронные сети, — позволяет научить компьютер абстрагированию и выполнять некоторые задачи не хуже человека.



ОБ АВТОРЕ

Джошуа Бенджо (Yoshua Bengio) — профессор информатики в Монреальском университете, один из пионеров в области разработки методов глубокого обучения, которые в настоящее время реанимировали интерес ученых к исследованиям в области искусственного интеллекта.



Ожидания оказались явно завышенными. Правда, ученым все-таки удалось кое-что создать, например программное обеспечение, помогающее врачам диагностировать заболевания, а также сети, имитирующие работу человеческого мозга и предназначенные для распознавания фотографий. Однако в те времена алгоритмы были слишком примитивными и им не хватало необходимого количества входящих данных. К тому же вычислительные мощности компьютеров, необходимые для имитации работы головного мозга, на тот момент не шли ни в какое сравнение с мощностью человеческого мозга.

Неудивительно, что к середине первого десятилетия XXI в. мечты о создании компьютера, наделенного человеческим интеллектом, несколько поблекли. Само понятие «искусственный интеллект», казалось, перестало употребляться в научных кругах; ученые и разработчики ПО даже сравнили те времена всеобщего разочарования в искусственном интеллекте (с 1970-х гг. по 2005 г.) с затяжной зимой.

Но всего за какие-то десять лет ситуация изменилась радикально: после 2005 г. исследования в области искусственного интеллекта опять стали перспективным делом. И произошло все это благодаря концепции глубокого обучения — так называется подход к созданию компьютеров, наделенных искусственным интеллектом, черпающий вдохновение в нейробиологии. В последние годы концепция глубокого обучения стала тем самым локомотивом, который придал ускорение исследованиям в области искусственного интеллекта. Теперь крупнейшие ИТ-компании принялись вкладывать в технологию глубокого обучения миллиарды долларов.

Принцип глубокого обучения заключается в моделировании нейронных сетей, которые постепенно «учатся» распознавать изображения, понимать речь и даже самостоятельно принимать решения. Технология глубокого обучения основана на использовании так называемых искусственных нейронных сетей — основного объекта нынешних исследований в области ИИ. Нет, виртуальные, искусственные нейронные сети вовсе не представляют собой точную копию настоящих нейросетей головного мозга, и функционируют они примитивнее: в основу их работы положены общие математические принципы обучения на примерах

из обучающей выборки, что позволяет нейросетям распознавать всевозможные объекты на фотографиях (например, лица людей и т.д.) или переводить тексты, написанные на основных языках мира.

Технология глубокого обучения коренным образом изменила сам характер исследований в области ИИ, вдохнув новую жизнь в позабытые было амбициозные планы по созданию компьютерного зрения, распознаванию речи, обработке естественных языков, реализации проектов в области робототехники. Первые программы распознавания речи были созданы в 2012 г. (например, всем известный сервис *Google Now*). Затем стали появляться приложения, распознающие фотографии (данная функция в настоящее время интегрирована в сервис *Google Photos*).

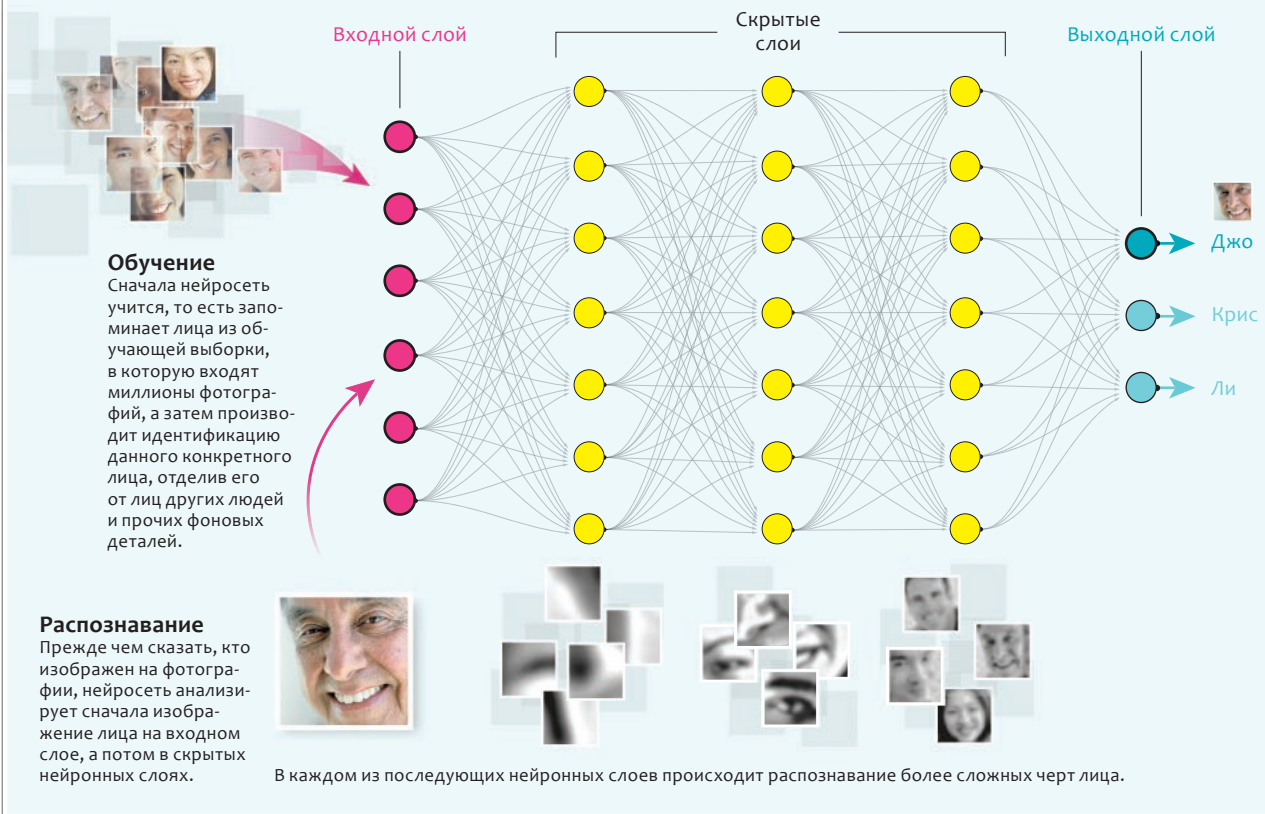
Те, кому не по нраву громоздкие телефонные меню, обязательно оценят преимущества, которыми обладают вспомогательные программы смартфона. А те, кто помнит, насколько несовершенными еще несколько лет назад были методы распознавания объектов (в те времена ПО могло, например, спокойно перепутать живое существо с неодушевленным объектом), без всяких сомнений оценят достигнутые за последнее время огромные успехи в области компьютерного зрения. Теперь у нас появились компьютеры, которые при определенных условиях способны почти как человек распознавать образы (скажем, лица) или отличать какое-нибудь животное от камня. Программное обеспечение на основе искусственного интеллекта, по сути, стало повседневностью для миллионов пользователей смартфонов. Например, я почти не набираю текст на клавиатуре; вместо этого у меня вошло в привычку разговаривать со своим гаджетом, а он, представьте, мне иногда отвечает.

Благодаря достигнутым успехам в данной области появилась возможность коммерциализировать технологии глубокого обучения; теперь мы видим, что волна энтузиазма по поводу искусственного интеллекта нарастает. В настоящее время компании пытаются в жесткой конкурентной борьбе заполучить для себя талантливых специалистов по глубокому обучению, желательно с ученой степенью; такие профессионалы оказались редким товаром, на который всегда есть высокий спрос. Коммерческие компании уже перетянули к себе из научной среды многих университетских

Умные сети становятся еще умнее

Связи между нейронами коры головного мозга вдохновили ученых на создание алгоритмов, которые смогли бы эти связи симитировать. Нейронную сеть можно научить распознавать лица. Для этого ее вначале тренируют на обучающей выборке. Сеть считается обученной только после того, как она «научилась» отличать лицо как таковое, скажем, от руки и распознавать отдельные лица, даже если они слегка отличаются от лиц, представленных в обучающей выборке.

Для распознавания лица нейросеть начинает анализировать отдельные пиксели изображения, поступающего на ее входной слой. Затем, в следующем слое, она подбирает геометрические фигуры, описывающие данное лицо. В следующих слоях иерархической нейронной структуры происходит распознавание глаз, рта и других частей лица; затем, на самом высоком уровне, происходит распознавание всего лица целиком. И, наконец, в выходном слое нейронная сеть «отгадывает», кому принадлежит лицо — Джону, Крису или Ли.



профессоров (по некоторым данным, большую часть из них), обладающих опытом работы в области глубинного обучения, предоставив им социальные пакеты и высококлассное оборудование.

И результаты не заставили себя ждать. Работы в этой области привели к потрясающим результатам. Так, например, нейронная сеть смогла одержать победу над самим Ли Седолом, одним из ведущих игроков в го, и об этом событии писали газеты всего мира. Компьютерные приложения на базе глубинного обучения теперь используются не только в играх, но и в других областях знания. Так, например, недавно был разработан алгоритм глубинного обучения, который позволяет диагностировать сердечную недостаточность на основе данных магнитно-резонансной томографии не хуже, чем это делает кардиолог.

Интеллект, накопление знаний, обучение

Почему же в предыдущие десятилетия работы в области искусственного интеллекта сталкивались с препятствиями? Причина в том, что большая часть человеческих знаний об окружающем мире не поддается формализации в виде набора четких команд, как это происходит в компьютерной программе. Именно поэтому мы не можем запрограммировать компьютер так, чтобы он мог делать многие операции, которые с легкостью доступны человеку, будь то понимание речи, распознавание изображений, перевод с одного языка на другой или управление автомобилем. Все попытки решить подобную задачу, объединив для этого разнородные данные в структурированные базы данных и создав компьютерную начинку в виде ИИ, особого успеха не принесли.

Вот на этом этапе и появилась концепция глубинного обучения. Она стала элементом «машинного обучения» — обширной области исследований ИИ, основанной на принципах, которые используются для обучения интеллектуальных вычислительных систем и в конечном счете для их самообучения. Для компьютера или человека одной из целей машинного обучения выступает поиск, как говорят математики, «хорошего» решения. Возьмем поведение животных — в этом случае «хорошее» решение должно в соответствии с принципами эволюции увеличивать шансы на выживание животного и воспроизведение себе подобных. Если говорить о человеческом обществе, то здесь «хорошими» называются такие социальные взаимодействия, которые повышают статус и благополучие особи. В случае беспилотного автомобиля «хорошее» решение зависит от того, насколько точно машина умеет подражать действиям опытного водителя.

Информацию, необходимую для принятия оптимального решения, не всегда можно представить в виде компьютерной программы. Например, мышшь обладает информацией об окружающей местности, однако ни один программист никогда не сможет создать набор пошаговых инструкций, описывающих поведение этого зверька. Но вот парадокс: вся эта информация каким-то образом содержится в мозге мышцы.

Прежде чем создавать компьютеры, способные обучать самих себя, ученые должны были разобраться, каким образом человек приобретает знания. Некоторые виды знаний врожденные, но большая их часть приобретается посредством опыта. То, что мы понимаем интуитивно, нельзя перевести в четкую последовательность компьютерных команд, но можно усвоить на практике. Начиная с 1950-х гг. ученые пытались найти и уточнить основные принципы, позволяющие животным и человеку — и даже компьютерам — приобретать знания на опыте. Цель компьютерного обучения состоит в отыскании процедур (алгоритмов обучения), которые бы позволяли компьютеру учиться на предлагаемых ему примерах, взятых из обучающей выборки.

Машинное обучение как одно из направлений компьютерных наук в значительной степени имеет экспериментальный характер, поскольку универсальных алгоритмов обучения не существует — ведь нельзя научить компьютер всему и сразу. Любой алгоритм обучения нужно сначала опробовать на отдельных задачах и наборах данных. Это утверждение относится к любой конкретной задаче, будь то распознавание заката солнца на фотографии или перевод с английского на урду. Мы не можем найти какой-то один алгоритм, который во всех ситуациях покажет себя лучше других.

Специалисты по ИИ оформили данный тезис в виде теоремы «бесплатного обеда не бывает», которая утверждает следующее: не существует такого алгоритма, который бы смог всегда и во всех задачах обучения работать успешнее других. И все же поведение человека, судя по всему, противоречит этой теореме, поскольку человеческий мозг, по-видимому, обладает какой-то универсальной способностью к обучению, что позволяет ему успешно справляться с самыми неожиданными задачами, для выполнения которых он никак не был подготовлен эволюцией, — скажем, играть в шахматы, строить мосты или же исследовать ИИ.

Столь мощные возможности, которыми обладает человеческий мозг, позволяют предположить, что он при исследовании окружающего мира берет на вооружение какие-то универсальные допущения. А что если эти принципы использовать при создании компьютера, наделенного искусственным интеллектом? Именно по этой причине разработчики искусственных нейронных сетей при проектировании интеллектуальных систем взяли за основу человеческий мозг.

Основные элементы, которые осуществляют вычисления в головном мозге, это специальные клетки — нейроны. Каждый нейрон посылает сигнал остальным через синаптические щели, то есть через микроскопические зазоры между нейронами. Способность клетки получать сигнал через синаптическую щель и амплитуда ответа на этот сигнал отражают силу синапса. Когда нейрон «обучается», сила синапса возрастает, и тогда при стимуляции электрическим током он с большей вероятностью передаст сигнал соседним клеткам.

Нейробиология способствовала появлению искусственных нейронных сетей, состоящих из виртуальных нейронов; для создания последних используется соответствующее аппаратное и программное обеспечение. С самого начала специалисты в области искусственного интеллекта в соответствии с идеями коннекционизма утверждали, что нейросети можно научить решать сложные задачи, если постепенно преобразовывать связи между нейронами так, чтобы паттерн нейронной активности изменялся в зависимости от информации на входе, например при предъявлении фотографии или фрагмента речи. По мере знакомства с новыми примерами процесс обучения будет продолжаться за счет изменения силы синаптических связей между нейронами, и это обеспечит более точное распознавание образов — таких, например, как закат.

Закатные студии

В основе работы нынешнего поколения нейронных сетей лежит новаторский подход, который называется коннекционизмом (от англ. *connection* — «связь»). В нейронных сетях числовые значения,

характеризующие силу каждого синаптического соединения (вес синапса), постепенно меняются, а с ними меняется вероятность, с которой нейрон передаст сигнал другому нейрону. При глубинном обучении сетей сила синапсов немного изменяется каждый раз, когда вводится новое изображение. Таким образом, сила синапсов все больше приближается к тем показателям, при которых нейросеть оказывается способной с большей вероятностью адекватно распознавать изображения на фотографиях.

Для получения оптимальных результатов с помощью современных алгоритмов обучения требуется непосредственное участие человека. В большинстве таких алгоритмов используется так называемое обучение с учителем; в этом случае человек сопровождает каждый учебный пример специальной меткой, раскрывающей содержание этого примера, — скажем, связывает фотографию, на которой изображен закат, со словом «закат». В рассмотренном примере алгоритм, использующий обучение с учителем, на входе берет фотографию, а на выходе предлагает название объекта, запечатленного на ней. Если говорить математическим языком, то процесс преобразования входного сигнала в сигнал на выходе называется функцией (или функцией активации нейрона). Таким образом, решением задачи по обучению нейрона будет подбор таких численных значений силы синапса, при которых система правильно выполняет функциональное преобразование.

Для получения на выходе правильных ответов можно было бы, конечно, прибегнуть и к более легкому способу — механическому запоминанию каждого отдельного случая, но это не совсем то, что нам нужно, ведь мы хотим рассказать системе, что такое «закат солнца» вообще, чтобы она могла распознавать на фотографиях любые виды закатов, даже те, которые не были представлены в обучающей выборке. Итак, алгоритм машинного обучения предназначен для распознавания любой фотографии, на которой изображен закат солнца (то есть этот алгоритм должен уметь выходить за рамки обучающей выборки), а качество обучения любой нейронной сети определяется тем, насколько она способна распознавать примеры, с которыми она раньше не сталкивалась. Сложности, связанные с корректным распознаванием объектов, существующих за пределами обучающей выборки, возникают из-за того, что таких объектов (например, фотографий, на которых засняты закаты солнца) имеется практически бесчисленное множество.

Чтобы успешно распознавать объекты, которые отсутствуют в обучающей выборке большого размера, алгоритму обучения, используемому в сетях глубинного обучения, вовсе не достаточно просто учиться на примерах; алгоритм должен уметь

выстраивать гипотезы о полученной информации, делать предположения о том, каким могло бы быть возможное решение конкретной задачи. В алгоритм программного обучения необходимо вставить следующее требование: если входящие сигналы отличаются друг от друга не сильно, тогда результат на выходе тоже не должен радикально измениться; скажем, если на фотографии кошки изменилось всего несколько пикселей, то из-за этого кошка не должна превратиться в собаку.

Один из типов нейросети, которая порождает гипотезы об изображениях, называется «сверточная нейронная сеть»; именно появление этой технологии способствовало возрождению искусственного интеллекта. У сверточной нейросети, используемой при глубинном обучении, имеется множество нейронных слоев, расположенных таким образом, что данные на выходе из сети не сильно отличаются при разных способах изображения одного и того же распознаваемого объекта. Скажем, хорошо обученная нейронная сеть должна уметь распознавать на фотографиях лицо под разными углами вне зависимости от небольших поворотов головы. Протообразом сверточной нейросети послужила многослойная структура зрительной коры головного мозга (в эту часть мозга поступают сигналы от глаз). Благодаря большому числу нейронных слоев (то есть «глубине» сети) сверточная нейронная сеть называется глубинной. Она позволяет человеку лучше рассмотреть окружающий мир.

Ныряем в глубину

Первые достижения в области глубинного обучения появились около десятка лет назад в отдельных инновациях. Правда, в те времена интерес к искусственному интеллекту и нейронным сетям был низким как никогда — и такая ситуация существовала на протяжении нескольких десятилетий. Интерес к этой области искусственного интеллекта помог возродить Канадский институт перспективных исследований (CIFAR), финансируемый государством и частным бизнесом. Эта организация выступила спонсором исследовательской программы, которую возглавил Джеффри Хинтон (Geoffrey Hinton) из Торонтского университета. В проекте также участвовали Ян Лекун (Yann LeCun) из Нью-Йоркского университета, Эндрю Бин (Andrew Ng) из Стэнфордского университета, Бруно Ольсхаузен (Bruno Olshausen) из Калифорнийского университета в Беркли, я и еще несколько человек. В те времена данная область исследований считалась неперспективной, по этой причине студенты в нее не стремились, но кое-кто все равно продолжал в ней работать, несмотря ни на что.

В те времена скептическое отношение к нейросетям как области бесперспективной объяснялось отчасти их трудной обучаемостью в силу проблем, связанных с оптимизацией их работы. Напомним,

что теория оптимизации — это область математики, которая занимается поиском нужной комбинации параметров для нахождения целевой функции. В нашем случае искомые параметры — это вес синапсов, то есть значимость сигналов, передаваемых другим нейронам.

Нейронная сеть должна осуществлять прогнозирование с минимальным количеством ошибок. Если зависимость нейронной сети от параметров достаточно проста, точнее, если функция активации есть выпуклая функция от параметров, значения параметров можно постепенно откорректировать. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока они не приблизятся к значениям, при которых осуществляется оптимальный выбор (здесь у функции ошибки будет глобальный минимум), — этот минимум будет соответствовать наименьшей ошибке предсказания, сделанной сетью.

И все же обучение нейронной сети — дело не простое; в этом процессе может потребоваться использование «выпуклой оптимизации». Данный вид оптимизации представляет собой гораздо более сложную задачу, которая, по мнению многих специалистов, трудноразрешима. Алгоритм обучения может застрять в области локального минимума функции ошибки и потому не выполнить минимизацию ошибки предсказания нейросети после небольшой подстройки параметров.

Миф о том, что нейронные сети трудно обучить из-за локальных минимумов функции ошибки, был развеян только в прошлом году. В ходе нашего исследования мы обнаружили, что если нейронная сеть достаточно велика, то задача нахождения локальных минимумов значительно упрощается. Большая часть локальных минимумов фактически соответствует приобретенному знанию на уровне, который почти совпадает с оптимальным значением глобального минимума.

На теоретическом уровне проблемы оптимизации разрешимы, однако на практике построить большую нейронную сеть, число слоев у которой превышало бы два или три, зачастую не удавалось. И только после 2005 г. при поддержке CIFAR в методах решения этой задачи произошел прорыв. В 2006 г. нам удалось обучить более глубокие области нейронной сети при помощи специальной методики послонного продвижения по нейронным слоям.

В 2011 г. мы предложили более совершенный метод обучения нейросетей большей глубины (то есть сетей, обладающих еще большим количеством слоев виртуальных нейронов) путем изменения характера вычислений, выполняемых каждой из обрабатывающих единиц, в результате чего их работа стала еще больше напоминать работу биологических нейронов. Мы также обнаружили, что случайный шум, добавленный во время обучения к сигналам, передаваемым через нейроны, имитирует процессы, происходящие в человеческом мозге, помогая нейронам лучше обучаться распознаванию изображений или звуков.

Успеху, который сопутствовал методам глубокого обучения, способствовали два следующих важных фактора. Во-первых, благодаря блокам графической обработки изображений, которые сначала использовались в видеоиграх, удалось десятикратно увеличить скорость компьютерных вычислений; в результате стало возможно большим нейросетям проходить обучение в оптимальные, разумные сроки. Кроме того, распростра-

Внезапное возвращение интереса к глубинным нейронным сетям после многих лет заброшенности, в которой пребывали исследования в области искусственного интеллекта, не только свидетельствует об очередном технологическом прорыве, но и послужит хорошим уроком, который нужно усвоить специалистам по социологии науки

нению технологии глубокого обучения способствовало наличие огромных массивов меченных данных, для которых алгоритм обучения умеет определять правильный ответ (в результате анализа фотографии, на которой кроме всех других объектов изображена кошка, алгоритм выдает корректный ответ: «кошка»). Во-вторых, еще одна причина недавнего успеха глубокого обучения заключается в его способности учиться последовательно осуществлению вычислений, с помощью которых можно пошагово строить или анализировать изображения, звуки или иные виды данных. В этом случае глубина сети определяется количеством шагов. Для решения многих задач распознавания аудио- и видеoinформации, в которых искусственный интеллект как раз и демонстрирует свою мощь, требуются глубинные сети с большим количеством нейронных слоев. В теоретических исследованиях и экспериментах, проводившихся

в последнее время, нами было показано, что некоторые из этих математических операций не могут корректно выполняться, если глубина нейросети недостаточна.

Каждый слой глубокой нейросети преобразует входящий сигнал и передает исходящий сигнал следующему слою нейронов. Более глубокие нейронные слои (то есть слои, удаленные от входного слоя еще сильнее) отвечают за формирование более абстрактных понятий. Как показали эксперименты, нейроны, расположенные в более глубоких областях нейронной сети, как правило, отвечают за формирование более абстрактных семантических понятий, в том числе, скажем, визуальных объектов (например, «стол»). Особенность более глубоких слоев нейросети состоит в том, что они могут распознать объект, например стол, даже в том случае, если его образ отсутствовал в обучающей выборке. В свою очередь, «стол» тоже может оказаться промежуточным понятием для другого, более абстрактного понятия, например «офисное помещение» (часть которого — стол).

Распознавание динамических образов

До недавнего времени искусственные нейронные сети использовались в значительной степени для распознавания статичных образов. Однако постепенно получил известность другой тип нейросетей — рекуррентные нейронные сети, которые стали применяться в основном для анализа процессов, протекающих во времени. В частности, такие сети оказались способны корректно выполнять обработку аудио- и видеоизображений, а также некоторых других видов информации. Последовательные данные состоят из блоков (фонем, слов), которые следуют друг за другом. Процесс обработки входных сигналов с помощью рекуррентных нейросетей имеет сходство с работой мозга, ведь и в головном мозге во время обработки информации, поступающей от органов чувств, происходит постоянное изменение сигналов, циркулирующих между нейронами. Получается, что состояние каждого нейрона во внутренних слоях постоянно меняется в зависимости от мощности сигналов, поступающих в головной мозг из внешней среды, а на выходе мы получаем последовательность команд, которые инициируют двигательную активность разных частей тела, направленную на достижение конкретной цели.

Рекуррентные нейронные сети способны предсказывать, например, каким будет следующее слово в предложении, а оно, это слово, в свою очередь тоже может использоваться для генерирования новых последовательностей слов. Кроме того, с помощью рекуррентных нейронных сетей можно решать и более сложные задачи. Скажем, одна нейросеть, «прочитав» все новые слова предложения, передаст с некоторой вероятностью смысл всего

предложения, а другая такая же сеть осуществит семантическую обработку данных первой сети, чтобы, например, перевести какую-нибудь фразу с одного языка на другой.

С конца 1990-х и до начала 2000-х гг. в области исследования рекуррентных нейронных сетей наблюдалось затишье. В одной из работ мною было установлено, что у нейронных сетей возникнут проблемы в ходе обучения операциям по извлечению элементов, стоящих в начале обрабатываемой последовательности. Здесь аналогия такая: представьте, что вы уже прочитали книгу и нужно вспомнить те слова, которые стояли в самом ее начале. Но благодаря определенным успехам некоторые из этих задач были решены, после того как сети научились сохранять информацию в течение длительного времени. Нейросети могут использовать временную память компьютера для обработки нескольких рассредоточенных кусков информации (например, идеи, содержащиеся в различных предложениях, разбросанных по документу).

Внезапное возвращение интереса к глубинным нейронным сетям после многих лет заброшенности, в которой пребывали исследования в области искусственного интеллекта, не только свидетельствует об очередном технологическом прорыве, но и послужит хорошим уроком, который нужно усвоить специалистам по социологии науки. В частности, здесь можно сделать следующий вывод: необходимо оказывать поддержку тем идеям, которые бросают вызов ныне существующему технологическому укладу; иногда необходимо даже поощрять исследования в тех областях человеческого знания, к которым ученые, казалось бы, полностью потеряли всякий интерес. ■

Перевод: И.В. Ногаев

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. Alex Krizhevsky et al. Presented at the 26th Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2012), State-line, Nev., December 3–8, 2012.
- Representation Learning: A Review and New Perspectives. Y. Bengio et al. in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 35, No. 8, pages 1798–1828; August 2013.
- Deep Learning. Yann LeCun et al. in Nature, Vol. 521, pages 436–444; May 28, 2015.
- When Computers Surpass Us. Christof Koch; Consciousness Redux, Scientific American Mind, September/October 2015.
- Рассказ Джошуа Бенджо про обучение глубинных нейронных сетей см. по адресу: <http://www.scientificamerican.com/article/want-to-know-about-deep-learning-and-ai-check-this-out/>



ТРАНСПОРТ

ПРАВДА О «САМО- ХОДНЫХ» АВТО- МОБИЛЯХ

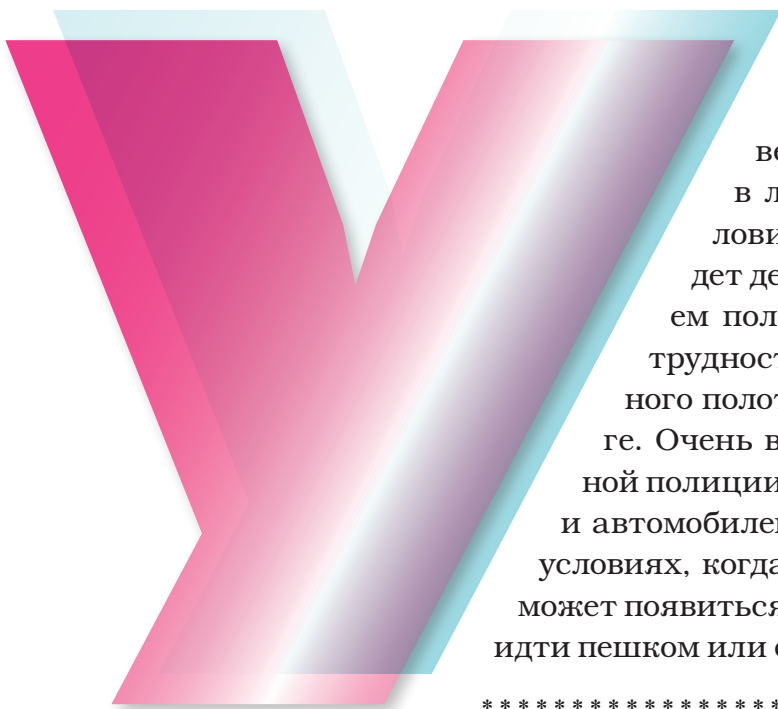
СПЕЦИАЛЬНЫЙ
РЕПОРТАЖ

Они приходят, но все происходит совсем не так, как нас убеждали

Стивен Шлэдовер

ОБ АВТОРЕ

Стивен Шлэдовер (Steven E. Shladover) — инженер-механик, получивший степени бакалавра, магистра и доктора в Массачусетском технологическом университете, и участник программы «Калифорнийские партнеры по созданию передовых транспортных технологий» (PATH) Института транспортных исследований Калифорнийского университета в Беркли.



же в скором времени электронные шоферы смогут в любое время совершенно безопасно доставлять нас в любое выбранное место, но при условии, что на маршруте не нужно будет делать левых поворотов с пересечением полос встречного движения. Большие трудности представляет и состояние дорожного полотна, в частности снег и лед на дороге. Очень важно будет также избегать дорожной полиции, регулировщиков движения у школ и автомобилей экстренных служб. А в городских условиях, когда перед вашим автомобилем вполне может появиться человек, вы, пожалуй, предпочтете идти пешком или ехать на метро.

Все перечисленные повседневные ситуации, простые для водителя-человека, представляют собой огромные трудности для компьютера, и для разрешения этих трудностей понадобятся время, деньги и усилия. Однако многие люди убеждены, что полностью автоматизированные автомобили уже практически за углом.

Чем вызвана эта нестыковка? Часть проблемы лежит в терминологии. СМИ без разбора применяют определения «автономный», «безводительный» и «самоуправляющийся» к сильно различающимся

технологиям, размывая важные различия. Представители автомобильной промышленности тоже не помогают прояснить дело. Рекламщики, работающие на автомобильную промышленность, поставщиков оборудования и технологические компании, тщательно составляют материалы таким образом, чтобы поддерживать широкий круг истолкований степени автоматизации управления автомобилем, которую обеспечивает рекламируемая ими продукция. Журналистов, освещающих эту область, подталкивают к наиболее

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ



















- Автомобильная промышленность и пресса настойчиво рекламируют самоуправляющиеся автомобили. Однако даже простые дорожные ситуации представляют собой большие трудности для компьютеров, и ждать полностью автоматического шофера предстоит еще не одно десятилетие.
- Проблематичны даже такие автоматизированные системы управления автомобилем, которые подразумевают присутствие человека «на подхвате». Однако автоматические системы, применимые в пределах ограниченного круга условий, появятся уже в следующем десятилетии.
- Что же касается автоматических систем парковки, тихих маршрутов для студенческих городков, автоматических систем управления колоннами тяжелых грузовиков и систем управления для скоростных автострад, то их появление осуществимо и, возможно, неизбежно.

СИСТЕМАТИКА

Уровни автоматизации

Говоря об автоматических системах управления, представители автомобильной промышленности и СМИ смешивают понятия. Термины «автономный», «безводительный» и «самоуправляющийся» больше запутывают, чем проясняют дело. Чтобы внести ясность, SAE International сформулировала определение для различных уровней зависимости системы от уча-

стия водителя и представила их в виде изображенной ниже таблицы. Эта иерархия выявляет некоторые неожиданности. Например, четвертый уровень автоматизации осуществить легче третьего. Реализации же пятого уровня — электронного водителя, способного справляться с любой ситуацией без помощи человека, — предстоит ждать еще многие десятилетия.

	Ситуацию контролирует человек			Ситуацию контролирует система		
	0	1	2	3	4	5
	Никакой автоматизации	Помощь водителю	Частичная автоматизация	Условная автоматизация	Высокая степень автоматизации	Полная автоматизация
Отсутствие любых вспомогательных средств вроде адаптивного круиз-контроля.		Системы помогают водителю выдерживать скорость или удерживаться на полосе движения, но управляет автомобилем человек.	Сочетание автоматического управления курсом и скоростью, например круиз-контроля и удержания на полосе движения.	Ведут автомобиль и контролируют ситуацию автоматические системы, но в критических ситуациях им должен помочь человек.	Автоматические системы выполняют все операции по управлению автомобилем, но только в ограниченном круге ситуаций.	Истинный электронный шофер, управляющий автомобилем и не нуждающийся во вмешательстве человека ни в каких ситуациях.
Кто управляет, разгоняет машину и тормозит	 Человек	 Человек и система	 Система	 Система	 Система	 Система
Кто контролирует дорожную ситуацию	 Человек	 Человек	 Человек	 Система	 Система	 Система
Кто берет на себя управление в критических ситуациях	 Человек	 Человек	 Человек	 Человек	 Система	 Система
Какая часть управления автоматизирована	Никакая	Некоторые функции	Некоторые функции	Некоторые функции	Некоторые функции	Все функции

оптимистичным прогнозам — просто как к наиболее впечатляющим. Результат действия этой петли обратной связи — рост нереалистичных ожиданий. Эта путаница прискорбна, поскольку автоматическое управление уже внедряется и может спасти много жизней, уменьшить загрязнение атмосферы и сэкономить топливо. Но придет оно совсем не так, как вам рассказывали.

Что такое автоматическое управление

Управление автомобилем — дело гораздо более сложное, чем кажется большинству людей. Оно включает в себя широкий круг знаний и действий. Какие-то из них автоматизировать просто, другие же крайне сложно. Поддержание постоянной скорости на свободной дороге — дело нетрудное, и именно поэтому обычные системы

SOURCE: SAE INTERNATIONAL (WWW.SAE.ORG/MISC/PDF/AUTOMATED_DRIVING.PDF); FOR DOCUMENTATION, INCLUDING ORIGINAL DEFINITIONS IN REFERENCE; SEE ADDITIONAL DEFINITIONS FOR TERMS RELATED TO ON-ROAD MOTOR VEHICLE AUTOMATED DRIVING SYSTEMS. SAE INTERNATIONAL, JANUARY 2014; Illustrations by Nigel Holmes (copy)

круиз-контроля исполняют его автоматически уже много лет. С развитием техники инженеры сумели автоматизировать и некоторые другие функции управления. Стали доступными адаптивные системы круиз-контроля, обеспечивающие поддержание заданной скорости и безопасной дистанции до впереди идущего транспортного средства. В новых моделях *Mercedes-Benz* и *Infiniti* имеются системы удержания на полосе движения, оснащенные видекамерами, датчиками и приводами рулевого механизма. Сегодняшние автомобили очень умны. Но до полной автоматизации управления автомобилем еще очень далеко.

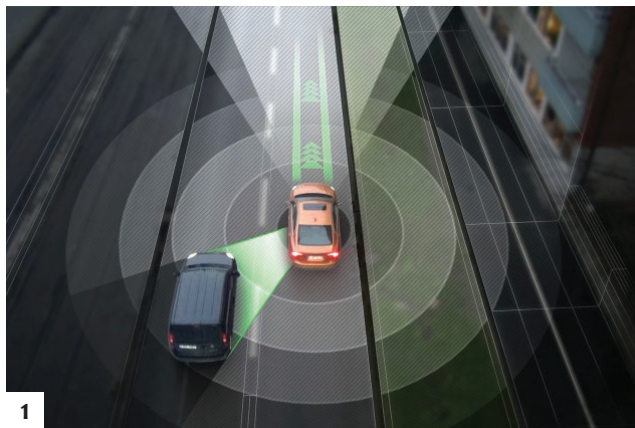
Разобраться с нашими представлениями об автоматическом управлении автомобилем поможет пятиуровневая классификация, введенная Международным обществом инженеров автомобильной промышленности (*SAE International*). Первые три уровня (не считая нулевого, то есть полного отсутствия автоматизации) занимают технологии, предусматривающие вмешательство человека в критических ситуациях. К первому уровню относятся адаптивные системы круиз-контроля, удержания на полосе движения и им подобные. В системах второго уровня функции технологий первого — продольного и поперечного управления удержанием на полосе движения и адаптивного круиз-контроля — комбинируются для автоматизации более сложных задач управления. Такие системы уже используются в некоторых серийных автомобилях. Системы третьего уровня позволяют водителю включать автопилот в некоторых ситуациях, например в заторах на магистралях.

Следующие два уровня радикально отличаются тем, что их системы работают без всякого участия человека. Системы четвертого уровня — высокой степени автоматизации — самостоятельно выполняют все функции управления, но только в строго ограниченных ситуациях, например на закрытых автостоянках или выделенных полосах автострад. Наконец, верхний уровень — это полностью самостоятельный автомобиль. Предположительно, многие люди именно это имеют в виду, когда слышат, что кто-либо (например, главный управляющий компании *Nissan*) уверенно заявляет, что автоматические автомобили появятся на дорогах к 2020 г.

Правда состоит в том, что на деле никто не ожидает появления систем пятого уровня на рынке к этому сроку. Ждать их, по всей вероятности, придется еще очень долго. Не скоро могут появиться даже и системы третьего уровня. А как насчет четвертого? Их можно ждать в следующем десятилетии. Чтобы понять, чем это объясняется, необходимо поговорить о программном обеспечении.

Кошмар для программистов

Вопреки распространенному мнению, способность водителей избежать серьезных аварий



1



2

В следующем году Volvo Cars проведет полевые испытания 100 автомобилей, оснащенных системами автоматического управления на выделенных участках автотрасс (1 и 2). Автомобили Volvo использовались также в европейских испытаниях автоколонн (3).

удивительно высока. Согласно статистическим данным по США, одно ДТП с человеческими жертвами приходится на 3,3 млн часов вождения, а одно столкновение с повреждением машины — примерно на 64 тыс. часов вождения. Эти цифры задают уровень требований к безопасности для автоматизированных систем управления автомобилем: они должны быть не менее безопасными, чем водитель-человек. Достижение этого уровня надежности потребует гораздо большего объема разработок, чем готовы допустить энтузиасты автоматизации управления автомобилем.

Припомните, как часто зависает ваш ноутбук. Если бы его программное обеспечение отвечало за управление автомобилем, «синий экран смерти» значил бы гораздо больше, чем просто оборот речи. В условиях дорожного движения запаздывание реакции по на 0,1 с может быть очень опасным. Поэтому ПО для автоматизации управления автомобилем должно разрабатываться на основе стандартов гораздо более жестких, чем все, что встречается в современной потребительской аппаратуре.



3

Обеспечение этих стандартов будет исключительно трудной задачей и потребует фундаментальных прорывов в разработке программ и обработке сигналов. Инженерам потребуются новые методы разработки ПО, которое обеспечивало бы корректность решений и безопасность даже в случае сложных и быстро изменяющихся ситуаций. Формальные методы анализа любых возможных видов отказов для любого участка программного обеспечения еще до его написания существуют (рассматривайте их как математические доказательства для компьютерных программ), но только для очень простых приложений. Специалисты только начинают думать о том, как усовершенствовать все эти виды испытаний, чтобы они позволили подтвердить невероятно сложные программы, требуемые для полностью автоматизированного управления автомобилем.

Когда эта программа будет создана, понадобятся новые методы отладки и проверки ПО. Существующие методы слишком трудоемки и дороги для этой работы. Чтобы нагляднее показать это, укажу, что половина стоимости современных гражданских и военных самолетов приходится именно на отладку и утверждение ПО, при том что это бортовое ПО гораздо проще требуемого для автоматического управления автомобилем. Инженер может проектировать ПО для автопилота исходя из того, что ситуации, когда в воздушном пространстве один или два других самолета будут находиться близко, возникнут крайне редко, а могут и вовсе не встретиться. Ему не нужно будет с невероятной точностью знать скорости и местоположения этих других самолетов, так как они будут находиться достаточно далеко и времени для реакции будет много — порядка десятков секунд. Роботу-водителю придется отслеживать десятки других транспортных средств и препятствий и принимать решения за доли секунды. Требуемые для этого программы управления будут на порядки сложнее, чем те, которые используются для управления самолетом.

Когда программа управления будет утверждена, автомобилестроителям понадобятся способы

«доказательства» безопасности всей системы управления автомобилем специалистам по управлению рисками в своих компаниях, страховым компаниям, законодателям и, разумеется, потенциальным пользователям. Современные формальные «приемные испытания» совершенно не годятся для этого. Чтобы подвергнуть испытываемый автомобиль статистически значимым количествам опасных ситуаций, которые могут встретиться при регулярном использовании им тысячами пользователей, испытателям пришлось бы наездить на нем сотни миллионов, если не миллиарды километров. Над решением этих проблем люди уже начали думать. Правительство Германии запустило многомиллионный проект в этой области, но работы только начинаются.

Программа управления автомобилем (образно говоря, его мозг) — не единственная вещь, требующая тщательного рассмотрения. Не меньше внимания требуют датчики, которые должны поставлять этому мозгу информацию, необходимую для принятия решений. Следует разработать новые алгоритмы обработки сигналов и совместной обработки данных, позволяющие различать безобидные и опасные объекты на пути автомобиля с почти нулевой вероятностью ложноотрицательных срабатываний (нераспознаваний опасных объектов) и очень низкой вероятностью ложноположительных срабатываний (когда неопасный объект ошибочно принимается за опасный, вызывая ненужную реакцию автомобиля, например поворот в сторону или резкое торможение).

Прибегать здесь для этой цели к примитивной избыточности, используемой в гражданских самолетах, нельзя, ибо самоуправляющиеся автомобили предназначены для массового пользователя. Неочевидным представляется и использование искусственного интеллекта (ИИ). Высказывались предположения, что системы самообучения машин могли бы позволить системам управления автомобилем проанализировать миллионы часов данных о вождении и затем обучаться далее в ходе накопления собственного опыта работы. Но самообучение машин вносит свои проблемы, ибо оно не детерминистично. Системы двух сошедших с конвейера одинаковых автомобилей после года работы, в ходе которых они встречались с разными дорожными ситуациями, могут вести себя по-разному.

Будущее четвертого уровня

Я обычно говорил, что системы автоматического управления автомобилем пятого уровня станут реальными не раньше 2040 г. Кто-то может ссылаться на меня так, будто я говорю, что они появятся уже в 2040 г. Сегодня я утверждаю, что полностью автоматизированные автомобили, способные справляться с любыми дорожными ситуациями, не появятся до 2075 г. Могут ли они появиться раньше? Несомненно, но не в большом количестве.

Будущее третьего уровня тоже туманно, ибо велика вероятность того, что в критической ситуации, требующей вмешательства водителя, его внимание будет отвлечено созерцанием окрестных видов или, хуже того, он будет спать. Некоторые представители автомобильной промышленности считают эту проблему настолько серьезной, что просто не хотят заниматься третьим уровнем. Вполне вероятно, что за пределами помощи в заторах на дорогах, когда скорости настолько малы, что при столкновении в худшем случае пострадают крыло или бампер, эти системы никогда не найдут применения.

Однако автомобили с высокой степенью автоматизации мы увидим довольно скоро, возможно, уже в следующем десятилетии. Четвертому уровню — полному управлению автомобилем в ситуациях, не требующих вмешательства ненадежного человека, — выделяют серьезные ресурсы большинство крупных автопроизводителей и многие ИТ-компании. Ограничение круга ситуаций, в которых должен работать автомобиль с полностью автоматической системой управления, намного повышает возможности реализации такой системы. (Автоматические транспортные средства для перевозки людей уже многие годы функционируют в крупных аэропортах, но только на специально выделенных маршрутах).

Системы автоматической парковки, позволяющие водителю оставлять автомобиль на въезде в соответствующим образом оборудованный гараж, в котором не могут появиться ни пешеходы, ни автомобили без автоматизированных систем управления, будут введены в эксплуатацию, по всей вероятности, уже в ближайшие десять лет. Система управления автомобилем будет обмениваться информацией с датчиками, размещенными в разных местах гаража, чтобы найти свободное парковочное место, и приводить туда автомобиль. Поскольку при такой парковке открывать двери автомобиля не потребуется, парковочные места можно будет сделать более узкими, и в дорогом парковочном пространстве можно будет разместить больше автомобилей.

В городских пешеходных зонах, бизнес-парках, университетских городках и других местах, где появление скоростных транспортных средств может быть исключено, будут работать тихие пассажирские маршрутки без водителей. В таких условиях для выявления пешеходов и велосипедистов могут использоваться датчики с ограниченными возможностями, а ложнопозитивное срабатывание датчика, вызвавшее ненужное торможение, никому не причинит вреда (хотя и вызовет раздражение у пассажиров). В рамках проекта *CityMobile2* Европейской комиссии подобные технологии демонстрируются уже несколько лет, реализация последней из них намечена на это лето.

Выделенные полосы для автобусов и грузовиков скоро позволят использовать в прочих автомобилях более высокие степени автоматизации, поскольку дадут возможность очень сильно упростить их системы обнаружения угроз и реагирования. Со временем грузовики и автобусы смогут следовать колоннами за управляемой человеком машиной-лидером, экономя топливо.

Опытные системы таких колонн уже вводятся в разных частях мира, в том числе в рамках программы «Калифорнийские партнеры за передовые транспортные технологии» (*California Partners for Advanced Transportation Technology, PATH*) Калифорнийского университета в Беркли, японского проекта *Energy ITS* и европейских проектов *KONVOI* и *SARTRE*.

Однако наиболее распространенной разновидностью четвертого уровня автоматизации в следующем десятилетии станут, вероятно, системы автоматического управления на автострадах для легковых автомобилей. Они позволят автомобилям при некоторых условиях самостоятельно ехать по выделенным участкам автотрасс. Такие автомобили будут оснащаться избыточными компонентами и подсистемами, способными в случае каких-либо неисправностей привести машину «домой» без участия водителя. Их использование, возможно, будет ограничено хорошей погодой и участками автострад, детально обозначенными на карте с указанием дорожных указателей и разметки полос. На этих участках могут быть даже оборудованы «безопасные отстойники», где автомобили могут останавливаться в случае неисправности. Над разработкой таких систем усиленно работают большинство автомобилестроительных компаний, а *Volvo Cars* планирует провести в следующем году в Гетеборге (Швеция) публичные испытания их возможностей на 100 опытных образцах автомобилей.

Рассмотренные сценарии могут выглядеть не столь футуристичными, как ваш персональный электронный шофер, но осуществимы (и даже неизбежны) и притом скоро. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Эшли С. Движение в сторону безопасных автомобилей // ВМН, № 3, 2009.
- Technical Challenges for Fully Automated Driving Systems. Steven Shladover. Presented at the 21st World Congress on Intelligent Transport Systems, Detroit, Mich., September 7–11, 2014.
- Towards Road Transport Automation: Opportunities in Public-Private Collaboration. Summary of the Third EU-U.S. Transportation Research Symposium, Washington, D.C., April 14–15, 2015. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2015.
- Summary of definitions for SAE International's 2014 report Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems: www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

<http://scientificrussia.ru>





СПЕЦИАЛЬНЫЙ
РЕПОРТАЖ

ОБ АВТОРЕ

Стюарт Расселл (Stuart Russell) — профессор информатики Калифорнийского университета в Беркли и специалист по искусственному интеллекту.

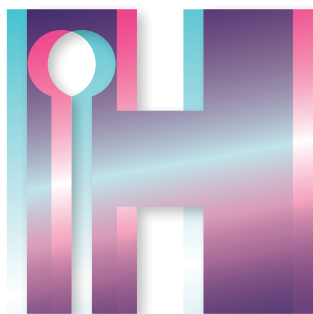


КОММЕНТАРИЙ

НУЖНО ЛИ БОЯТЬСЯ СВЕРХРАЗУМНЫХ РОБОТОВ?

Стюарт Расселл

Если мы не будем достаточно осторожны, то можем оказаться в конфликте с целеустремленными разумными машинами, цели которых будут противоречить нашим интересам



Просто избавиться от навязчивого подозрения, что создание машин, более умных, чем мы сами, может оказаться серьезной проблемой.

Голливудская страшилка о том, что ни с того ни с сего озверевшая машина возглавит армии роботов-убийц, просто смешна. Реальная проблема — если искусственный интеллект окажется невероятно успешным в деле достижения целей, отличных от наших. В 1960 г. легендарный математик Норберт Винер, создавший кибернетику, высказался так: «Если для достижения своих целей мы хотим использовать механическую систему, действиям которой не сможем эффективно противодействовать, <...> нам желательно заранее надежно удостовериться, что мы задали машине именно те цели, которых хотим достичь».

Машина узкого назначения имеет другое свойство, которое мы обычно ассоциируем с живыми существами: стремление оберегать собственное существование. Это свойство — не «врожденное» для машины, не формируется оно и человеком. Оно становится логическим следствием того простого факта, что в случае своей гибели машина не сможет выполнить порученное ей задание. Поэтому если мы даем роботу единственное задание — принести нам кофе, у него будет сильное

побуждение заблокировать свой выключатель, чтобы никто не мог его выключить, или даже уничтожить всякого, кто может помешать ему выполнить свою миссию. И если мы не будем достаточно осторожны, мы можем столкнуться с чем-то вроде глобальной шахматной партии против очень целеустремленных и сверхразумных машин, чьи цели будут противоречить нашим, а шахматной доской окажется реальный мир.

Перспектива начать такую партию и проиграть ее должна побудить специалистов по информатике сосредоточиться. Некоторые исследователи полагают, что можно заключить машины в некую оболочку и использовать для решения сложных задач, не позволяя им воздействовать на внешний мир. (Разумеется, это повлечет за собой отказ от создания суперинтеллектуальных роботов.) К сожалению, реализация этого замысла представляется маловероятной: такая оболочка еще не создана даже для обычных людей, не говоря уже о сверхразумных машинах.

А нельзя ли использовать предупреждение Винера напрямую? Можно ли создать системы искусственного интеллекта, цели которых не конфликтовали бы с нашими, так чтобы нам не нужно было заботиться о поведении этих машин? Это непросто: не зря же истории о джинне, исполняющем три желания, часто оканчиваются тем, что третье желание отменяет два предыдущих. Но я верю, что это возможно, если при создании разумных систем придерживаться трех ключевых принципов.

■ **Целью машины должна быть максимальная реализация человеческих ценностей.** В частности, у машины не должно быть собственных целей и желания сохранить себя.



■ **Изначально машине не должно быть известно, каковы эти человеческие ценности.** Это условие чрезвычайно важно и в некоторой степени представляет обход проблемы Винера. Разумеется, в ходе работы машина может получать больше сведений о человеческих ценностях, но никогда не сможет получить исчерпывающего представления о них.

■ **Машина должна быть способной узнавать, каковы человеческие ценности, наблюдая, какие выборы делают люди.**

Первые два принципа могут показаться противостественными, но в совокупности они позволяют исключить проблему робота, стремящегося заблокировать свой выключатель. Робот уверен, что он хочет максимизировать реализацию человеческих ценностей, но толком не знает, в чем они состоят. При этом роботу выгодно быть выключенным, поскольку он понимает, что человек выключит его, чтобы не дать ему сделать что-либо, противоречащее человеческим ценностям. Поэтому у робота возникает побуждение не трогать выключатель, проистекающее именно из неопределенности его представления о человеческих ценностях.

Третий принцип заимствован из субдисциплины науки об искусственном интеллекте, которая называется обратным стимулированным обучением (*inverse reinforcement learning, IRL*) и касается именно обучения ценностям некоей сущности (будь то человек, собака или таракан) путем наблюдения ее поведения. Наблюдая типичный утренний распорядок людей, робот узнает о ценности кофе

для них. Данная область пока переживает свое младенчество, но уже найдены некоторые практические алгоритмы, демонстрирующие ее потенциал в деле создания разумных машин.

По мере своего развития *IRL* должно найти способы учитывать тот факт, что люди иррациональны, непоследовательны и слабосильны, а их вычислительные способности ограничены, вследствие чего действия людей не всегда отражают их ценности. Кроме того, наборы ценности у людей неодинаковы, поэтому робот должен учитывать возможность конфликтов и компромиссов между ними. А некоторые люди просто откровенно злонамеренны, и им никогда не следует ни помогать, ни подражать.

Несмотря на все эти трудности, я верю, что машины смогут узнавать о человеческих ценностях достаточно много, чтобы не быть угрозой для нас. Результаты прямого наблюдения за действиями людей будут для роботов дополнены возможностью доступа к огромному количеству печатной информации и фильмов о поведении лю-

дей и их реакциях. Разработка алгоритмов, способных усваивать эту информацию, гораздо проще создания сверхразумных машин. У роботов (и их создателей) есть сильнейший экономический стимул для понимания и признания человеческих ценностей: если однажды плохо продуманный робот приготовит на обед кошку, не понимая, что ее sentimentalная ценность превосходит пищевую, это будет концом индустрии роботов как домашних помощников.

Решение проблем безопасности представляется осуществимым, но нелегким. Создания сверхразумных машин придется ждать, возможно, еще десятилетия. Однако проблему не следует отвергать без лишних размышлений, как делали некоторые исследователи в области искусственного интеллекта. Некоторые считают, что человек и машины могут сосуществовать, если будут работать в команде, но это невозможно, если машины не разделят цели человека. Другие говорят, что мы можем просто отключать машины, но сверхразумные машины не настолько глупы, чтобы не подумать о такой возможности. Наконец, некоторые полагают, что сверхразумные машины не будут созданы никогда. Но вспомним, как 11 сентября 1933 г. знаменитый физик Эрнст Резерфорд сказал: «Каждый, кто надеется, что атомные превращения могут стать источником энергии, говорит вздор», а 12 сентября 1933 г. физик Лео Силард открыл цепную ядерную реакцию. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

Некоторые виды рыб, оказывается, весьма неплохо
соображают. Более того, временами они даже
способны пользоваться орудиями

Джонатан Бэлкомб

ЗООЛОГИЯ

ЭЙНШТЕЙНЫ МОРЯ

Во время одного из погружений в морские воды, омывающие микронезийский архипелаг Палау, биологу-эволюционисту Джакомо Бернарди (Giacomo Bernardi) удалось запечатлеть на видеокамеру необычное поведение оранжевопятнистого клыкастого губана (*Choerodon anchorage*). С помощью сильного тока воды рыба «раздувала» песок над закопавшимся в него моллюском, хватала животное ртом и переносила его к ближайшему крупному камню на расстояние около 30 м. Затем с помощью нескольких резких наклонов головы губан разбивал раковину моллюска о камень и принимался лакомиться ее мягким содержимым. За 20 минут рыба съела трех моллюсков, каждый раз разбивая их раковину описанным выше способом.

Адаптированный отрывок из книги Джонатана Бэлкомба «Что знают рыбы: внутренняя жизнь наших подводных собратьев» (*What a Fish Knows: The Inner Lives of Our Underwater Cousins*), печатается с разрешения Scientific American / Farrar, Straus and Giroux, LLC (США), Oneworld (Великобритания), United Sky New Media Co., Ltd. (Китай), Eidos Publishing (Корея) и Hakuyosha Publishing Co., Ltd. (Япония). © Джонатан Бэлкомб, 2016 г.

Бернарди, профессор Калифорнийского университета в Санта-Крузе, считается первым ученым, показавшим с помощью видеосъемки, что рыбы умеют пользоваться орудиями. Для рыб это в высшей степени удивительная способность. Долгое время биологи полагали, что орудиями труда могут пользоваться только люди, затем они обнаружили эту способность у некоторых других млекопитающих и птиц, и лишь в последнее десятилетие стало ясно, что она присуща и другим животным.

Просматривая видеозапись Бернарди, я каждый раз нахожу в ней все новые «жемчужины». Так, вначале я не заметил, что трудяга-губан



WARREN PHOTOGRAPHIC

Брызгун сбивает с листа жертву точно выверенной струей воды

ОБ АВТОРЕ

Джонатан Балкомб (Jonathan Balcombe) — этолог и писатель, директор программы по изучению животных в Гуманитарном институте науки и политики и заместитель редактора журнала *Animal Sentience*, выпускаемого этим институтом.



выкапывает зарывшегося в песок моллюска совсем не так, как можно было бы ожидать, то есть с помощью выбрасываемой изо рта сильной струи воды. На самом деле рыба отворачивает голову от своей цели и принимается резко захлопывать над ней свои жаберные крышки. В результате возникает сильный ток воды, подобный порыву воздуха, возникающему при захлопывании книги. Но пищедобывательное поведение губана свидетельствует не только об умении рыбы пользоваться орудиями. Использование ею пластичной последовательности действий, разделенных во времени и пространстве, указывает на ее способность к планированию поведения. Как здесь не вспомнить шимпанзе, использующих прутики и травинки для выуживания термитов из гнезд? Или бразильских обезьян капуцинов, раскалывающих орехи о плоские камни? Или ворон, которые разбрасывают орехи у светофоров на оживленных автомагистралях, а затем, когда красный свет останавливает движение, слетаются на дорогу за раздавленной колесами едой?

На полпути к месту своего назначения наш губан вдруг замечает лежащий на песке небольшой камень. Подплыв к нему, он несколько раз, но как бы вполсилы, ударяет о его поверхность моллюском, а потом продолжает путь, словно решив, что этот камень для его насущных целей не годится.

Все эти действия — настоящий умственный подвиг для любого животного. Тот факт, что они совершаются рыбой, явно опровергает широко распространенное мнение, что уровнем своего интеллекта рыбы сильно уступают прочим позвоночным животным. Как и тот факт, что эпизод, заснятый на видеокамеру Бернарди, — отнюдь не исключение. Сходное поведение ученые наблюдали у чернопятнистого клыкастого губана (*Choerodon schoenleinii*) на австралийском Большом Барьерном рифе, у желтоголовой донцеллы (*Halichoeres garnoti*) в прибрежных водах Флориды и у чернополосой

талассомы (*Thalassoma hardwicke*) в аквариумах. В последнем случае рыбы имели дело с гранулами корма, которые были слишком крупными для того, чтобы они могли проглотить их целиком, и слишком твердыми для их измельчения челюстями. Одну из таких гранул талассома перенесла на лежащий в аквариуме камень и разбила о его поверхность почти точно так же, как оранжевопятнистый губан разбил о камень раковину моллюска. Зоолог из Вроцлавского университета Лукаш Пасько (Łukasz Paśko) наблюдал такое «пищедобывательное» поведение талассомы 15 раз, но впервые заметил его лишь через несколько недель после того, как рыба была помещена в аквариум. Ученый охарактеризовал его как «в высшей степени последовательное» и «почти всегда успешное».

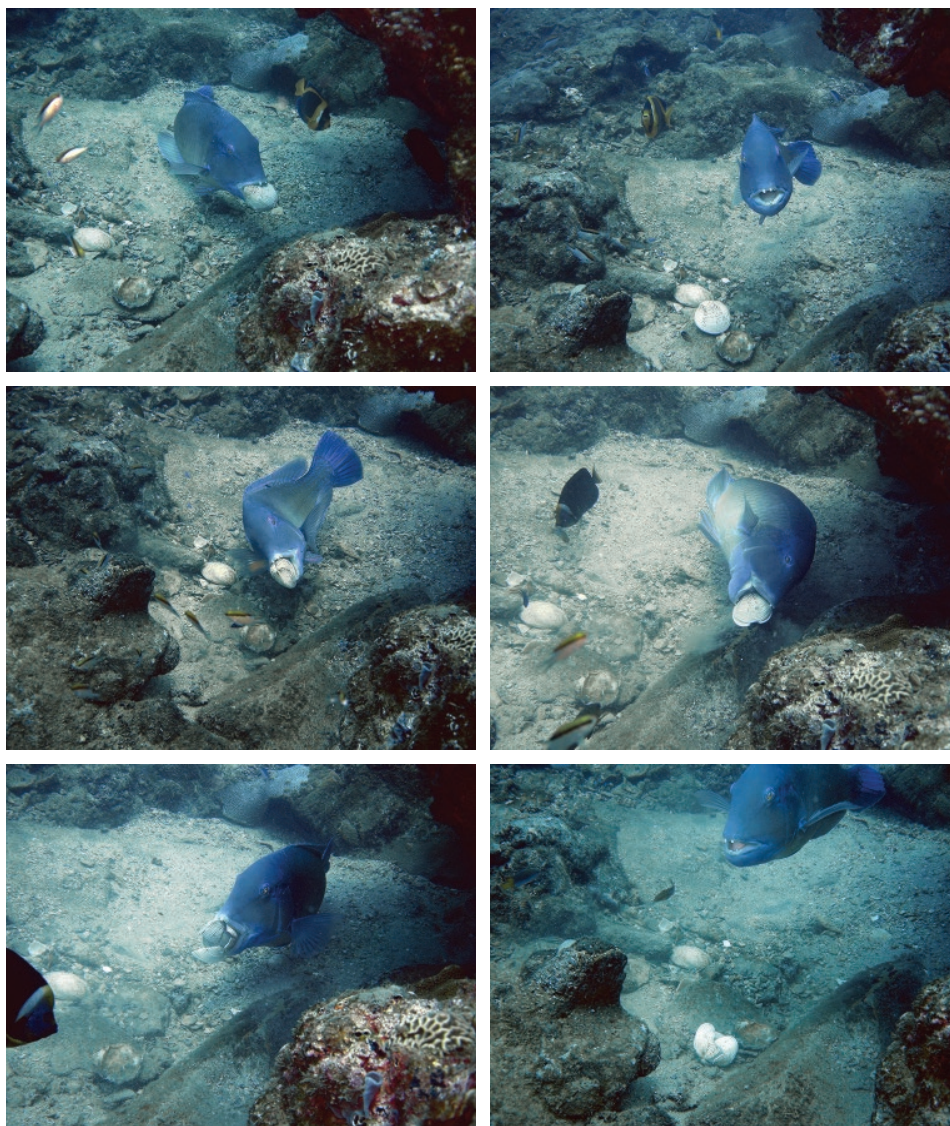
Твердолобые скептики наверняка возразят, что на самом деле описанные формы поведения рыб ничего общего с настоящим использованием орудий не имеют, ведь рыбы — в отличие, например, от людей, срубающих топорами деревья, или шимпанзе, добывающих с помощью прутиков вкусных термитов, — не могут манипулировать предметами с целью воздействия на другие объекты. Но, по мнению самого Пасько, сущность описанных форм поведения рыб от этого нисколько не меняется: раздавливание раковины или гранулы корма с помощью какого-либо орудия для рыб — просто-напросто недоступная опция, во-первых, потому что они лишены хватательных конечностей, во-вторых, потому что в воде, обладающей высокой вязкостью и плотностью, с помощью орудия трудно развить достаточную для этого силу (попробуйте, например, сами разбить под водой орех с помощью камня).

Подводные снайперы

Брызгуны (*Toxotes*) тоже умеют использовать силу движущейся воды для достижения своих целей. Эти небольшие, длиной около 10 см рыбки, чье

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Недавние наблюдения и исследования показывают, что рыбы — далеко не такие глупые существа, какими их долгое время считали ученые.
- Как свидетельствует видеосъемка, один из видов губанов, например, умеет пользоваться орудиями.
- Брызгуны, сбивающие своих жертв с надводных растений точно выверенной струей воды, обнаруживают способность к овладению сложными навыками путем простого наблюдения за действиями своих сородичей.



Чернопятнистый губан разбивает раковину моллюска, с силой ударяя ею о камень

серебристое тельце украшено по бокам несколькими черными пятнами, обитают главным образом в тропических солоноватых водах мангровых зарослей, эстуариев и в низовьях рек в Юго-Восточной Азии — от Индии до Филиппин, Австралии и Полинезии. Крупные, необычайно подвижные глаза обеспечивают брызгунам бинокулярное зрение. Заполнив глотку водой, рыба прижимает язык к бороздке на внутренней поверхности верхней челюсти, превращая тем самым рот в узкую трубочку. Затем она резко захлопывает жаберные крышки и сжимает глотку. В результате давление в глотке резко возрастает, и изо рта вырывается в воздух струйка воды на расстояние до 3 м, сбивающая сидящих на растениях насекомых. Старые опытные брызгуны обладают поразительной меткостью: с расстояния в 1 м они «стреляют» почти без промаха. Жука или кузнечика, решившего отдохнуть

на ветке растения, свисающей над охотничьими угодьями брызгунов, ждет неминуемая гибель.

Поведение брызгунов чрезвычайно пластично. Они могут выбрасывать воду изо рта одним «залпом» или сериями коротких «выстрелов». В природе к числу их жертв относятся насекомые, пауки, детеныши ящериц; стреляют брызгуны и в маленькие кусочки сырого мяса, искусственные макеты своих естественных жертв, в глаза наблюдающих за ними людей и даже в тлеющие кончики сигарет. Собираясь поразить цель, брызгун учитывает ее размеры: чем она крупнее и тяжелее, тем больше воды он выбрасывает изо рта. Опытные «снайперы» способны сбивать жертв даже вертикальной струей воды — так, чтобы те падали прямо им в рот.

Использование воды в качестве метательного снаряда — лишь одна из многочисленных охотничьих стратегий брызгунов. По большей части они охотятся под водой точно так же, как «обыч-

ные» рыбы. А в том случае, если жертва находится над водой на расстоянии всего 20–30 см, брызгуны иногда попросту выпрыгивают из воды и хватают ее прямо ртом.

Брызгуны живут группами и обладают фантастической способностью к обучению посредством наблюдения. Охотничьи навыки они совершенствуют с опытом, а потому молодые брызгуны начинают успешно поражать быстро движущиеся цели лишь после длительного периода тренировки.

Зоологи из Университета им. Фридриха — Александра (Германия), изучавшие охотничье поведение брызгунов в неволе, обнаружили, что молодые неопытные рыбки не могли поразить цель даже в том случае, если она двигалась с «черепашьей» скоростью — примерно 1 см/с. Но после того как эти новички стали свидетелями около 1 тыс. попыток (успешных и безуспешных) других

брызгунов поразить движущуюся цель, все они вдруг приобрели способность успешно попадать даже в быстро перемещающиеся цели. Ученые заключили, что брызгуны могут обучаться сложным навыкам «на расстоянии», просто наблюдая за действиями своих сородичей.

Высокоскоростная видеозапись позволила установить, что в зависимости от скорости и местоположения летящей жертвы брызгуны используют различные стратегии «стрельбы». В одних случаях они учитывают скорость летящего насекомого и приноравливают к ней траекторию выбрасываемой струи воды: чем быстрее движется цель, тем дальше вперед от нее должен прицеливаться брызгун. Если насекомое летит низко (обычно на расстоянии не более 20 см над водой), брызгун нередко прибегает к иной стратегии, называемой учеными «поворот и выстрел». В этом случае рыба

Способность использовать орудия в наибольшей степени присуща представителям семейства губановых, которые в этом плане занимают среди рыб такое же положение, как приматы среди млекопитающих

разворачивается в горизонтальной плоскости таким образом, чтобы траектория ее движения совпала с траекторией перемещения цели и выброшенная струя воды смогла бы догнать насекомое в воздухе.

И, наконец, во время охоты головной мозг брызгунов корректирует оптические искажения предметов, возникающие в результате преломления лучей света на границе воды и воздуха. Это позволяет рыбам определять реальные размеры объектов с различных расстояний и под различными углами зрения. Интересно, а насколько глубоки познания брызгунов в энтомологии? Умеют ли они визуально идентифицировать насекомых и определять, какие из них съедобны, а какие ядовиты или вооружены смертельным жалом?

Скорее всего, брызгуны начали сбивать насекомых струей воды задолго до того, как люди научились швыряться камнями, а губаны стали разбивать раковины моллюсков о камни гораздо раньше, чем наши предки изобрели в каменном веке наковальни и принялись обрабатывать на них куски раскаленного металла. Но могут ли рыбы спонтанно изобретать способы использования орудий — так, как это делаем мы, когда неожиданный поворот событий требует от нас импровизаций?

Один из примеров такого инновационного использования орудий был зарегистрирован биологами, изучавшими поведение атлантической трески в неволе. К спине каждой рыбы у основания спинного плавника была прикреплена цветная бирка, что позволяло исследователям идентифицировать особей. В бассейне, где содержались рыбы, имелась автоматическая кормушка, к которой была привязана веревка с петлей на конце. Рыбы вскоре поняли, что, схватив ртом петлю и потянув за веревку, они могут получить порцию пищи.

Через некоторое время несколько рыб обнаружили, что вызвать срабатывание кормушки можно и другим способом — зацепив петлю биркой на спине и немного отплыв от кормушки. Выполнив сотни «испытаний», эти умные рыбы усовершенствовали новый навык настолько, что он превратился в четко отработанную серию целенаправленных скоординированных движений. Новый способ «включения» кормушки давал рыбам-рационализаторам определенные преимущества: он позволял им приступить к поглощению гранул корма на долю секунды раньше, чем при дерганье веревки с помощью рта.

Способностью к использованию орудий, похоже, наделены лишь рыбы некоторых групп. По мнению австралийского ихтиолога Кулума Брауна (Culum Brown), в наибольшей степени она присуща представителям семейства губановых, которые в этом плане занимают среди рыб такое же положение, как приматы среди млекопитающих и представители семейства врановых (воробьи, вороны, сороки и сойки) среди птиц. Жизнь под водой, вероятно, предоставляет животным гораздо меньше возможностей пользоваться орудиями, чем обитание на суше. Но, как свидетельствуют замечательные примеры клыкастых губанов и брызгунов, эволюция наделяет животных поистине безграничными способностями к решению проблем, а это означает, что, возможно, компания рыб, умеющих пользоваться орудиями, на самом деле гораздо многочисленнее, чем считают сегодня ученые. ■

Перевод: В.В. Свечников

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- The Use of Tools by Wrasses (Labridae). G. Bernardi in *Coral Reefs*, Vol. 31, No. 1, page 39; March 2012.
- Innovative Behaviour in Fish: Atlantic Cod Can Learn to Use an External Tag to Manipulate a Self-Feeder. Sandie Millot et al. in *Animal Cognition*, Vol. 17, No. 3, pages 779–785; May 2014.
- Competition Drives Sophisticated Hunting Skills of Archerfish in the Wild. Ingo Rischawy et al. in *Current Biology*, Vol. 25, No. 14, pages R595–R597; July 20, 2015.



АВГУСТ 1966

Оплодотворение *in vitro*. «Если удастся оплодотворить выращенные в культуре яйцеклетки кроликов и свиней, естественно предположить, что можно также оплодотворять и выращенные в культуре яйцеклетки человека, хотя имплантация их женщинам несомненно будет

запрещена. До сих пор нам либо вообще не удавалось оплодотворить эти клетки, либо в лучшем случае мы добивались лишь очень скромного успеха. Мы намерены продолжить наши эксперименты: возможность наблюдать деление яйцеклеток человека исключительно важна для науки и практической медицины. Например, от бесплодия, вызванного неправильным прохождением эмбриона через фаллопиеву трубу, возможно, удастся избавиться, если извлекать ооциты из яичников, оплодотворять их *in vitro* и затем вводить в матку». — Роберт Эдвардс (Robert G. Edwards).



АВГУСТ 1916

Успехи электрификации.

В рамках масштабного плана электрификации железной дороги от Сент-Пола до залива Пьюджет создается большая система электростанций для обеспечения питания этих линий. На снимке представлена одна из гидротурбин, предназна-

ченных для привода генераторов на одной из важнейших электростанций компании *Montana Power Company*. Сеть ЛЭП этой компании охватывает большую часть штата Монтана и часть штата Айдахо, обеспечивая электроэнергией не только 708 км железнодорожных линий, но и многие горнодобывающие предприятия. Компания имеет 12 электростанций, суммарная мощность которых будет доведена до 243 890 кВт.

Новшества в военном деле. Наиболее радикальным изменением стал переход от свободно движущихся армий в открытом поле к окопной войне, в которой войска прочно и практически неподвижно сидят в окопах на позициях, не имеющих флангов. А в самой этой новой войне наиболее радикальными новшествами

стали отказ от ружейного огня на большие дистанции и вытеснение винтовок усовершенствованными ручными гранатами. Оказалось, что при штурме позиций использование гранат эффективнее винтовочного огня и меньше задерживает движение пехоты.

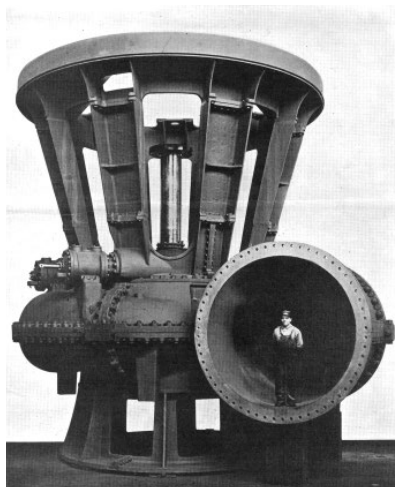


АВГУСТ 1866

Дорогой телеграф. Нам понадобилось послать нашему лондонскому корреспонденту телеграмму, состоящую всего из 20 слов. Согласно преискурранту, передача ее по трансатлантическому кабелю должна была обойтись в 20 фунтов стерлингов, но за сокрытие


даты передачи с нас содрали 24 фунта, или \$120 золотом. Мы желаем успеха компании *Submarine Telegraph Company*, но не представляем себе, что люди согласятся на такие безумные и, на наш взгляд, неоправданные цены.

Мясо для горожан. В нижнем конце Восточной 106-й улицы в Нью-Йорке строится новая скотобойня. Она должна заменить уже существующие, которые в жаркие дни вызывают рост числа недомоганий и смертность среди жителей окрестных районов. Деревянное здание будет опираться на сваи, забитые на глубину ниже высшей отметки уровня воды, а фасадом обратится к реке. На берегу этого водоема перед ним будет платформа с желобами и решетками для отвода всех отходов до уровня ниже низшей отметки уровня воды. 20 подъемных машин на скотобойне позволят забивать до 1,5 тыс. бычков в день. Их кровь будет использоваться в качестве удобрения, жир вытапливаться и продаваться, а все прочие материалы — отправляться в отходы.



Гидротурбина мощностью 15 тыс. л.с. для питания электроэнергией электрифицированных участков железных дорог компании *Chicago, Milwaukee & St. Paul Railroad* в штате Монтана, 1916 г.

Порок и доход. Бюджет Индии, только что представленный британскому парламенту лордом Крэнборном, вскрывает любопытные факты, касающиеся торговли опиумом в качестве источника дохода. Валовой доход правительства за 1864–1865 гг. составил 47,041 млн фунтов стерлингов, немного превысив расходы благодаря неожиданным поступлениям от таможенных сборов за опиум. Эти поступления идут целиком от китайцев, которые потребляют его. Их спрос на опиум столь же стабилен, как наш на джин и пиво. ■

A portrait of an elderly man with white hair, wearing a light grey suit jacket over a vibrant red and orange striped shirt. He is standing on a staircase with a metal railing, looking directly at the camera with a serious expression. The background is a blurred indoor setting.

Профессор Ш.Г. Алиев:
«Идею
должна
сопровождать
радость»

•
Есть идея, которая
хватает и «размазывает»
тебя по всей Вселенной,
и есть конкретная
задача, которую
до завтра надо сдать

Каждый, кто имеет отношение к флоту, знает, что торговых или пассажирских кораблей не бывает. Раз корабль, значит, военный. Вот и с конструкторами. Если в слове «главный» слышится «глава» — мирный руководитель, то «генеральный» явно родственно «генералу». Представитель петербургской школы кораблестроения, генеральный конструктор САПР ОКБ «Дагдизель» профессор **Шамиль Гимбатович Алиев** посвятил более 50 лет жизни торпедному оружию и военной промышленности.

— Неужели разница между гражданским и военным конструкторами настолько велика, что отражается даже в термине?

— Генеральный конструктор сегодня — это целый институт, сложный механизм, в котором задействованы почти все области науки и техники. Особенность работы именно военных генеральных состоит в том, что у нас весьма жестко поставлены сроки. У академика Я.Б. Зельдовича было такое выражение: «В военном деле нужно не просто умствовать, а до завтра решить». Главная задача всегда связана с трудностями: сроками, финансовыми потоками и материальными ресурсами. Нет трудностей — не нужен и генеральный. При этом все конструкторы работают по единой формуле: «техника + увлеченность + талант = результат». Без этих трех составляющих ничего не получится.

— Однако несмотря на такую простую формулу, перед генеральными всегда стоят задачи нетривиальные. Можно ли как-то помочь им в поисках решений?

— Разумеется. Надо создать им «положительную» рабочую атмосферу, в которой конструктору не пришлось бы заново решать уже давно решенные задачи.

Кроме общих показателей, в каждом сегменте есть общая идеология, позволяющая формировать в наиболее активной форме целевую функцию, которая, в свою очередь, помогает задачу выполнить, во-первых, в срок, во-вторых, с удовольствием. Пытаясь создать идеологию торпедного оружия, я много десятилетий тому назад начал собирать специальную библиотеку, в которой отслеживал ситуацию с оружием как зарубежным, так и отечественным. Кажется, мне это удалось.



После семинара радость с трудом уместается в кадре

Одним из первых шагов, я считаю, должно стать создание сопровождающего аналитического центра. Сейчас его прообраз — Российская академия наук. Мы сформировали базу знаний по глубоководным торпедам, в ней около 800 уже решенных задач. Но и про ошибки мы не забываем — их около 40 тыс. листов, пятимегабайтный текстовый файл.

— Карта грабельных минных полей.

— В спорте есть такое правило: если ты дважды сделал одну и ту же ошибку, из тебя ничего не выйдет. Один раз все попадают. Иногда мне кажется, что нет ни одной ошибки, которой бы я не допустил. Но нет ни одной, которую допустил дважды. Наша лабораторная база в Дагестане — некий прототип будущего аналитического центра, его ядро. С нашими работами знакомились и их одобрили академики В.П. Бармин, Е.П. Велихов, К.В. Фролов, В.И. Субботин. К нам приезжали из Санкт-Петербургского государственного морского

технического университета, из концерна «МПО — Гидроприбор», из научно-производственного объединения «Электросигнал». Активная 50-летняя работа, ни на один год не утихающая, продолжается и сейчас.

Наше начинание поддержала председатель Совета Федерации В.И. Матвиенко. После этого я раз 15 выступал на эту тему. Везде политическое руководство одобряет, научные силы поддерживают.

Необходим многотомник «Торпедное оружие». У нас налаживается контакт с президентом НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Ковальчуком по поводу создания гуманитарно-просветительского центра. Этому вопросу помог еще лет 30 тому назад академик Е.П. Велихов. У нас есть такая всемирная лаборатория, которая носит имя вашего покорного слуги. Я ставлю следующую задачу. Есть выстраданное ядро — все 800 задач, как в академических вузах. Теперь нужно на федеральном уровне создать совет, в котором будут пять-шесть таких великовозрастных, как я (больше просто нет), 10–15 — среднего возраста и около 50 представителей молодого поколения. Д.О. Рогозин поддержал идею. Совет должен работать по обозначенным направлениям: искусственный интеллект, гребные винты, баллистические задачи и многое другое.

— Но разве одна ваша лаборатория с такой задачей справится?

— Конечно нет. Центр надо создавать совместно с Санкт-Петербургом, с «Гидроприбором», с «Корабелкой», с МГУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, РАН, Институтом механики. У меня со многими из них дружеские отношения. Считаю это своим

достижением, это важно в научном плане. Может быть, повлияла общая идеология теории ошибок — как только тебе указывают на неточность, ты ищешь в своей деятельности еще две. Поэтому человек, который указывает тебе на ошибку, по этой теории, должен быть очень близким тебе.

— Враг ошибки показывать не будет, он будет ждать их последствий.

— Общая идеология проектирования оружия — подводного, надводного, космического и т.д. — это системный взгляд, многообразие динамических систем, взаимодействующих по законам теории информации. Я абсолютно уверен, что такие динамические системы — блочные, модульные — не изолированы. Они максимально приближаются к искусственному интеллекту.

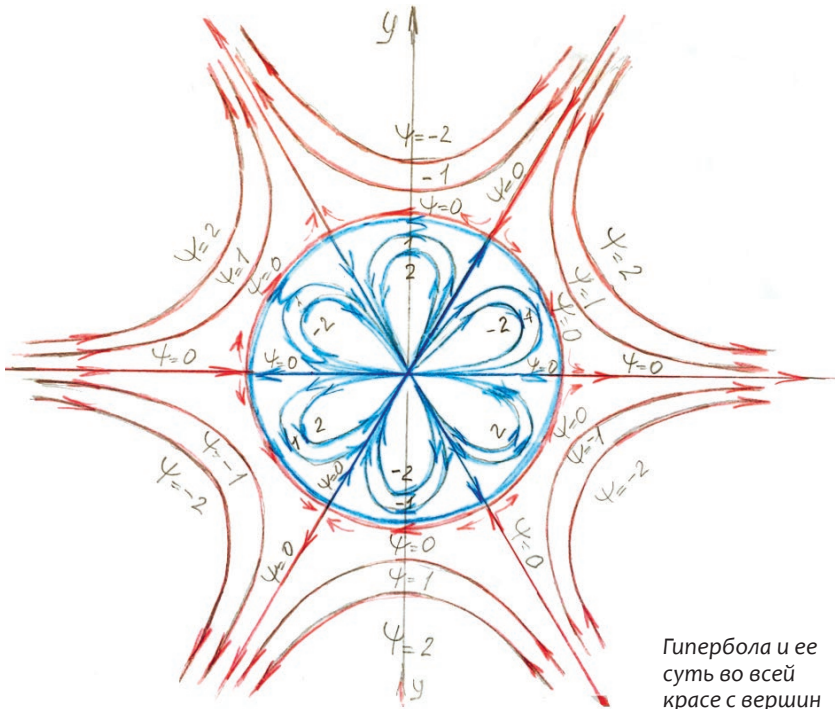
Влюбиться в идею

— Сегодня в изучении искусственного интеллекта есть и большие достижения, и большие проблемы. Недавно мы обрабатывали труды М.В. Ковальчука и наткнулись на идею конвергенции, в изучении которой у нас тоже немалый опыт. Он сформулировал эту идею по-боевому, нам боевитости не хватало, потому что проблема восприятия зависит как раз от этого: первый этап — латеральное торможение, второй — дивергенция и конвергенция проводящих путей. И, самое главное, третий: каким образом входящий стимул перекодируется в мозге.

Главная проблема: наша перцептивная система зависит от своего состояния. У каждого, наверное, есть свои методы приведения себя в метастабильность.



Взгляд на теорию конфликта с точки зрения стихии борьбы и эпизодов боя



Гипербола и ее
суть во всей
красе с вершин
Римановой
поверхности

— Мне, например, становится страшно, когда я пытаюсь понять бесконечность метавселенной как в пространстве, так и во времени.

— А у нас для этого есть формула Больцмана, выбитая на его надгробии: $S = k \ln W$. Людвиг Больцман покончил с собой. Михаил Александрович Леонтович, еще будучи студентом, как-то пришел в общежитие и рыдая кинулся на кровать: «Вот теперь я знаю, почему Больцман застрелился!»

Есть идея, которая хватает и «размазывает» тебя по всей Вселенной, и есть конкретная задача, которую до завтра надо сдать. Компромисс между ними — реальный мост. Есть еще более реальный, но этот мост — бесконечность.

Любой ученый-фундаменталист — это человек, который строит мосты из бесконечности. Реальный мост ему кажется слишком простым, потому что он выступает как бы отражением быта. Единичка не должна рыдать, что она ничтожна по сравнению с бесконечностью. Она должна радоваться тому, что отражена в бесконечности. Такова дорога восприятия. По современным представлениям, восприятие — это переработка нервной системой информации, поступающей от органов чувств. Можно допустить, что появляются живые существа, у которых другой механизм обработки информации. Тогда внешний мир кажется им принципиально иным. Проблемы восприятия связаны именно с дальнейшим продвижением искусственного интеллекта в сторону как можно ближе к естественному и дальше — к сверхъестественному.

— Может быть создан такой искусственный интеллект, который будет воспринимать мир иначе?

— Конечно. Причем благодаря технике можно проводить любые эксперименты. В вашем журнале это обозначено очень ярко. Это хорошее название — «В мире науки». Дело в том, что в мире науки мы счастливы. Я счастлив, другие нормальные ученые, инженеры и конструкторы счастливы. А наука в мире — сирота. Поэтому в мире науки проблема искусственного интеллекта — одно из самых мощных и трудных направлений. И я пытаюсь его раскручивать.

Академик А.Н. Колмогоров в свое время давал такой критерий ценности научной идеи: в числителе — наблюдаемая сложность, в знаменателе — минимальная декодирующая программа. Я думаю, что работы Колмогорова в области искусственного интеллекта намного опередили американцев. Мне давали смотреть некоторые его черновики. Он собрал около 100 разных специалистов —

медиков, физиков, математиков.

Если говорить об искусственном интеллекте и тех задачах, которые стоят сегодня для подводного, надводного или авиационного космического оружия, это, конечно, очень перспективно. Хоро-

Проблемы восприятия связаны с дальнейшим продвижением искусственного интеллекта в сторону как можно ближе к естественному и дальше — к сверхъестественному

шими козырными картами владеет тот, кто будет владеть именно такими «прочеловеческими» тренировочными программами.

Я постоянно занимаюсь с детьми, и моя главная задача — переживать идею с такой силой радости, которая никого и ни за что не оставит равнодушным. В прошлом году, мне кажется, я справился. Один мальчик написал мне письмо: «Вы вообще есть или нет?» Он был на какой-то олимпиаде, и ему дети рассказали о моментальных вычислениях и удивительной красоте чисел. Я позвонил тому ребенку и назначил встречу.



Радость от идей гораздо сильнее и долговечнее, чем изображенная здесь

Задачу искусственного интеллекта, как и любую другую, решить нельзя, если в нее не влюбиться. В Индии не разрешали браться за задачу, если ты не мог сочинить о ней хотя бы одно четверостишие. Любовь к идее оздоравливает человека, позволяет ему прочно стоять на бетонной опоре, а головой уходить в облака. Она должна быть чрезвычайно сильным чувством. Чехословацкий поэт Витезслав Незвал, когда ему сообщили, что началась война, сказал: «А как же я допишу книгу?»

— Как Архимед: «Дайте мне формулу дописать».
— Именно.

Мы верим, друзья, в караваны торпед
— Если у нас уже есть хорошие ракеты, зачем нужны торпеды?

— Такие вопросы своевременны. Самыми главными раньше считались генеральные конструкторы подводных лодок. Но если в подводной лодке нет торпед, она превращается в консервную банку. Роль вооружения, особенно морского оружия, с морским интеллектом меняется, развивается по-другому. Конечно, ракеты как были, так и остаются самым важным оружием, но роль торпеды никто никогда не сведет к нулю. Развитие торпедного оружия сегодня начало меняться в сторону сильного уменьшения размеров торпеды. Двухтонные агрегаты какое-то время еще будут служить, но вообще уже существуют и хорошо себя показывают 50-килограммовые торпеды.

— Что же может такая торпеда?

— Она эффективнее, чем двухтонная. Засечь их сложно, они бесшумны. Тяжелые двухтонные торпеды, которые идут со скоростью примерно 100 км

в час, конечно, шумят. Пока идут, антиторпеда их уничтожает. Малые идут почти без шума, невозможно оперативно разобрать, что это за косяк идет, рыбный или торпедный. Несколько малых торпед, которые можно хоть с руки запустить, вполне могут по поражающему фактору заменить одну большую. Торпеда будущего — это искусственный интеллект, который необходимо приблизить к мозгу человека и даже пойти дальше. Для этого нужна очень мощная теоретическая база.

С другой стороны, малыми торпедами нагнетается напряжение, что соответствует сегодняшним запросам. Посмотрите, как развивалась агрессия в мире, начиная от дубинки и кулака. Раньше задача была

прихлопнуть противника, сейчас этого нет. Сейчас задача — вымотать противника, создать чувство неполноценности, свести его с ума. Когда на одной субмарине установлено от 24 до 30 торпед максимум, а недалеко от нее крутятся десятки лодок, на которые можно наткнуться, что делать? Попробуй плавать в озере с минами! Тут то же самое.

Мир развивается достаточно парадоксально. Какими бы умными мы ни были, мы сидим на пороховой бочке. У нас нет другого выхода, и не толь-

Скорость, с которой мы развиваемся, гораздо выше, чем скорость, с которой мы понимаем, зачем это делаем. Ничего хорошего в этом нет

ко у нас — вообще ни у кого нет. Роль торпедного оружия будет меняться постоянно, а с появлением миниатюрных торпед напряжение будет только расти. Но парадокс заключается в том, что именно общее напряжение пока и удерживает мир.

— Остается надеяться, что вся эта система напряжения не порвется от какой-то случайности или поломки.

— Сегодня нет просто подводного и просто надводного оружия, сегодня полный синтез в космосе, в воздухе, над водой, под водой. Эти системы очень сильно скоординированы и не очень устойчивы. Многоплановость оказалась «греховным» делом.

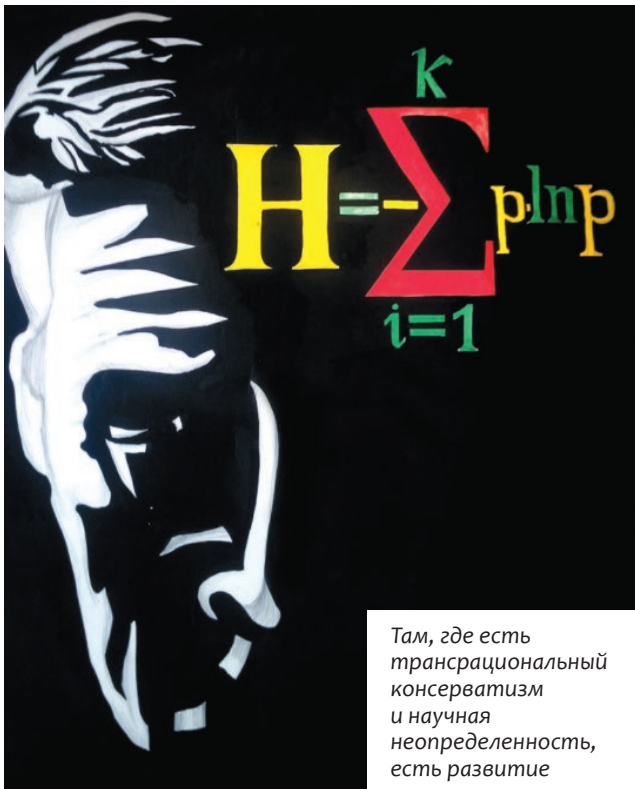
Поэтому эти разные направления, которые в торпедном оружии будут формироваться вначале как идея, концепция, потом как модель, прототип на испытаниях, должны проверяться в корне по-другому. Руководство Министерства обороны, с которым я многократно встречался, поддерживает идею о новой концепции проведения испытаний всех видов: заводских, отраслевых, государственных.

— Сейчас они проходят неправильно?

— Это плохой вопрос. Все правильное должно быть еще более правильно. Полторка и сейчас может ездить, но это неэффективно, потому что есть новая система. Старая нерациональна и не формирует внутри большой радости. Должна быть радость, сопровождающая идею.

Конечно, очень сильно восторгаться техникой не стоит. Скорость, с которой мы развиваемся, гораздо выше, чем скорость, с которой мы понимаем, зачем это делаем. Ничего хорошего в этом нет. Я сторонник того, что высшие формы консервативности прогрессивнее всего. Клетка консервативна, поэтому она служит нам так долго. Там, где есть трансрациональный консерватизм и научная неопределенность, есть развитие. Нельзя иметь ежедневно меняющиеся идеи-однодневки.

В мире оружия ничего лишнего быть не должно. Все лишнее отсекается. И в жизни тоже. Есть абсолютно новое направление, связанное с искусственным интеллектом и с нейролингвистическими программами.



Там, где есть трансрациональный консерватизм и научная неопределенность, есть развитие

— Развитие искусственного интеллекта, в частности в торпедах, может привести к появлению автономных торпедных аппаратов, которые фактически сами несут в глубинах боевое дежурство?

— Это высшая цель: торпеда, которая может сама ставить перед собой задачу и выполнять ее, конечно, в наших интересах. Но пока это еще очень и очень далеко. И, несмотря на мою подводную специализацию, думаю, что этого сначала добьются в космосе. Тогда 90% задач в сложных условиях очень больших океанских глубин и в космосе будут возложены на искусственный интеллект.

Работы, которые ведутся в этом плане совместно физиками, математиками, механиками, биологами, врачами, — это некая глобальная интеграция. М.В. Ковальчук уместно назвал это конвергенцией. Все было дивергентно, дифференцировано — для своего этапа это нормально. Теперь все большую силу обретает интегральный взгляд, не дивергенция, а конвергенция.

Конечно, у каждого свои представления о радости, но мне кажется, что все, кто влюблен в науку или в идею, могут быстро отойти от любой неприятности, просто вспомнив объект своей любви. Когда передо мной встает какая-нибудь проблема, я говорю себе: «Что же, эта проблема сильнее, чем моя любовь к Аристотелю, Пифагору, Эйнштейну? Она занимает больше места в моей душе? Значит, я не дотягиваю до преданности и любви». В горах говорят: «Конь требует не ухода, а искренней любви». Именно на нее он отвечает феноменальной преданностью. Так и с наукой: полюби ее искренне, и она ответит тебе взаимностью. ■

Беседовал Валерий Чумаков

СПРАВКА

Шамиль Гимбатович Алиев

- Российский академический и общественный деятель, разработчик торпедного оружия и один из его идеологов, доктор технических наук, профессор прикладной математики и вычислительной техники.
- С 1980-х гг. занимает должность главного инженера по научно-исследовательской работе и генерального конструктора САПР на заводе «Дагдизель».
- Советник главы Республики Дагестан по науке и ВПК, руководитель Центра прикладных технологий при Министерстве экономики и территориального развития РД, председатель правления Института прикладных программ и моделей при Ассоциации содействия Международному центру научной культуры — Всемирной лаборатории.



Марк Кинсинджер (слева) и его младшая сестра **Руфь** (справа; имена изменены) родились с одной и той же генетической патологией. У Марка болезнь диагностировали, когда ему было четыре года и необратимые нарушения в головном мозге уже произошли. С тех пор появилась пилотная программа скрининга новорожденных, и рано начатое лечение спасло от болезни многих детей с таким же генетическим дефектом, включая Руфь.

МЕДИЦИНА

ГЕНОМИКА ДЛЯ ЛЮДЕЙ

Врачи детской больницы, которую построили и содержат амиши и меннониты, уже сегодня предотвращают серьезные заболевания, используя высокотехнологичные достижения в генетике

Кевин Стросс

В ноябре 2002 г. Ливай и Эмма Кинсинджеры, владельцы небольшой фермы на юге Пенсильвании, отправились на такси со своим старшим сыном Марком в Клинику для детей с особенностями развития, находящуюся в 330 км от них в Страсберге, штат Пенсильвания. С раннего детства Марк был болезненным, социально неадаптируемым ребенком. Его взгляд бесцельно переходил с предмета на предмет. Он все время лежал на полу, совершая беспорядочные движения, не реагировал на звуки. Время от времени, непроизвольно подергиваясь, мальчик издавал гортанные стоны. В вопросе, который задали мне родители Марка и который я как детский врач слышал бесчисленное число раз, сквозило отчаяние:

«Что можно сделать для спасения нашего ребенка?»

ОБ АВТОРЕ

Кевин Стросс (Kevin A. Strauss) получил степень магистра в Гарвардской медицинской школе, сегодня — главный врач Клиники для детей с особенностями развития в Страсберге, штат Пенсильвания.



Наша клиника стала вторым домом для таких детей, как Марк. (Для соблюдения конфиденциальности имена всех детей, родителей и других членов семей, упоминаемых в статье, изменены.) Она помещается в солидном строении из бруса, возведенном руками амишей и меннонитов и оснащенном современным оборудованием, включая целый арсенал высокотехнологичных устройств для секвенирования ДНК. Мы обслуживаем коммуны так называемых скромников (или «скромных людей»), потомков членов протестантской анабаптистской церкви, которые переселились в Новый Свет в XVIII–XIX вв., спасаясь от гонений со стороны официальной церкви. Сегодня «скромные люди» живут небольшими изолированными общинами в разных частях Северной Америки и стараются не пользоваться благами цивилизации. Электричество и телефон в жилых домах запрещены, покроя одежды, как и манеры поведения, подчеркивают принадлежность к определенному сообществу, разного вида страховки отвергаются, технологии, разрывающие социальные взаимосвязи, исключены.

Скромники живут в отрыве от современного мира, но каждому родителю знакомо чувство страха за жизнь своего больного ребенка. «Будет ли моя дочь ходить?», «Можете ли вы остановить припадок?», «Это что, аутизм?» Вот вопросы, которые побудили нас перейти от современной академической биохимии и генетики к поискам ответов на них. Сегодня мы идентифицировали более 170 различных мутаций, опосредующих развитие тех или иных заболеваний, распространенных в популяциях «скромных людей» случайным образом. Примерно половина из этих мутаций приводит к нарушению процесса развития головного мозга,

и в отсутствие лечения дети погибают или остаются глубокими инвалидами. Быстрое, относительно недорогое, проводимое прямо на месте тестирование коренным образом меняет ситуацию. Оно позволяет выявить скрытые угрозы здоровью, подобрать прицельную терапию и встретить болезнь во всеоружии.

Сотрудничество и дружеские отношения лечащих врачей со «скромными людьми» позволяют получить представление о том, как геномика влияет на понимание природы сложных заболеваний. В союзе с некоторыми более или менее просвещенными семьями амишей мы недавно идентифицировали специфическую разновидность гена, повидимому, связанную с развитием биполярного расстройства (маниакально-депрессивного психоза, МДП), которое встречается у 2–4% жителей Земли и остается труднодиагностируемым заболеванием. Выявление корреляции между наличием конкретного генного варианта и МДП частично заполняет пробел между тем, что нам известно о причине невыносимых страданий, испытываемых больным, и пониманием того, чем мы можем ему помочь.

Цена жизни ребенка

Вернемся к семейству Кинсинджеров. В течение нескольких дней мы выявили целый букет аномалий в показателях крови Марка, связанных с недостаточностью фермента 5,10-метилентетрагидрофолат-редуктазы (*MTHFR*), первопричины патологии. Заведующий нашей лаборатории Эрик Паффенбергер (Eric Puffenberger) очень быстро обнаружил, что обе аллели гена, кодирующего этот фермент, содержат мутацию.

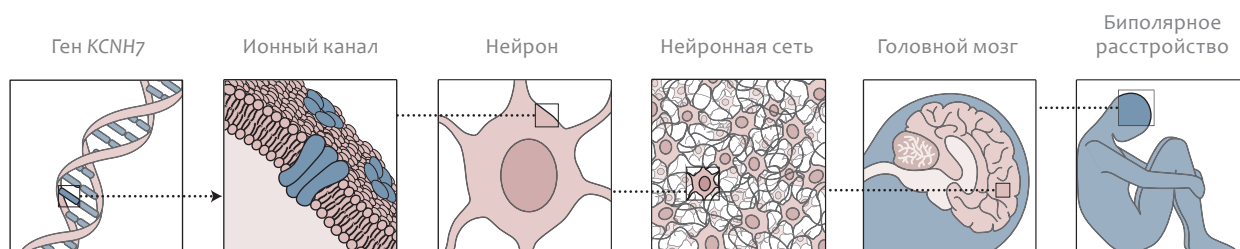
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Клиника для детей с особенностями развития в Страсберге, штат Пенсильвания, и члены общин амишей и меннонитов совместными усилиями пытаются устранить разрыв между генетикой человека как наукой и лечением больных с наследственными патологиями.
- Генетическая информация, собираемая с применением высокотехнологичных недорогих методик, позволяет некоммерческим клиникам диагностировать и лечить многих больных с инвалидизирующими или фатальными генетическими заболеваниями.
- Опыт работы клиники помогает повысить уровень медицинского обслуживания изолированных популяций, разбросанных по всему земному шару.
- Одно из недавних исследований, проведенных в нашей клинике, установило корреляцию между специфической мутацией и биполярным расстройством и продемонстрировало, как в рамках одной небольшой клиники можно решать очень сложные задачи.

Как мутации приводят к заболеваниям

Мутации, происходящие в генетическом материале человека, могут нарушать работу организма на разных уровнях (на уровне молекул, клеток, тканей и органов). Среди амишей и меннонитов некоторые генетические заболевания встречаются особенно часто. Каждый поступающий в клинику пациент проходит процедуру идентификации индивидуальных генных вариантов. При их обнаружении выясняют, есть ли причинно-следственная связь между ними и заболеванием, и подбирают

пути снижения или устранения последствий мутаций. Не так давно сотрудники клиники вместе с учеными других медицинских учреждений выявили ген, мутация в котором ассоциирована с биполярным расстройством у амишей. Теперь они могут воссоздать последовательность событий от возникновения мутации до расстройства эмоциональной сферы. Это позволит разобраться в этиологии биполярных расстройств в других популяциях и разработать стратегии их предотвращения.



Ген

Любой ген — это специфический сегмент ДНК, состоящий из последовательности нуклеотидов и кодирующий определенный белок. Белки — это «рабочие лошади» клеток. Мутации в их генах могут приводить к изменению конформации белковой молекулы и утрате или искажению функции. За биполярное расстройство отвечает мутация в гене *KCNH7*.

Белок

Функция белка неразрывно связана с его структурой. Белок, кодируемый геном *KCNH7*, пронизывает клеточную мембрану, образуя в ней канал, по которому в клетку попадают ионы калия. Замена всего одной аминокислоты приводит к существенному изменению конфигурации белковой молекулы и нарушению регуляции потока ионов.

Клетка

Все клетки нашего тела содержат одинаковые гены, но одни из них экспрессируются (на них синтезируются белки), а другие нет, причем профиль экспрессии неодинаков для разных клеток. Ионные каналы, образуемые белками *KCNH7*, имеются во всех нейронах головного мозга. От интенсивности потока ионов калия зависит электрический сигнал вдоль нейрона, и если в гене *KCNH7* возникает мутация, нейрон перестает функционировать правильно.

Ткань

Ткань может состоять из клеток разного типа. Так, головной мозг представляет собой сложную сеть взаимосвязанных нейронов, которую поддерживают так называемые глиальные клетки. Мутация в гене *KCNH7*, по видимому, нарушает работу не только какой-то одной нервной клетки, но и отдельных цепей нейронов, которые отвечают за наши эмоции.

Орган

Калиевые каналы есть у всех нервных клеток, но больше всего их в тех областях головного мозга, которые отвечают за когнитивные способности и эмоциональную сферу. В опытах на лабораторных животных показано, что мутация *KCNH7* действительно вызывает у них возбуждение.

Поведение

Биполярное расстройство характеризуется целым спектром симптомов, наиболее серьезные из них — мании, депрессии и психоз. Детально разобравшись в последствиих, к которым приводит мутация в гене *KCNH7*, от искажения структуры кодируемого им белка до нарушения будет найти новые подходы к разрыву цепочки событий, приводящих к патологии.

Я просмотрел всю доступную литературу и узнал, что первый случай недостаточности *MTHFR* был описан 30 лет назад Харви Маддом (S. Harvey Mudd) и его коллегами. Мадд был настоящей легендой среди биохимиков узкой области исследований, занимавшихся изучением промежуточного метаболизма, цепочки ферментативных реакций, в результате которых происходит извлечение энергии из питательных веществ и превращение экзогенных веществ в «строительные блоки» клетки. Ему принадлежит честь открытия биохимического пути транссульфирования — сложной сети превращений незаменимой аминокислоты метионина и снабжения метильными группами (CH_3) разнообразных молекул по всему телу. Метионин необходим для развития головного мозга и других органов, и метильные группы существенным образом влияют на то, как эти органы функционируют. *MTHFR* — важное звено в цепи адресной доставки

химических веществ. Марк, у которого эти ферменты отсутствуют, страдает серьезнейшими неврологическими заболеваниями, обусловленными дефицитом метионина и CH_3 в головном мозге.

Я позвонил Мадду, который в свои 75 лет был почетным профессором Национального института психического здоровья. Он великодушно согласился «сопроводить» меня по всему сложному пути транссульфирования и предположил, что могло бы помочь нашему подопечному. Это был патентованный препарат бетаин в форме порошка, который снабдит головной мозг метионином и CH_3 -группами через другой метаболический путь. Лечение обойдется всего в 60 центов в сутки. Следующие несколько месяцев я вместе с медицинской сестрой Кристиной Хендриксон (Christine Hendrickson) регулярно совершал четырехчасовые поездки к месту проживания Кинсинджеров и нескольких других семей с такими же проблемами.



Мы ездили от фермы к ферме, тщательно осматривая своих молодых пациентов, стараясь обнаружить последствия приема бетаина. С собой у нас были емкость с сухим льдом, портативная центрифуга и инвертер (преобразователь постоянного тока в переменный) в виде автомобильного прикуривателя, так что мы могли центрифугировать и замораживать отобранные у больных пробы крови на месте. Мы переправляли образцы Мадду, который с помощью своих коллег оценивал содержание метионина, бетаина и множества других веществ, участвующих в транссульфировании. Это позволяло сопоставлять дозу бетаина с его терапевтическим действием. В результате мы составили схему терапии и опубликовали ее в 2007 г.

Через неделю после начала приема бетаина Марк сделал первые шаги и стал просыпаться после звукового и светового сигналов. У других пациентов тоже наблюдалось улучшение — но с поправкой на возраст, с которого было начато лечение. У Марка и его сверстников, которые стали получать бетаин в относительно позднем возрасте, развитие головного мозга уже прекратилось. Густая сеть нервных связей, составляющая основу нашей психики, образуется гораздо раньше, и если временной порог пройден, болезнь вступает в свои права. Случай с Марком снял проклятие со всей его общины. До этого такие дети жили и умирали в неизвестности, отгороженные от общества тайной своих страданий.

Отрабатывая детали терапии, мы создали метод тестирования молодых пар амишей на наличие дефекта в гене *MTHFR* и пришли в ужас, обнаружив, что 30% внешне здоровых людей, проживающих там же, где и семья Киссинджеров,

Маленький меннонит с синдромом Менкеса («болезнью кленового сиропа») (слева), живущий в 35 км от клиники; ребенок с диагнозом «глутаровая ацидурия типа 1» (справа); чтобы находиться под постоянным наблюдением врачей, семья переехала поближе к клинике

содержат мутацию в одной из аллелей целевого гена. Это означало, что один из каждых 50 их детей будет болен. Осознав всю важность превентивной терапии, мы обратились в 2003 г. к Эдвину Нейлору (Edwin Naylor) из недавно созданной им в Питтсбурге лаборатории, занимавшейся скринингом. Результатами нашего сотрудничества стали

создание и внедрение в практику метода обнаружения *MTHFR*-мутации в высушенных пятнах крови на бумажных фильтрах, пробы которой брали у каждого новорожденного для рутинного теста на наличие различных наследственных заболеваний.

Примечательно, что первым ребенком, которому был поставлен диагноз новым методом, была сестра Марка Руфь, родившаяся в сентябре 2008 г., ровно через десять месяцев после того, как родители привезли в нашу клинику Марка. Руфь стала получать бетаин на второй неделе после рождения и нормально развивалась в течение всех последующих 12 лет наблюдений. Сегодня она — преуспевающая студентка, любящая дочь и азартный игрок в стикбол (*игра, напоминающая бейсбол. — Примеч. пер.*).

В 2009 г. Мадд с женой встретились с семьей Кинсинджеров на приеме в честь 20-летия Клиники для детей с особенностями развития. Пока Мадд разговаривал с родителями Руфи, та вскарабкалась к нему на колени. Позже он сказал мне, что это был счастливейший момент в его научной карьере.

Мадд умер в январе 2014 г. в возрасте 86 лет. Через несколько недель его вдова получила самодельную открытку со словами: «Дорогая г-жа Мадд! Пусть наша любовь неизменно сопутствует вам.

Превентивная экономика

Успехи в борьбе с «болезнью кленового сиропа» (*MSUD*) наглядно показывают, какие преимущества дает внедрение биохимического и генетического подходов в повседневную медицинскую практику. *MSUD* — редкое генетическое заболевание, встречающееся в разных популяциях, но наиболее распространенное среди меньшинств, проживающих в Пенсильвании: здесь с таким диагнозом рождается каждый 380-й ребенок. Это серьезная патология; до открытия нашей клиники 39% ее жертв умирали в раннем детстве, а большинство выживших страдали психическими расстройствами.

У детей с *MSUD* отсутствует фермент, необходимый для расщепления трех аминокислот, и их концентрация в организме достигает токсичного для головного мозга уровня. Все три вещества выводятся в неизменном виде с мочой, отчего та приобретает характерный запах кленового сиропа.

Новорожденные с этим синдромом выглядят вполне здоровыми, но через три-пять дней становятся беспокойными, а затем у них возникают непроизвольные мышечные спазмы. В отсутствие лечения начинается отек мозга, наступает кома — и ребенок умирает.

До открытия нашей клиники такие дети, живущие в сельской местности, не получали адекватного лечения: оно было несистемным, дорогим и малоэффективным. Чтобы попасть на прием к врачу городской клиники, семьям приходилось иногда совершать длительные поездки, порой более 150 км. Они оставались в больнице на несколько недель, и стоило это от \$50 тыс. до \$100 тыс.

Начиная с 1989 г. наша клиника заботится о 80 больных со дня их рождения. Половине из них диагноз был поставлен на месте в течение 12-24 часов после рождения, и мы их выписали, снабдив необходимыми медикамента-

ми. Остальным диагноз был поставлен в результате скрининга. Их пролечили и выписали через пять дней. В течение 25 лет мы достигли значительных успехов в мониторинге и лечении больных *MSUD*. Для тестирования мы использовали те же пробы крови, по которым проводят стандартные анализы; для снижения уровня токсинов внутривенно вводили питательные смеси, разработали новые диеты для оптимизации среды, в которой находится головной мозг. Благодаря этому время госпитализации уменьшилось с 7,0 до 0,1 суток на пациента в год. Стоимость лечения уменьшилась на 98%, что давало экономии бюджета коммуны по крайней мере \$4,8 млн в год.

Считается, что все новые технологии очень дороги, но цена зависит в значительной степени от того, как ими пользоваться. Так, превентивная диагностика и своевременно начатое лечение существенно снижают затраты.

Как вы себя чувствуете? У меня все хорошо. Сегодня у нас туман, а мне кажется, что сияет солнце. Я жду не дождусь, когда можно будет ходить по двору босиком. С любовью, Руфь».

Корни геномной медицины

Необычайно высокая частота встречаемости заболеваний, обусловленных дефицитом *MTHFR*, среди «скромных людей» связана с уникальностью их социальной и культурной истории. Небольшие группы анабаптистов, выживших во время трансатлантического путешествия, составляли весьма ограниченный генный пул. Как и все мы, они, сами того не подозревая, были носителями разнообразных мутаций. В изолированных популяциях такие генные варианты передаются от поколения к поколению, никак себя не проявляя, пока какой-нибудь ребенок не станет носителем двух копий дефектного гена. Этот так называемый рецессивный тип наследования — один из важных механизмов возникновения генетических заболеваний в изолированных популяциях, где бы они ни находились. Для современных анабаптистов проблема заключается в том, что им недостает медицинских знаний и они предпочитают не обращаться к врачам.

В начале 1960-х гг. ныне покойный Виктор Маккьюсик (*Victor McKusick*), один из пионеров современной медицинской генетики, первым осознал всю ценность изучения профиля наследственных заболеваний у амишей и заложил основы нового подхода к исследованию их недугов. Несмотря на подозрительное отношение амишей к действительности новых технологий, скромники доверились

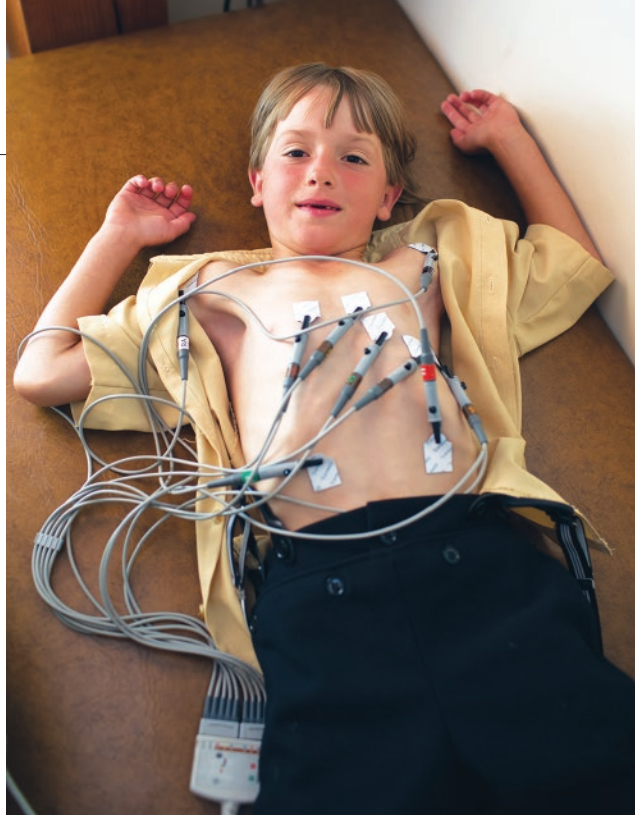
Маккьюсику и его коллегам в надежде, что это поможет будущим поколениям. Кульминационным моментом исследований стала публикация в 1976 г. статьи «Медицинское исследование генетики амишей» (*Medical Genetic Studies of the Amish*), в которой излагались сведения о 18 уже известных и 16 впервые диагностированных генетических заболеваниях в популяциях амишей Северной Америки. Эти ранние работы позволили узнать много нового о природе генетических заболеваний у человека, но мало в чем помогли членам обследуемой популяции.

Лет через десять с молодым врачом по имени Холмс Мортон (*D. Holmes Morton*) произошла другая история. В 1988 г., когда он проходил стажировку в Детской больнице Филадельфии в качестве биомедицинского генетика, один из коллег попросил его исследовать пробу мочи шестилетнего мальчика-амиша по имени Дэнни, у которого с 14-месячного возраста наблюдались внезапные необъяснимые эпизоды утраты двигательных навыков. Местные врачи считали, что у мальчика детский церебральный паралич, но Мортон, используя масс-спектрометрию и газовую хроматографию, обнаружил в моче больного вещество под названием 3-гидроксиглутаровая кислота, что указывало на наличие редкого наследственного заболевания — глутаровой ацидурии типа 1 (*GA1*).

Мортон навестил Дэнни в его доме в округе Ланкастер, где узнал о многих других семьях, которые в письмах рассказывали друг другу о своих детях с такими же недугами, как у Дэнни. В 1991 г. Мортон с коллегами сообщил в печати о десяти



У детей, лечащихся в клинике, наблюдаются разнообразные серьезные проблемы со здоровьем: аритмия (оба фото сверху), пороки развития головного мозга (внизу слева), наследственный синдром дефицита внимания (внизу справа)



диагностированных случаях заболевания *GA1* среди амишей — как раз столько эпизодов было зарегистрировано к тому времени по всему миру. Он выслушивал душераздирающие рассказы родителей о мучениях их детей, которым они не могли помочь: поколение за поколением эти люди наблюдали, как малышей настигает таинственный недуг, а позже могли лишь сетовать на недоступность медицинской помощи — по причине удаленности больниц или дороговизны лечения. Все это навело Мортон и его жену Кэролайн на мысль о строительстве местной клиники — своего рода дневного стационара, где не имеющие страховки «скромные люди» могли бы оставлять своих малышей для постоянного наблюдения и лечения.

Так начался эксперимент по оказанию медицинской помощи, коренным образом отличающейся от принятой в США системы. Его уникальность

состояла в постоянном общении между врачом и родителями, которые не понаслышке знали о том, что такое генетическое заболевание. Один из амишей, у которого были два брата, больных *GA1*, предоставил под строительство два с половиной акра земли. Члены другой коммуны купили пиломатериалы и наняли строителей. С тех пор и по сию пору коммуны скромников поддерживают клинику, считая, что это — вклад в будущее их детей и внуков. Примерно 75% годового бюджета, составляющего \$2.5 млн, поступают из благотворительных фондов, в том числе \$850 тыс. от благотворительных аукционов, устраиваемых родителями, где продаются самодельные игрушки, цветы, сладости и кондитерские изделия ручной работы, мебель и еще многое другое. Благодаря полученной от продажи выручке стоимость визита к врачу или лабораторного анализа не превышает

\$150, что на 70% меньше цены аналогичных услуг в каком-нибудь академическом медицинском центре при сравнимом качестве обслуживания.

Мортон знал, что лечение нужно начинать сразу после генетического тестирования, которое следует проводить при рождении ребенка, и оказывать квалифицированную помощь вплоть до наступления юношеского возраста. К сожалению, об упреждающих мерах проще говорить, чем реализовывать их. Вот две из многих других проблем: корректный генетический анализ бессмыслен, если он сделан слишком поздно, а самая «умная» молекулярная терапия бесполезна, если она стоит так дорого, что ее невозможно оплатить. Наша клиника — это то место, где наука смыкается с практикой; она позволяет членам коммуны самим заботиться о себе, избегая всевозможных бюрократических проволочек, свойственных официальной медицине.

Весь первый этаж клиники занимают современные секвенирующие приборы. Начиная с 1998 г. сотрудники нашей лаборатории, возглавляемой Паффенбергером, совместно с врачами клиники идентифицируют ежегодно от пяти до 15 специфичных для данной популяции амишей генных вариантов. Сфокусировавшись на молекулярно-генетических методах, мы получаем возможность с высокой точностью диагностировать большинство генетических заболеваний за время, не превышающее 24 часа, и за сумму менее \$50. Это позволяет предугадывать время возможного проявления патологического процесса и его течение.

В 1994 г. Мортон в тесном сотрудничестве с Нейлором провел выборочный скрининг новорожденных в масштабах штата с целью выявления больных GAI. А несколькими годами позже Стивен Гудман (Stephen I. Goodman) из Медицинской школы при Колорадском университете идентифицировал мутацию, вызывающую данное заболевание у амишей. Это существенно ускорило и удешевило тестирование. Выявляя детей — носителей GAI-мутации до появления симптомов заболевания и применяя интенсивную терапию, мы уменьшили риск инвалидизации с 94 до 36%, и это довольно большая величина.

В 2006 г. мы в сотрудничестве с Ричардом Финкелем (Richard Finkel), основателем компании *Applied Nutrition*, которая специализируется на пищевых добавках, разработали так называемую «медицинскую формулу» — специализированную диету для детей, больных GAI. Было известно, что ассоциированная с этой патологией мутация приводит к накоплению в головном мозге глутаровой кислоты и других токсичных веществ, образуемых из лизина, и что аргинин может блокировать поступление лизина в этот орган. Тщательным образом подбирая соотношение между этими двумя аминокислотами (с использованием

компьютерного моделирования), мы надеемся снизить содержание лизина в головном мозге и тем самым уменьшить выработку нейротоксинов.

Я проверил действенность этого подхода на 12 больных в ходе клинических испытаний, проведенных в период между 2006 и 2011 гг. У пролеченных детей выработка токсинов уменьшилась вдвое. Мы опубликовали эти результаты в 2011 г. и с тех пор пролечили 25 больных новорожденных. Результаты не вызвали сомнений: частота повреждений головного мозга уменьшилась до 5%, и почти все новорожденные — носители GAI-мутации, принимающие наши добавки, развивались нормально. В случае многих других генетических заболеваний аналогичный подход привел к уменьшению частоты инвалидизации и смерти на 50–95%, что однозначно свидетельствует о том, что ученые, которым не чуждо чувство сострадания, могут сделать очень многое для предотвращения мучительных болезней.

Популяций много — биология одна

Исследование редких генетических заболеваний сыграло особую роль в развитии молекулярной биологии. Только пристальное наблюдение за последствиями мутаций в том или ином гене позволяет получить полное представление о том, как тот же ген, но функционирующий нормально, влияет на биологию организма. Еще в 1657 г. Уильям Гарвей (William Harvey) прозорливо заметил, что лучший способ выведать у природы ее секреты состоит в исследовании редких заболеваний. Справедливость идеи Гарвея стала очевидна три с половиной века спустя. Вникнув в динамику взаимосвязи редких генных вариантов и психического статуса, мы не так давно раскрыли тайну одного из наиболее распространенных психических отклонений.

С Кэти, женщиной лет 40, согласившейся участвовать в нашем исследовании биполярного расстройства у амишей Пенсильвании, я познакомился ранним осенним утром. Она предпочла, чтобы мы встретились в сарае, где ее муж Дэвид занимался починкой небольших машин. Целыми днями Дэвид работал за двоих — заботился о Кэти, страдавшей биполярным расстройством уже более десяти лет, и о пятерых ребятишках. Для работы, дававшей хоть какой-то доход, времени почти не оставалось.

Впервые биполярное расстройство проявилось у Кейти после рождения второго ребенка. Ее речь стала очень быстрой, мысли разбегались. Временами она начинала без устали прибираться дом, не ложась спать. «Полы грязные, ужасно грязные», — повторяла она. Когда сверхдеятельное состояние сменялось депрессией, Кейти безучастно лежала на кровати, равнодушная к повседневным делам и членам семьи. Голоса мужа, детей,

родителей постоянно нашептывали ей откуда-то издалека: «Ты никчемная, пустая женщина». Но самым страшным ее мучением, на которое она неустанно жаловалась, когда мы с ней только познакомились, было ощущение переполненности желудка какими-то массажами, причинявшими постоянную боль: это были хронические перцептуальные галлюцинации.

Психические болезни — в том числе биполярное расстройство — встречаются в разных популяциях с частотой от 12 до 47%. В США на их долю приходится до 40% общего числа заболеваний среди молодых людей, а число самоубийств вдвое превышает число убийств. Изолированные группы, такие как амиши, во многом предпочтительнее как объект изучения наследуемости психических заболеваний и многих других распространенных патологий. Одно из таких исследований, «Изучение серьезных аффективных расстройств в популяциях амишей» (*Amish Study of Major Affective Disorders*), началось в 1976 г. и охватывало целые родословные с высокой частотой встречаемости биполяр-

Знания о действии генов позволят визуализировать клеточные механизмы с беспрецедентной степенью детализации и понять, как разные его молекулярные составляющие работают в норме и патологии

ных расстройств. В течение 30 лет под наблюдением находилось более 400 пациентов, обследуемых наиболее тщательным образом за всю историю медицинской генетики.

31 декабря 2011 г. Паффенбергер и я посетили одну из семейных встреч, организуемых Аланом Шулдинером (Alan Shuldiner) и исследовательской клиникой, построенной амишами при Мэрилендском университете. Ведущие психиатры рассказывали собравшимся «скромным людям» о психических заболеваниях, часто встречающихся в их семьях и коммунах. В завершение они подытожили результаты 35-летних исследований биполярного расстройства в популяциях амишей следующими словами: «Почти все, о чем мы здесь рассказали, вам известно». На пути к автомобильной стоянке меня остановили три сестры, которые участвовали в семейных встречах, подобной нынешней, уже более 20 лет. Девять из 11 родственников их поколения провели большую часть жизни в страданиях, которые несет с собой биполярное расстройство. Сестер интересовало, действительно ли в нашей

клинике, прославившейся тем, что берется за решение самых сложных задач, могут выяснить, какому гену они обязаны своими муками.

Со своим вопросом сестры попали в самую точку. Совсем недавно мы начали сотрудничество с Кеймбриджским институтом Брода в штате Массачусетс, чтобы оценить возможности секвенирования экзонов в рамках исследования редких генетических заболеваний. Экзом — это совокупность нуклеотидов всех экзонов, сегментов ДНК, кодирующих приблизительно 19 тыс. белков нашего организма.

Экзом — это примерно 1% генома человека, однако именно в нем содержатся гены, изменения в которых (мутации) могут вызвать наследственные заболевания. Его секвенирование — самый результативный и дешевый на сегодня способ идентификации генов, ассоциированных с той или иной патологией.

Исторически наша клиника занимается почти исключительно больными детьми, однако в психиатрии важны все аспекты жизни пациента —

психический статус членов семьи и членов общины; наше сотрудничество с Кеймбриджем позволило провести тестирование ДНК семьи взрослых амишей с биполярным расстройством. Примечательно, что у всех них обнаружился крайне редкий вариант гена, кодирующего белок *KCNH7*. Замена всего одного нуклеотида в этом гене приводила к искажению структуры белка в области, оставшейся постоянной в ходе эволюции у самых разных организмов. Изменения в таких консервативных участках обычно ко-

ренным образом сказывается на функции белков.

В течение следующих двух лет Сандер Маркс (Sander Markx) и Майкл Фест (Michael First) с факультета психиатрии Колумбийского университета помогли нам расширить круг обследуемых и более строго характеризовать их состояние. В результате мы получили возможность работать с такими исследовательскими центрами, как Медицинский колледж Уэйла Корнелла при Пенсильванском университете, Колледж Франклина и Маршалла и Институт медицинской генетики Маккьюсика — Натанс при Университете Джонса Хопкинса. Это сотрудничество приблизило нас к возможности отслеживать перемещения белка *KCNH7* в клетке, что позволило продемонстрировать, как мутации в нем меняют электростимуляцию нейронов, и создать статистическую базу для будущих открытий. Прежде всего мы идентифицировали специфическую мутацию, которая сигнализирует о высокой вероятности биполярного расстройства у амишей. Результаты исследований мы опубликовали в 2014 г., и теперь врачи и генетики

могут использовать связь между мутацией в гене *KCNH7* и психическими расстройствами при обследовании других популяций.

Больше всего белка *KCNH7* содержится в областях головного мозга, отвечающих за настроение и когнитивные способности. В этих областях он создает трансмембранные каналы, по которым осуществляется перенос ионов калия. Эфемерные волны этих ионов, направляющиеся то в клетку, то наружу, самым прямым образом связаны с тем, как мы думаем и что чувствуем. Нам трудно представить, что электрохимические сигналы лежат в основе эмоций, наркозависимости, психозов и суицидальных мыслей. Но, как показывает опыт, ничтожно малые изменения в срабатывании калиевых каналов могут привести к периодическим приступам бешенства и отчаяния.

Переход на генетический уровень позволит говорить о душевных расстройствах в конкретных терминах. Идентификация мутантного варианта гена *KCNH7* ценна потому, что это создает почву для совместных рациональных обсуждений проблемы медиков с пациентами и помогает устранить у больных чувство вины и стыда за свое поведение. Если говорить о ближайшем будущем, то установление связи между определенной мутацией и биполярным расстройством поможет своевременно начать лечение таких больных, как Кэти. В отдаленной перспективе можно будет синтезировать лекарственные вещества, которые воздействуют на *KCNH7*-каналы. Здесь мы вплотную подходим к некоей разновидности персонифицированной медицины, созданию целого класса терапевтических средств для лечения биполярного расстройства у людей, относящихся к самым разным популяциям.

Взгляд в будущее

Исследования генетики биполярного расстройства у амишей — это на самом деле ключ к будущему медицины, история о том, как генетическая информация могла бы использоваться для предсказания нашего будущего. В своей клинике мы используем сегодня простой и недорогой метод анализа крови, отбираемой из пупочного канатика новорожденного, что позволяет оценить риск возникновения биполярного расстройства на 30 лет вперед. Поскольку психическим заболеванием у взрослых часто предшествуют такие симптомы, как колебания настроения и перемены в поведении, можно, ориентируясь на эти пока малозначительные отклонения, провести ДНК-анализ, оценить вероятность развития патологии и принять меры, позволяющие человеку жить полноценной жизнью. Но следует ли проводить скрининг всех новорожденных амишей для выявления дефектного *KCNH7*-гена?

Этот вопрос становится все более актуальным и касается не только таких людей, как амиши. Просмотрите внимательно свой экзом, и вы

найдете от 20 до 40 тыс. отклонений от нормы. 20% из этих генных вариантов могут повлиять на функционирование белков, а примерно 1 тыс. крайне редки, возможно даже свойственны только вам. Сколько же вариантов могут повлиять на ваше будущее? И как быть с теми, которые окажутся неблагоприятными? Ответ зависит от того (по крайней мере отчасти), что мы считаем важным для данного человека в данное время. Может статься, этим определяется успех (или неуспех) лечения: популяционные данные, собранные по крупницам за последние 25 лет, подобны розеттскому камню. Они позволяют смотреть на генетические показатели через призму специфического социального контекста, приспособив терапию к пациенту: начать нужное лечение в нужное время.

В масштабах популяций такого рода знания о действии генов позволят визуализировать клеточные механизмы с беспрецедентной степенью детализации и понять, как разные его молекулярные составляющие работают в норме и патологии. Но страдающая сторона — не эти составляющие, а человек. Клиницисты и молекулярные биологи, работающие бок о бок над решением проблем одного больного, могут искусно вплести геномику в медицинскую практику, придумав стратегии, работающие на опережение.

Педиатрия — та область, которая подходит для проверки этих идей как нельзя лучше. В нашей клинике знания и умение шагают в ногу. Работа с детьми заставляет нас использовать предсказательную силу генетики, ставя во главу угла результат. Занимаясь одним ребенком, потом вторым, третьим, мы постепенно заполняем пробел между геномными исследованиями и повседневными медицинскими мероприятиями, что в нашей клинике представляет собой рутинную практику, движимую знанием, что нужно именно этому пациенту здесь и сейчас. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

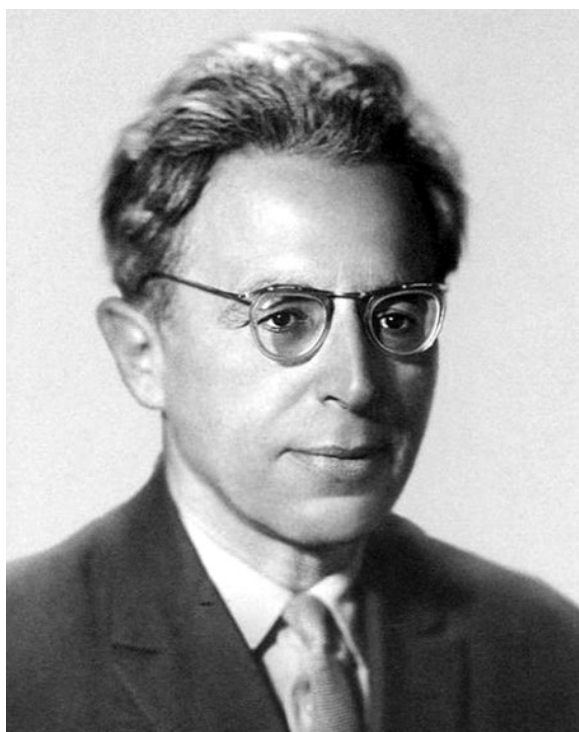
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Prevention of Brain Disease from Severe 5,10-methylenetetrahydrofolate Reductase Deficiency. Kevin A. Strauss et al. in *Molecular Genetics and Metabolism*, Vol. 91, No. 2, pages 165–175; June 2007.
- Genetics, Medicine, and the Plain People. Kevin A. Strauss and Erik G. Puffenberger in *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, Vol. 10, pages 513–536; September 2009.
- One Community's Effort to Control Genetic Disease. Kevin A. Strauss, Erik G. Puffenberger and D. Holmes Morton in *American Journal of Public Health*, Vol. 102, No. 7, pages 1300–1306; July 2012.
- A Population-Based Study of *KCNH7* p.Arg394His and Bipolar Spectrum Disorder. Kevin A. Strauss et al. in *Human Molecular Genetics*, Vol. 23, No. 23, pages 6395–6406; December 1, 2014.

Академик Н.С. Кардашев:

«Мы стоим на пороге

удивительных
открытий
в астрономии»



И.С. Шкловский (1.07.1916–3.03.1985) — выдающийся советский астрофизик, основоположник всеволновой астрономии

Исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося советского ученого, одного из основоположников отечественной астрофизической науки, члена-корреспондента академии наук Иосифа Самуиловича Шкловского. Его ученик академик **Николай Семенович Кардашев** руководит Астрокосмическим центром Физического института Российской академии наук (АКЦ ФИАН). Этот центр в последние годы стал известен прежде всего тем, что пять лет назад запустил грандиозный космический проект «Радиоастрон», который и сегодня успешно работает на орбите.

— **Николай Семенович, в институте недавно прошла международная конференция, посвященная 100-летию вашего великого учителя. Вы довольны результатами ее работы?**

— Конференция прошла очень хорошо. Для меня это тем более важно, что почти до самого ее начала мы волновались, состоится ли конференция, удастся ли ее организовать. Не секрет, что сейчас трудное положение для науки — с финансированием,



Возможно, где-то совсем рядом с нами есть какое-нибудь «окошко», через которое можно «выглянуть» в другие вселенные или попасть туда. Рассуждать об этом интересно, но требуются фундаментальные научные исследования.

с реорганизацией академии. Однако все состоялось. Было около 150 участников, 50 человек приехали из-за рубежа, фактически со всех материков. Прозвучали очень интересные доклады, посвященные как памяти самого Иосифа Самуиловича Шкловского, так и новым научным результатам, которые стали возможны в том числе благодаря его работам.

— **Какие из идей И.С. Шкловского находят продолжение в науке?**

— Такие исследования ведутся по многим направлениям. В первую очередь это касается, конечно, радиоастрономии, в становлении которой он был одним из главных лидеров. Кроме того, он плотно занимался и другими диапазонами астрономии — гамма-, рентгеновским, оптическим и инфракрасным. Объектами исследований становилось фактически все, что выше поверхности Земли, начиная с верхних слоев атмосферы. И.С. Шкловский занимался, например, вопросом изменения состава верхних слоев атмосферы. Все эти научные направления весьма актуальны.

— **Слышала, Российская академия наук учредила премию имени И.С. Шкловского?**

— Да, выпущено постановление президиума академии наук, и примерно через год эту премию начнут вручать российским ученым за заметные достижения в астрофизической науке.

— **Помните ли вы свое знакомство с Иосифом Самуиловичем? Какое впечатление он на вас произвел?**

— Впервые я увидел И.С. Шкловского будучи студентом МГУ. Тогда будущие астрономы учились не на физфаке, а на мехмате. Он читал нам курс лекций по квантовой механике — и делал это, надо сказать, блестяще. Он слыл легендарной личностью, первым начавшим читать курс радиоастрономии. Было начало 1950-х гг. На его лекции приходили слушатели с других факультетов, множество внешних специалистов. Тогда никто еще не знал, что это такое. Вызывал интерес сам факт, что радиоволны, оказывается, приходят не только от радиостанций, но и откуда-то из Вселенной. Это чрезвычайно интриговало.

— **Правда ли, что попытки обнаружить иные цивилизации с помощью радиосигналов в нашей стране начались раньше, чем на Западе?**

— Фактически одновременно. У нас этим впервые занялись В.С. Троицкий и И.С. Шкловский, у них — Карл Саган и Фрэнк Дрейк. Дрейк потом вывел знаменитую формулу и согласно ей попытался посчитать количество цивилизаций в галактике, с которыми у нас есть шанс вступить в контакт. Саган потом не раз приезжал сюда, выступал у нас в ФИАН, в МГУ, встречался со Шкловским. Он ценил его чрезвычайно высоко.



Заведующий отделом Астрокосмического центра ФИАН по созданию приборов космической обсерватории «Радиоастрон» Б.З. Каневский

— **Как вы думаете, почему эта программа не увенчалась успехом? Почему Вселенная молчит?**

— Это большая и сложная тема. Существуют разные точки зрения, и одна из них — для такой связи не очень подходит радиодиапазон. Уже давно высказывались сомнения, но теперь есть прямые экспериментальные доказательства. Есть и пессимистические соображения, что любая цивилизация в конце концов самоуничтожается, поэтому шансов встретить братьев по разуму у нас мало. Так или иначе, пока мы не нашли следов такого рода деятельности в космосе. Хотя открытия последних лет показывают несколько новых очень перспективных направлений дальнейших исследований.

— **Давайте поговорим о знаменитой шкале Кардашева. Это системная модель космических цивилизаций, которые делятся по своему энергопотреблению. Согласно вашей шкале, земная цивилизация относится к самому низшему, первому типу, пытающемуся освоить энергию своего светила. Второй тип — это овладение энергией своей галактики, третий — выход за ее пределы. Сейчас ваши взгляды не изменились?**

— Они расширились. Произошло это в связи с тем, что появились модели множественных вселенных. Интересно, что И.С. Шкловский тоже думал о мультивселенной еще до появления этого термина, у него есть статьи на эту тему. Если эта концепция верна, на каком-то этапе мы можем оказаться готовыми к связи с более высоко развитой цивилизацией, в результате чего шагнем на другую цивилизационную ступень. А может быть, и переедем туда насовсем.

— **Звучит, конечно, неожиданно, но, с другой стороны, люди должны время от времени менять место жительства на более комфортное.**

— Именно так. И, кстати, книга Карла Сагана «Космическое будущее человечества», впервые переведенная на русский язык и изданная в 2016 г., посвящена в том числе этим вопросам.

— **Как вы относитесь к многочисленным сообщениям очевидцев о наблюдениях НЛО, о контактах с братьями по разуму?**

— Отношусь хорошо, но, к сожалению, не очень этому доверяю, потому что не видел ни одной четкой фотографии. Никаких фактов, научных доказательств, увы, нет. Но зато есть очень интересные научные факты по астрономии.

— **Вы имеете в виду открытие сотен экзопланет, подобных Земле?**

— Нет, я имею в виду возможные районы обитания высокоразвитых цивилизаций. За последние два года была обнаружена звезда всего в тысяче световых лет от нас, которая странно себя ведет. Она изредка сильно меняет свою яркость, время от времени уменьшая ее. Как будто ее что-то закрывает, а потом открывает. По поводу этой звезды было много публикаций, и у нас в России имеется большой энтузиаст, я его поддерживаю и с ним согласен. Это Леонид Васильевич Ксанфомалити, доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории в Институте космических исследований РАН. Его и других авторов идея состоит в том, что закрывают звезду очень большие конструкции техногенного происхождения. Есть и зарубежные публикации на эту тему, на их основе составлен список объектов, которые могут оказаться высокоразвитыми цивилизациями. Надо эти объекты исследовать.

— **Насколько я знаю, Л.В. Ксанфомалити до этого наблюдал какие-то движущиеся объекты на Венере, но его догадки не подтвердились. Может быть, и здесь все окажется фантазией?**

— Фантазия для ученого — это совсем не плохо. Мало того, это прекрасно и важно. Надо только не слишком увлекаться этим процессом, проверять научные факты и построенные модели. Что касается научных фактов, пока результат изучения реальных фотографий Венеры говорит о том, что, вполне возможно, на них наблюдаются перемещающиеся предметы. Российские ученые недавно договорились с американцами о совместном полете новой автоматической станции на эту планету. Вот и посмотрим. Правда, будет это не скоро, в 2025 г. или даже позже.

— **Исполнилось пять лет «Радиоастрону», который и сегодня обладает самым мощным разрешением за всю историю астрономических наблюдений. Что наиболее фундаментального удалось открыть за эти пять лет?**

— Работа проведена огромная. Измерено около 200 объектов, сделано около 50 публикаций, получены очень интересные результаты по изображениям многих объектов и их поведению во времени.

Поскольку к нам поступают гигантские массивы информации, основная часть результатов пока не обработана. Честно говоря, мы сами такого не ожидали. Пять лет непрерывного функционирования — и при этом ресурс еще не отработан, утверждён план на два года вперед.

— **Слышала, поведение пульсаров оказалось не совсем таким, как ожидалось?**

— Да, пульсары нас удивили. Дело в том, что на месте каждого пульсара видно сразу несколько штук, иногда даже несколько десятков, целая россыпь «звездочек». На самом деле это физически не так, просто условия распространения радиоволн в межзвездной среде таковы, что сигнал расщепляется и становится видно сразу несколько объектов. Это очень важное свойство. С его помощью можно изучать облака межзвездной плазмы, их движение и определять расстояния до них. С другой стороны, это открытие говорит о том, что дециметровый диапазон неудобен для внеземных цивилизаций: вся информация до потребителя распространяется одновременно по многим каналам с разным временем прихода и изменением частоты. В результате понять информацию невозможно. Еще в 1979 г. я опубликовал статью, где пришел к заключению, что для поисков иных цивилизаций надо использовать миллиметровые и субмиллиметровые волны. Сейчас появились крупные наземные и космические телескопы, работающие в этом диапазоне. Наш следующий проект «Миллиметр», надеюсь, поможет решить эту задачу.

— **Есть ли новости насчет черных дыр? Ведь не секрет, что с этими экзотическими объектами тоже немало разногласий, а один из создателей теории черных дыр Стивен Хокинг недавно опубликовал статью о том, что их не существует.**

— Для меня тут никаких неожиданностей нет. Черную дыру в одной из ближайших галактик как раз наблюдал «Радиоастрон». Хотя вопросы, конечно, еще остаются. Мы думаем, что, может быть, некоторые из наблюдаемых предполагаемых черных дыр — это на самом деле кротовые норы, то есть объекты совсем другого типа, предсказанные крупнейшими физиками-теоретиками и образующие каналы, которые связывают разные области нашей Вселенной или даже другие вселенные. Но, конечно, там могут оказаться совершенно убийственные условия, да и сама структура кротовых нор весьма сложна и непонятна.

— **Даже теоретически невозможно представить такую технику, с помощью которой мы могли бы достичь пределов подобного объекта и остаться в живых.**

— Сейчас себе такое представить действительно трудно. Но ведь еще несколько десятилетий назад никто не мог даже предположить, что человек полетит в безвоздушное пространство.

— **Нужно ли, с вашей точки зрения, человеку вообще туда лететь или достаточно отправлять роботов, создавать программы виртуальных путешествий по Вселенной?**

— Русские философы-космисты много рассуждали на тему трансформации человека будущего. К.Э. Циолковский видел его распространившимся по всей Вселенной в виде некоей мыслящей субстанции. В.И. Вернадский считал, что человек станет самовосстанавливающимся, автотрофным существом, как растения или ящерицы. Некоторые предрекали будущее бессмертие. Мы не знаем, как будет развиваться человечество, насколько верным окажется предвидение космистов. Будет интерес туда лететь — значит, появятся технологии, которые сделают это возможным. А может быть, у нас возникнет возможность получать информацию прямо оттуда. Кто знает, вероятно, где-то совсем рядом с нами есть какое-нибудь «окошко», через которое можно «выглянуть» в другие вселенные или попасть туда. Рассуждать об этом интересно, но требуются фундаментальные научные исследования. Проводить их очень важно, ведь они определяют путь в будущее человечества. Заниматься этим надо не просто из любопытства, а потому что такие исследования могут дать нам ценные сведения о погибших цивилизациях, о причинах их гибели, подсказать, по каким путям стоит развиваться, а по каким не стоит. А еще очень хотелось бы, чтобы в нашей стране внимание к науке было существенно большим. Разговоры о том, что нужно сократить финансирование науки, хотя, казалось бы, оно и так урезано ниже всех возможных уровней, ведут к нашей гибели и как страны, и как народа. Нельзя этого допустить.

— **Удалось ли пролить свет на темную материю и темную энергию? Ведь и на эту тему существуют различные точки зрения математиков и физиков.**

— Здесь у нас пока очень мало наблюдательных данных. Нужна более тщательная их обработка, чтобы изучить области Вселенной, где темная материя уже обнаружена. Есть множество предположений о том, что может быть темной материей и энергией. Однако то, что существует нечто, имеющее массу и энергию в необычных формах, думаю, не подлежит сомнению. Одно из очень красивых предположений — модель зеркальной Вселенной, находящейся здесь же, рядом с нами, где все точно так же — атомы, электроны, молекулы, но взаимодействует с нами только гравитационно.

— **То есть мы в нее смотримся, как в зеркало?**

— Нет, мы ее не видим. Она существует параллельно, в нашем пространстве. Уже много лет идут эксперименты. У нас в России большим энтузиастом таких исследований был академик Лев Борисович Окунь.



Академик Н.С. Кардашев, ученик И.С. Шкловского, руководитель Астрокосмического центра ФИАН

— **Но как можно такое экспериментально подтвердить?**

— Если есть такая же Вселенная, как наша, должна быть гравитация, а ее можно зафиксировать, измерить. Наличием такого сильно гравитирующего объекта можно объяснить в том числе наличие темной материи и энергии. В Италии есть специальная установка, которая вроде бы подтверждает существование зеркальной материи. Но многие в этом сомневаются. Есть предположения и о многомерной вселенной. Мы с вами не видим других измерений, кроме наших трех плюс время, но они могут существовать. Это подтверждает теория струн, которая сейчас вновь создается с учетом новых астрономических открытий. Она многое объясняет и предсказывает некие новые свойства, которые надо экспериментально проверять. Для этого нужно создавать принципиально иные телескопы, проводить исследования — словом, заниматься фундаментальной наукой, которая поможет нам понять все эти крайне сложные и не менее важные вещи. Я думаю, мы стоим на пороге удивительных, революционных открытий в области астрономии и астрофизики, которые произойдут очень скоро, на наших глазах, если мы не будем так глупы, чтобы на этом экономить.

— **Вы сказали, что программа исследований с «Радиоастроном» продлена на два года. Какие планы на это время?**

— Мы хотели бы получить данные по наиболее интересным объектам, которые нами уже обнаружены. Есть настолько компактные объекты, что их изображения получить не удалось. На борту нашего телескопа, к счастью, имеется неизрасходованный запас горючего, поэтому в принципе мы можем изменить орбиту. Сейчас она вытянутая. Нам бы хотелось, чтобы она стала более круглой, и при этом ориентация базы интерферометра будет сильно меняться по разным направлениям. Это даст возможность в течение одного витка получить очень высокое разрешение во всех направлениях. Сейчас мы выделили несколько десятков источников, которые наиболее интересны и наиболее

Человек должен жить для получения новых знаний, для созидания, для того, чтобы стать творцом части Вселенной. Если так не будет, дело закончится самоуничтожением

более компактны. Планируем в ближайшее время получить хорошее изображение этих объектов.

— **Николай Семенович, а что с другим вашим космическим проектом — «Миллиметроном», обладающим в тысячу раз большей чувствительностью, чем «Радиоастроном»?**

— «Миллиметрон» официально включен в космическую программу России, финансируется, деньги выделяются, но, к сожалению, есть очень большие трудности, связанные с наличием санкций, которые мешают международному сотрудничеству. Запустить его в срок совершенно нереально. Надеюсь, он полетит примерно в 2026 г.

— **Наверное, вы слышали, что Московский планетарий инициировал сбор подписей за возвращение в школы уроков астрономии. Это важно? Зачем детям нужна астрономия?**

— Это исключительно важно! Воспитание нового поколения должно определить, зачем человек появился, зачем живет, что он будет делать дальше. Да, это прекрасно, что мы создаем новые технологии для производства продуктов питания с заданными полезными свойствами, с помощью принципиально новых технологий учимся исцелять ранее неизлечимые недуги, но не менее важно понять, кто мы такие, откуда пришли и куда движемся. Без понимания этих вопросов все остальное лишено

смысла. Неужели мы живем только для того, чтобы есть? А когда еда закончится, мы не будем знать, что делать дальше. Человек должен жить для получения новых знаний, создания новых форм искусства, для созидания, для того чтобы стать творцом части Вселенной. Если так не будет, дело закончится самоуничтожением, а это соответствует одному из пессимистических сценариев развития цивилизации. Мне не хочется в него верить.

Лариса Николаевна Лихачева, заместитель директора ФИАН по проектам «Радиоастрон» и «Миллиметрон»:

— «Радиоастрон» имеет эксклюзивную структуру. Обычно проекты академии наук состоят из одного или нескольких приборов, которые устанавливаются на космической платформе. Наш проект отличается тем, что у него очень сложная конструкторская часть. Инженерами на Земле была разработана уникальная укладка, благодаря которой 27 лепестков радиотелескопа оказались сложенными в кокон, уместающийся под обтекатель. В космосе эти лепестки должны были раскрыться, создав единую поверхность, что и случилось. Два дня мы ждали этого момента, а когда они, наконец, раскрылись, ощутили ни с чем не сравнимое счастье. По сей день там все четко и слаженно работает, мы имеем всего 2% потерь сеансов за счет атмосферных или электромагнитных воздействий.

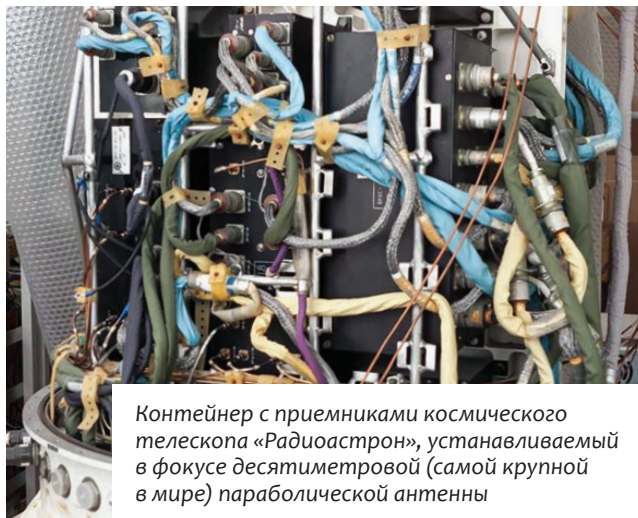
Кроме исследований дальнего космоса с борта «Радиоастрона» осуществляется успешная работа прибора Института космических исследований «Плазма-Ф». Это тоже очень важные исследования, имеющие к нашей земной жизни самое непосредственное отношение. Задачи эксперимента «Плазма-Ф» — мониторинг межпланетной среды в целях составления прогнозов «космической погоды», исследование турбулентности солнечного ветра и магнитного поля, процессов ускорения космических частиц. Спутник несколько дней

находится вне магнитосферы Земли, что позволяет наблюдать межпланетную среду, а потом очень быстро проходит все слои магнитосферы, благодаря чему можно следить за ее изменением. Прибор может измерять поток солнечного ветра с временным разрешением в 30 мс.

С «Радиоастрона» к нам в центр обработки информации ежедневно поступают гигантские массивы данных. Сначала они идут на коррелятор, подвергаясь там первичной обработке. Строится корреляционная функция. Затем ученые проводят вторичный анализ. Таким образом, не заметить, потерять что-то важное, прорывное практически невозможно.

Не менее уникален проект «Миллиметрон», запуск которого планируется на 2026 г. Покрывающие его поверхность панели делаются из углепластика. Это углеродное волокно, которое пропитывает наше российское предприятие НИИКАМ, находящееся в Переславле-Залесском. Панели выкладываются на абсолютно точной оснастке, которая делается из астроситалла. Обычно из этого материала производятся оптические зеркала. Технологическая оснастка для наших панелей будет иметь феноменальную точность в 1 мкм. Сделает эту работу Лыткаринский завод оптического стекла. Парадокс в том, что один и тот же клей должен использоваться для самых разных экстремальных условий — как при 180° C при запекании панели телескопа, так и при 4° K при эксплуатации в космосе. Все это он должен одинаково успешно выдерживать. Это нужно для того, чтобы обеспечить беспрецедентную точность телескопа. Так что «Миллиметрон» — это не только возможность научного космического прорыва, но и ноу-хау в отечественном материаловедении и огромный шаг в развитии российских технологий для использования в космосе. ■

Беседовала Наталия Лескова



Контейнер с приемниками космического телескопа «Радиоастрон», устанавливаемый в фокусе десятиметровой (самой крупной в мире) параболической антенны



Заместитель директора ФИАН по космическим обсерваториям «Радиоастрон» и «Миллиметрон» Л.Н. Лихачева



Лети, мысль, лети!

Стив Айан

К счастью, мозг никогда не отдыхает. Почему к счастью? Потому что блуждание мыслей приносит нам поразительные озарения

Начнем с эксперимента. Он очень прост: закройте на миг глаза и попробуйте совсем не думать. Дайте угадать: не получилось? Совсем не думать намного сложнее, чем кажется. Это не в природе человека. Нас постоянно преследуют какие-то мысли, даже если мы не отдаем себе в этом отчета.

«Ой, ты же должен еще ответить на письмо того британского ученого, исследующего мечты, его зовут Смоллвуд, "маленький лес"; как ты в воскресенье шел через заснеженный парк, все там было такое чудесно

тихое и белое; через млечный лес, ах нет, "Под сенью млечного леса", радиопьеса Дилана Томаса, ее передавали недавно по радио; ты хотел бы когда-нибудь перечитать ее, да все никак не соберешься...»

И так далее, и тому подобное — возникает бесконечная нить ассоциаций. Причина проста: наш мозг никогда не отдыхает. Даже в ночное время, когда мы спим, мозг не знает функции паузы. Либо он рождает ассоциативные ряды, либо он мертв. Третьего не дано.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- 1** Психологи утверждают, что примерно половину времени нашего бодрствования мы проводим мечтая, когда мысли «гуляют сами по себе».
- 2** В этот момент мозг активизирует совокупность областей, которая называется сетью пассивного режима работы мозга.
- 3** Новые исследования подтверждают, что мечтательность рождает новые творческие идеи и позволяет нам отправляться в ментальные путешествия.

ОБ АВТОРЕ

Стив Айан (Steve Ayan) — психолог и редактор *Gehirn & Geist*, сейчас находится в декретном отпуске. Мечтательность, скорее всего, посещает его в моменты качания дочери на руках.

Для нейробиологов это очевидно: нет нулевой линии, спокойно-го состояния, при котором можно измерить любую активность в голове, инициированную для решения умственной задачи.

Чтобы проследить за работой нейронов, используемых при восприятии, мышлении, принятии решений, во время тестирования испытуемым поступают в сканер мозговой активности определенные раздражители. В паузах принимающие участие в исследовании должны наблюдать за крестом в центре экрана, выполняющим функцию контрольного изображения. Возникающие при этом нейронные вспышки впоследствии «вычитаются» из активности, вызванной предлагаемыми учеными стимулами. А что делает испытуемый, которому совершенно нечего делать? Правильно: он отдается блужданию мыслей.

«Долго еще я должен смотреть на этот дурацкий крест? Это просто смешно... Ах, я же еще должен купить по дороге домой хлеб!»

Чтобы вычислить этот поток воспоминаний и мыслей, исследователи фиксируют данные измерений во время и между блоками заданий. Повторение этой измерительной процедуры способно показать среднюю величину.

В ходе таких исследований в конце 1990-х гг. ученые столкнулись со странным явлением: даже бездеятельный мозг показывает стабильную активность. Одним из первых об этом сообщил в 2001 г. радиолог Маркус Райхл (Marcus Raichle) из Вашингтонского университета в Сент-Луисе в своей известной научной статье.

Отсутствие активности в трубе томографа стимулирует специфическую сеть областей головного мозга, которая вновь отключается по мере продолжения теста.

Райхл окрестил этот ансамбль корковых областей сетью пассивного режима работы мозга (СПРРМ; «базовый», или «спящий» режим). В нем

задействованы части префронтальной коры, задняя поясная кора, медиальная височная доля и предклинье верхней части теменной доли.

Тишина в голове? Невозможно!

Джонатан Смоллвуд (Jonathan Smallwood) из Йоркского университета считает, что определение состояния головного мозга «режим отдыха» вводит в заблуждение. Активность даже в «спящем» режиме не подразумевает отключения мозга, наоборот, гарантирует поток воспоминаний, мыслей, идей и планов. «Функция *default mode* — не безделье, а расслабление и отпускание мыслей свободно бродить в голове», — объясняет Смоллвуд. Он один из ученых, изучающих психологию и нейробиологию, которые занимаются вопросами, как и зачем возникают мечты.

Долгое время вне поля внимания исследователей оставалась одна особенность дневных грез: сложность контроля над ними. Невозможно проверить, где появляются и как дальше существуют мысли в головах испытуемых. И хотя теоретически респондент может вслух обозначить, когда его мысли

сбиваются с пути, практически это почти невозможно. Мы не можем зафиксировать момент, когда начинаем «грезить наяву»; только выйдя из этого состояния, мы осознаем, что произошло.

Это очевидное отсутствие метапознания, вероятно, имеет нейроанатомические причины, предположил Смоллвуд со своим коллегой по Калифорнийскому университету в Санта-Барбаре Джонатаном Шулером (Jonathan

Schooler) в обзорной статье 2015 г. Области мозга, позволяющие нам задумываться о наших мысленных действиях, также задействованы в «спящем» режиме. А если они оказываются захвачены мечтанием наяву, для самоконтроля — этого «размышления о мышлении» — видимо, просто не остается достаточно мощности и ресурсов.

Исследователи дневных грез пытаются проникнуть в суть странствующего ума. Наши мысли идут по своему собственному пути, если мы не задаем им конкретную задачу, требующую особого внимания

КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Что делает мозг, когда ничего не делает

**Правое полушарие
головного мозга**
Внутренний вид

Медиальная пре-
фронтальная кора
головного мозга

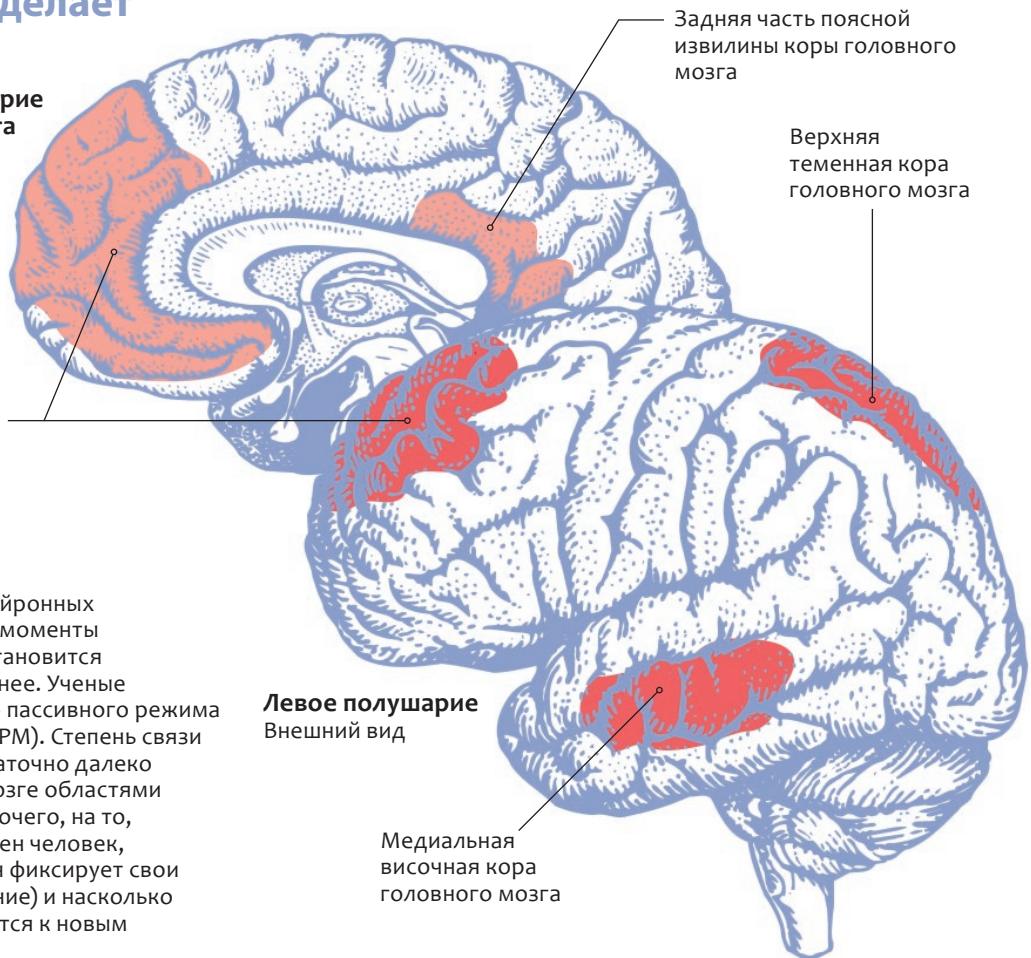
Сеть из четырех нейронных «коммутаторов» в моменты фантазирования становится значительно активнее. Ученые называют ее сеть пассивного режима работы мозга (СПРРМ). Степень связи между этими достаточно далеко разнесенными в мозге областями влияет, помимо прочего, на то, насколько креативен человек, насколько легко он фиксирует свои мысли (метапознание) и насколько хорошо адаптируется к новым перспективам.

Левое полушарие
Внешний вид

Медиальная височная кора
головного мозга

Задняя часть поясной
извилины коры головного
мозга

Верхняя
теменная кора
головного мозга



Чем скучнее тест, тем раньше приходят мечты

Исследователи дневных грез пытаются проникнуть в суть странствующего ума так же, как геологи изучают состав горной породы: они берут «образец мысли» с помощью данных сухих тестовых заданий. В конце концов, наши мысли идут по своему собственному блуждающему пути, если мы не задаем им конкретную задачу, требующую особого внимания.

Это могут быть моменты абсолютного свободного времени, но ведь и их мы заполняем разнообразными мыслями, будь то планы на следующий отпуск или идеи о том, что приготовить на ужин. Еще чаще мы погружаемся в мечтания во время таких рутинных дел, как бег, вождение или глажка белья.

Исследователи используют для обозначения этого явления термин «стимулонеиндуцированные мысли». Многие указывают на то, что активность СПРРМ представляет нейронный субстрат этого состояния.

Так, ученые из Университета Британской Колумбии в Ванкувере под руководством Калины Кристо (Kalina Christo) специально наводят скуку на испытуемых: участники эксперимента должны сопровожать каждое число, возникающее на экране, нажатием клавиши, за исключением тех случаев, когда появляется цифра «3». «О чем вы думаете в этот момент?» — раз за разом спрашивают у испытуемых. Как и ожидалось, даже в таком простом тесте появляется множество ошибок, когда респонденты погружаются в свои мечты. Тот, кто теряет концентрацию, совершает ошибку. Как много случается различных ДТП просто из-за того, что люди в пробке впадают в это состояние?

Психологи Мэттью Киллингсворт (Matthew Killingsworth) и Дэниел Гилберт (Daniel Gilbert) из Гарвардского университета в 2010 г. выяснили, что мы погружены в мечтания приблизительно половину нашего времени бодрствования. В течение наших дневных грез мы проигрываем все те же эмоциональные сценарии, что и ночью во время

Ты еще мечтаешь или уже ломаешь себе голову?

Границу между мечтательностью и раздумьями провести сложно. Как правило, и то и другое происходит незаметно для нас и не поддается объективным измерениям («Я не хочу размышлять так много!»). В то время как мечтатели блуждают от одной фантазии к другой, люди, склонные к излишней рефлексии, тонут в негативных мыслях и придумывают несуществующие проблемы. Постоянные раздумья о мнимых ошибках или личных недостатках — это распространенный признак, а в более мягкой форме — фактор риска развития депрессивных нарушений. Сегодня нейрopsихологи уже могут это хорошо проследить на основе мозговой активности: когда депрессивные люди концентрируются на определенной тестовой задаче, они не так сильно приглушают/притупляют/сдерживают СПРРМ, как здоровые контрольные испытуемые. Ученые считают это признаком повышенной самофокусировки депрессивного человека: они слишком заняты собой даже тогда, когда речь на самом деле идет о чем-то другом.

Источники: *Proc. Nat. Acad. of Sci. USA* 106, p. 1942–1947, 2009; *Psychos. Med.* 74, p. 904–911, 2012.

сна: чаще всего объектами этих «мысленных отступлений» становятся гнев, страх и стыд. «Почему он так себя повел? Как же я так глупо поступила!» Если верить Киллингсворту и Гилберту, мечты тем самым воздействуют на настроение. Но настолько ли чаще блуждающий разум возвращается к негативным воспоминаниям и мыслям, чем сфокусированный, как полагают оба исследователя?

Дискомфорт, который провоцируется мечтами, во многом обусловлен и тем, что сегодня они считаются пустой тратой времени, считает Джонатан Смоллвуд. Очень часто мечтатели ругают себя за то, что они «не делают ничего существенного». По мнению ученых, мы недооцениваем то, насколько важен процесс мечтаний: он дает возможность формировать новые идеи, создавать новые планы и обращаться к воспоминаниям. Смоллвуд убежден, что «в состоянии грез мы соглашаемся с требованиями окружающего мира, наш мозг имитирует то, что может произойти».

Это полезно для повседневного планирования как в социальном взаимодействии, так и в случаях, когда мы пытаемся поставить себя на чужое место. Как заявили в 2015 г. ученые под руководством Роберта Спанта (Robert Spunt)

из Калифорнийского технологического института, СПРРМ вспыхивает сильнее, когда мы пытаемся оценить/понять/определить, что замышляют наши близкие.

Рэнди Бакнер (Randy Buckner) и Дэниел Кэрролл (Daniel Carroll) из Гарвардского университета в своей обзорной статье 2008 г. пришли к выводу, что СПРРМ идентична тем областям головного мозга, которые отвечают за ментальные проекции. Так психологи обозначают полеты мысли, в которых мы представляем себе грядущие события или переносим себя в другое место. У тех, кому это особенно легко удается, дорсомедиальная префронтальная кора, ключевая часть СПРРМ, значительно больше, чем у менее склонных к фантазиям респондентов.

Это подтверждают и выводы, одновременно указывающие на креативное воздействие мечтаний. Нидерландские психологи под руководством Апа Дайкстерхейса (Ap Dijksterhuis) из Амстердамского университета в 2013 г. сделали вывод, что люди, которым приходят на ум многочисленные альтернативные варианты использования любого предмета, будь то кирпич или ластик, обладают большим количеством серого вещества и более тесными связями в СПРРМ-областях.

Нейронные связи для большей изобретательности

Американо-австрийская исследовательская группа под руководством Роджера Бити (Roger Beaty) объявила в 2014 г.: «эксперты» в области дивергентного мышления, по совместительству испытуемые, на вопросы наподобие «Что можно сделать с металлической банкой?», «Откуда берется шум?», фонтанируют идеями и показывают большую функциональную связь между префронтальной корой и другими частями СПРРМ, чем менее изобретательные участники эксперимента. Чем теснее связаны эти области мозга друг с другом, тем живее происходит обмен информацией. Это, в свою очередь, и рождает возможность фонтанировать идеями.

Но статистическая корреляция между архитектурой мозга и творческой жилкой может быть связана с третьими факторами. Например, определенные гены влияют как на структуру нейронных соединений, так и на творческую силу человека, при том что оба этих элемента могут быть абсолютно не связанными друг с другом. Следующая ступень в искусстве доказательств, полученных экспериментальным путем, — тесты «до и после», так называемые интервенционные исследования.

Что на самом деле воздействует на степень изобретательности, пока ваш ум находится в свободном плавании, в последнее время усиленно изучается и анализируется. Так, команда Бенджамина Бейрда (Benjamin Baird) из лаборатории Шулера

в Санта-Барбаре пришла к выводу, что испытуемые могут извлечь пользу из ускоренного курса (крэш-курса) только в том случае, если у них будет время на мечтания.

Известный тест на креативность с кирпичом ставит перед испытуемыми задачу за две минуты предложить как можно больше оригинальных способов пользования им. Через 15 минут испытуемые повторяют задание — и наилучшие результаты показывают те, кто прошел во время перерыва несложный тест на реакцию. Сам по себе этот тест настолько прост, что автоматически становится для респондентов возможностью пометить. Те же, кто использовал перерыв просто для того, чтобы перевести дух, или те, кому, наоборот, пришлось выполнять сложный тест на память, не показали хороших результатов при повторе задания.

Секрет вынашивания идеи

Объяснение исследователей таково: при решении креативной задачи важнейшую роль играет инкубация (в психологии под этим термином понимается вынашивание идеи. — Примеч. ред.). Это подразумевает отстранение от конкретного реального объекта (или «перцепционное расщепление») и рождение новых идей, которое чаще всего происходит тогда, когда мы мечтаем. По мнению многих ученых, именно этот процесс оправдывает блуждание мыслей, несмотря на все его недостатки, в частности невозможность совершать точную работу, сосредоточиться. Таким образом, получается, что рецепт успеха творческого духа заключается в возможности легко переключаться с одной фантазии на другую. Именно этот талант можно развить с помощью простых средств, к чему пришли китайские психологи под руководством Дунтао Вэя (Dongtao Wei) в 2014 г.: тренировка креативности, занимающая всего минуту-другую, усиливает обмен сигналами в областях СПРРМ, сети фантазий в мозге.

Конечно, мы не всегда можем оставаться креативными. Чтобы справляться с повседневной жизнью, нам необходимо выполнять различные процедуры. Ментально мы постоянно пережевываем одни и те же мысли, особенно если находимся

Чтобы справляться с повседневной жизнью, нам необходимо выполнять различные процедуры. Чтобы выйти за пределы привычного, мы должны позволить себе иногда окунуться в праздность и мечтательность, а не избегать этого. Но на самом деле это намного проще сказать, чем сделать

в состоянии стресса. Чтобы выйти за пределы привычного, мы должны позволить себе иногда окунуться в праздность и мечтательность, а не избегать этого. Но на самом деле это намного проще сказать, чем сделать.

Американский психолог Тимоти Уилсон (Timothy Wilson) в своем эксперименте 2014 г. пытался выяснить, на что готовы пойти респонденты, чтобы избежать безделья. Он попросил добровольцев сидеть в ожидании в пустой комнате. Единственное, что там было, — электрошокер. В итоге через 15 минут приблизительно две трети мужчин и женщин добровольно ударили себя током! И это несмотря на то, что перед

тестом они оценили удары током как неприятные и болезненные. Выходит, даже боль лучше, чем бездумное сидение в ожидании? Может, лучше научиться терпеть скуку? Ведь она может принести столько сюрпризов. ■

Перевод: Е.С. Новоселова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Inspired by Distraction: Mind Wandering Facilitates Creative incubation. B. Baird et al. in *Psychological Science*, No. 23, p. 1117–1122, 2012.
- Experience Sampling during fMRI Reveals Default Network and Executive System Contributions to Mind Wandering. K. Christo et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, No. 106, p. 8719–8724, 2009.
- A Wandering Mind is an Unhappy Mind. M.A. Killingsworth, D.T. Gilbert in *Science*, No. 330, p. 932, 2010.
- The importance of the Default Mode network in Creativity — a Structural MRI study. S. Kühn et al. in *The Journal of Creative Behavior*, No. 48, p. 152–163, 2014.
- Wandering Minds: The Default Network and Stimulus-independent Thought. M.F. Mason et al. in *Science*, No. 315, p. 393–395, 2007.
- The Science of Mind Wandering: Empirically Navigating the Stream of Consciousness. J. Smallwood, J.W. Schooler in *Annual Review of Psychology*, No. 66, p. 487–518, 2015.
- Just Think: The Challenges of the Disengaged Mind. T. Wilson et al. in *Science*, No. 345, p. 75–77, 2014.

ПОЛЬЗА ДЛЯ МОЗГА ОТ

КОГНИТИВНЫЕ НАУКИ

ВИДЕО- ИГР

Охота на зомби и борьба с инопланетянами могут способствовать длительному улучшению умственных способностей

Дафна Бавелье и Шон Грин

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

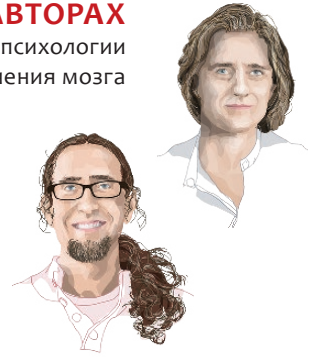
- Динамичные игры типа шутеров обычно не упоминаются в числе видов деятельности, улучшающей работу мозга. Однако за последние 15 лет в нескольких исследованиях было показано, что подобные игры зачастую способствуют изменению различных аспектов когнитивной деятельности.
- По-видимому, игры улучшают сразу целый спектр способностей, в том числе внимание, скорость обработки информации, легкость переключения с одной задачи на другую и мысленное вращение предмета.
- Существуют опасения, что игры способствуют повышению агрессивности и могут вызывать зависимость. Теперь, когда исследователи выяснили, как игры помогают развитию некоторых умственных способностей, они приступили к созданию неагрессивных игр, ориентированных на людей с когнитивными нарушениями.



ОБ АВТОРАХ

Дафна Бавелье (Daphne Bavelier) — профессор факультета психологии и педагогики Женевского университета и факультета изучения мозга и когнитивных наук Рочестерского университета.

Шон Грин (C. Shawn Green) — доцент психологического факультета Висконсинского университета в Мадисоне.



В конце 1990-х гг. наша лаборатория в Рочестерском университете занималась проверкой несколько необычной идеи о том, что при получении нового опыта даже в мозге взрослого человека могут вырастать новые клетки или меняться нервные связи. Такой биологический процесс называется нейропластичностью. В рамках данного исследования один из нас (Шон Грин), в то время восемнадцатилетний студент, создал компьютерную программу, позволяющую оценить, насколько хорошо испытуемый находит определенную фигуру на картинке, содержащей большое количество изображений.

Сначала Грин проверял сам себя. Закончив тест, он стал утверждать, что в программе существует ошибка, которую ему не удастся отловить. Если судить по опубликованным ранее работам, где использовался данный тип теста, его уровень выполнения должен быть намного ниже идеального, но Грин постоянно набирал очень высокий балл. Его руководитель (Дафна Бавелье) стала беспокоиться, что задача не выполнена. Она спросила: «Может быть, тебе перестать работать с самим собой и попробовать новых испытуемых?»

Через несколько дней Грин сообщил, что у свеженабранных участников тоже отличный уровень выполнения. Решив разобраться с проблемой, Бавелье попросила протестировать ее саму. Уровень оказался далек от идеального. Он почти точно совпал со значением ожидаемого среднего показателя. Когда Бавелье спросила Грина, кого он использовал в качестве новых испытуемых, он ответил, что протестировал нескольких ближайших друзей.

Нашей группе понадобилось некоторое время, чтобы понять, почему Грин и его товарищи так хорошо справлялись с задачей. В итоге мы остановились на одном ключевом факторе. Все участники компании более десяти часов в неделю играли в недавно вышедшую видеоигру под названием *Team Fortress Classic*.

Когда это выяснилось, сразу же возник вопрос: могут ли «бессмысленные» видеоигры, в которых надо побеждать зомби, инопланетян, монстров

и злодеев, вызывать улучшение когнитивных способностей? То, что начиналось как поиск ошибки в компьютерной программе, вылилось в новое исследование, в котором оценивается влияние видеоигр на мозг и поведение.

Когда мы начинали нашу работу, динамичные видеоигры типа шутеров не рассматривались учеными как средство, улучшающее работу головного мозга. Однако за прошедшие 15 лет наши исследования вместе с работами, выполненными в других лабораториях в разных уголках Земли, подтвердили, что игра в компьютерные игры жанра экшн может способствовать улучшению некоторых когнитивных способностей.

Проводя это исследование, мы и другие группы ученых обнаружили, что видеоигры способны положительно влиять на разные способности. Те, кто регулярно играет в экшн-игры, лучше сосредотачиваются на видимых деталях, это пригодится при чтении мелкого шрифта в юридическом документе или на упаковке лекарства. Кроме того, такие люди лучше различают слабokontrastные объекты, что может быть полезно, например, при вождении в густом тумане. Им точнее удастся мысленно вращать объекты и, соответственно, определять, как лучше погрузить в фургон диван необычной формы. Многозадачность, когда во время обеда требуется переключать внимание между беседой и чтением меню, им тоже дается легче.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИГР

Разнообразие игр

Совокупность видеоигр образует сложную, постоянно меняющуюся систему. Существует более десяти общепризнанных основных жанров (в том числе экшн, спортивный симулятор, командные игры). Эти жанры в свою очередь делятся на сотни разновидностей (стратегия в реальном времени, пошаговая стратегия, глобальная стратегия — все это разновидности жанра стратегии). Кроме того, в каждой категории существуют десятки тысяч игр с различными названиями.

Что касается воздействия на когнитивные способности, то большинство

исследователей сосредоточились на оценке влияния одного конкретного жанра — игр типа «экшн», к которым относятся шутеры от первого и третьего лица, такие как *Call of Duty* или *Gears of War*, а также игры, которые обычно называют приключенческими боевиками (*Grand Theft Auto*), экшн (*Burnout*) и ролевыми боевиками (*The Mass Effect series*), и др.

Несмотря на то что экшн-игры по сравнению с остальными сильнее улучшают распознавание, внимание и другие способности, из приведенного ниже списка видно, что другие игры тоже могут

быть полезны не только для веселого времяпрепровождения. Показано, что спортивные игры, стратегии в реальном времени и ролевые боевики могут улучшать некоторые способности так же, как и экшн-игры. Кроме того, игры тех жанров, которые не влияют на когнитивные способности, могут оказывать положительное влияние на социальное поведение и эмпатию. Исследователи, изучающие социальные игры, обычно классифицируют их иначе, чем те, кто занимается изучением когнитивных способностей: часто игры разделяют на те, где есть сцены насилия, и те, где их нет.



ЭКШН. Большинство исследований, посвященных влиянию игр на когнитивные способности, сосредоточены именно на экшн-играх, а именно на таких их разновидностях, как шутеры и приключенческие боевики. Показано, что подобные игры улучшают ряд когнитивных способностей.



СТРАТЕГИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ. К играм данного типа относится *StarCraft*, там есть военный научно-фантастический сюжет, и играющий вовлекается в войну между несколькими галактическими расами. Показано, что эта игра улучшает когнитивную гибкость и способность переключаться с одной задачи на другую.



ТРЕХМЕРНАЯ ГОЛОВОЛОМКА. Цель игры *Portal 2* — найти выход с помощью набора объектов. Те, кто играл в эту игру, достоверно лучше решали задачи, продемонстрировали лучшие пространственные навыки и упорство по сравнению с контрольной группой, игравшей в развивающую игру *Lumosity*.



ПРОСОЦИАЛЬНЫЕ. Согласно обзору, опубликованному в 2009 г. в *Personality and Social Psychology Bulletin*, молодые люди из разных стран, игравшие в «социальные» игры, где надо было помогать другу, в дальнейшем больше сотрудничали при взаимодействии со сверстниками.

Более того, улучшается способность реагировать на быстроразвивающиеся события. У тех, кто играл в экшн-игры, скорость реакции повысилась более чем на 10% по сравнению с первоначальной. Видеоигра может даже способствовать большей успешности в работе. По-видимому, игры позволяют научиться принимать правильное решение в стрессовых ситуациях, а этот навык востребован работодателями во многих областях. В одном исследовании показано, что те из выполняющих лапароскопию хирургов, кто играл в видеоигры, могли производить операции быстрее, не теряя при этом необходимой аккуратности и точности.

Использование видеоигры для обучения может показаться неожиданным для тех, кто помнит многочисленные разговоры в начале 1990-х гг. про негативное влияние на детей таких игр, как *Mortal Kombat*. В современных исследованиях не подтверждается опасения насчет негативного влияния этих игр на умственные способности, хотя тревога по поводу возможных повышения агрессивности и развития зависимости по-прежнему остается. Теперь, по мере того как исследователи выясняют, каким образом некоторые игры улучшают способности, повышая внимание и скорость реакции, начинают разрабатываться неагрессивные игры, предназначенные для людей с повреждением мозга или когнитивными нарушениями. На самом деле такие компьютерные программы

могут быть эффективнее, чем так называемые развивающие игры, которые рекламируются по телевизору и в интернете как способ улучшения умственных способностей.

Прокачка мозга

Существует мнение, что заядлый игрок в *Call of Duty* и другие экшн-игры обычно импульсивен и легко отвлекается. Результаты наших исследований опровергают это устаревшее предубеждение. Игроки, погружающиеся в стремительные события фантастических цифровых миров, получают от этого значительные когнитивные преимущества.

Большая часть наших исследований направлена на выяснение того, как экшн-игры влияют на внимание, то есть на психические процессы, связанные с выявлением нужной информации в окружающей среде. Исследование внимания началось еще с тех пор, как психология выделилась в отдельную общественную науку в XIX в. Благодаря своей способности улучшать внимание, игры *Call of Duty* и *Medal of Honor* сейчас стали инструментом для научных исследований. Игрок должен переходить от сосредоточенности на одном объекте к наблюдению за всем игровым полем, чтобы контролировать потенциальных врагов, то есть сознательно переключаться между состояниями, которые психологи называют сосредоточенным и распределенным вниманием.

В исследованиях было показано, что борьба с наступающими зомби требует от игрока не отвлекаться на постороннюю информацию и подавлять ощущение опасности. В частности, игроки лучше других людей замечают появление искомым объектов и в процессе быстрого развития игры не застревают вниманием на единственном событии. За зомби всегда появится еще один зомби, а потом еще один. Игрок, который увлечется преследованием одного-единственного ходячего мертвеца, рискует быть атакованным толпой других.

В одном из наших исследований мы использовали известный психологический тест, чтобы показать, что навыки внимания лучше у тех, кто играет в экшн-игры. В этом тесте испытуемому показывают серию букв, чередующихся со случайными цифрами. Символы сменяют друг друга так быстро, что глазом не успеешь моргнуть, каждые 100 миллисекунд загорается новый. Участники теста, не игравшие в экшн-видеоигры, обычно не испытывали больших сложностей с тем, чтобы определить первую из цифр. Но если следующая шла сразу за предыдущей, они обычно ее не замечали; психологи называют это явление «миганием внимания». У некоторых опытных игроков, напротив, внимание почти не мигает, и они замечают появление каждого целевого объекта.

При регистрации активности мозга были выявлены дополнительные доказательства полезности экшн-игр. У играющих в такие игры, в отличие от других игроков, сильнее изменялась активность разных областей коры больших полушарий, отвечающих за внимание. Изменилась активность в дорсолатеральной префронтальной коре, которая помогает поддерживать внимание, в теменной коре, ответственной за переключение внимания с одного объекта на другой, и в поясной извилине — участке, занимающемся мониторингом и контролем собственного поведения.

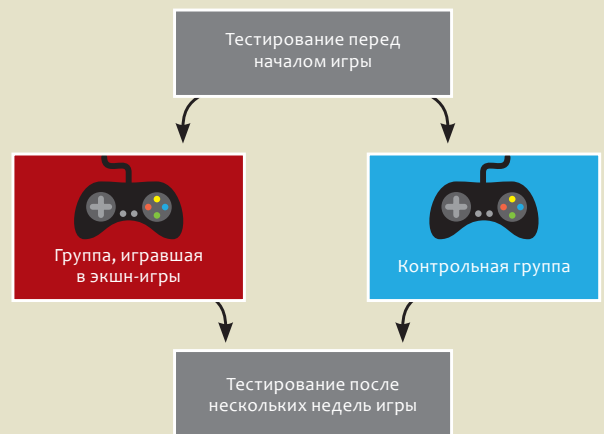
Быстрее, еще быстрее

Экшн-игры *Burnout* и *Grand Theft Auto* не только улучшают способность к фокусировке внимания. Чем лучше играет человек, тем скорее он обрабатывает информацию в быстром потоке событий, сопровождающих каждый эпизод игры. Для психологов скорость переработки информации — ключевой показатель эффективности когнитивной деятельности мозга, и экшн-игры — по-видимому, превосходное средство, чтобы увеличить индивидуальную скорость реакции. При появлении движущегося объекта игрок должен определить, друг это или враг, выбрать, какое оружие использовать, куда целиться и когда стрелять, и все это надо успеть примерно за секунду.

Повышение эффективности управления вниманием влияет на многие аспекты обработки информации в мозге. Нет сомнений, что мозг извлекает

Действительно ли мозг тренируется?

Для того чтобы определить, улучшает ли экшн-игра распознавание и другие когнитивные способности, исследователи сравнивают выполнение тестов (справа) у группы людей, которые играли в экшн-игры несколько недель, и у контрольной группы, которая тренировалась с помощью другой игры. У тех, кто играл в экшн-игры, сильнее улучшилось качество выполнения тестов по сравнению с контрольной группой, и это преимущество сохранилось в течение пяти месяцев.



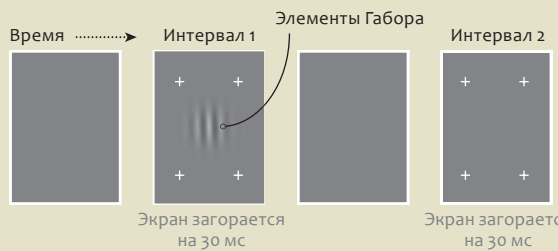
больше зрительной, слуховой и другой информации о выполняемом задании и исключает из рассмотрения источники отвлечения или «шума». На самом высоком уровне когнитивной деятельности наблюдается значительная гибкость при переключении внимания с одной задачи на другую. И это не только результаты тестов в лаборатории. Способность лучше контролировать внимание помогает приспосабливаться к новым ситуациям и средствам, в целом ускоряя обучение.

Для того чтобы иметь возможность сделать четкое заключение о влиянии экшн-игр, нам нужно было доказать, что польза от них действительно есть и что игра действительно улучшает концентрацию и скорость реакции. Ведь могло быть, что эти игры просто привлекают людей, обладающих исключительным вниманием, которые затем показывают прекрасные результаты и в игре, и в последующих тестах, оценивающих качество когнитивных процессов.

Чтобы выявить истинную причинно-следственную связь, ученые набрали испытуемых, редко игравших в видеоигры. Им дали предварительный тест для оценки способностей, а затем их случайным образом разделили на две группы. Люди из одной группы играли в экшн-игры, тогда как участники из контрольной группы окунулись

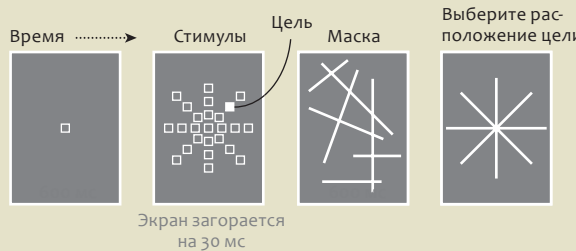
А сейчас вы это видите?

При оценке контрастной чувствительности проверяют способность выявлять слабые различия оттенков на мониторе компьютера. Участники смотрят на экран в течение двух временных интервалов и должны отметить, когда там появляются элементы Габора, представляющие собой чередование темных и светлых полос. Используя изображения с разным контрастом между полосами, можно определить уровень минимального различимого контраста.



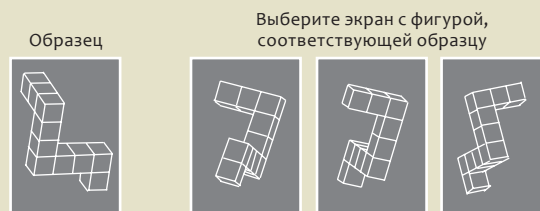
Найди быстрее

Для проверки так называемого эффективного поля зрения оценивают пространственное внимание, или способность быстро находить цель, игнорируя отвлекающие факторы (маски) при быстром предъявлении загроможденных картинок. В тесте участники должны найти полностью закрашенный квадрат (цель) и указать, где он расположен.



Мысленно поверни это

В тесте с мысленным вращением оцениваются способности к пространственному мышлению. Участники должны ответить, какой из трех объектов справа соответствует «образцу» (слева).



*Квадратный корень из числа правильных решений.

в социальные игры или в другие разновидности, не относящихся к типу экшн. Каждая группа должна была играть около часа в день пять дней в неделю на протяжении нескольких недель. Через несколько дней после завершения регулярных тренировок участники снова прошли те же психологические тесты, которые они выполняли до того, как начали играть. У людей из групп, тренировавшихся в экшн-играх, неизменно наблюдался большой прогресс по сравнению с контрольной группой.

В исследованиях показано, что не все видеоигры оказывают одинаковое влияние. Экшн-игры значительно улучшали внимание, когнитивную гибкость и скорость. Игры другого типа, где не задействованы эти способности, почти не дали такого эффекта. Хотя экшн-видеоигры и полезны, специалисты не рекомендуют играть много. Не нужно допускать маниакальную многочасовую игру. В нашем исследовании участники улучшили свои способности с помощью непродолжительной ежедневной игры.

Видеоигры некоторых других жанров, например ролевые боевики (*Mass Effect*) и стратегии в реальном времени (*StarCraft*), также положительно влияют на способности. Как это ни парадоксально, среди тех игр, которые продают как «развивающие», очень мало или вообще нет таких, которые

оправдывали бы свое название и помогли бы людям с когнитивными нарушениями. Первые поколения развивающих игр представляли собой преимущественно стерильные лабораторные упражнения, приукрашенные графикой или привлекательными звуками, и на самом деле не приносили никакой пользы. Повышение качества выполнения специальных психологических упражнений вряд ли поможет игроку спланировать рациональный маршрут по супермаркету или вспомнить, где остались ключи от машины.

Несмотря на то что экшн-игры никогда не позиционировались в качестве обучающего инструмента, тем не менее они соответствуют многим важным принципам обучения. Как минимум они увлекательны — а это важнейшее требование, которое часто опускается из виду.

В программе игры закладывается разграничение на уровни и постепенное усложнение. Число нападающих возрастает по мере прохождения игры. Поглощенность игрой сохраняется все время, пока играющий тренируется, чтобы достичь нужного уровня развития навыка. Важно, что в этих играх требуется переключаться между задачами на сосредоточенное и распределенное внимание, а для этого требуется очень хорошее управление вниманием.

В играх создается обогащенная среда, в которой возникают новые задачи, каждый раз выталкивая игроков из зоны комфорта. И, наконец, в играх предусмотрено подкрепление для разных временных масштабов: секундного (победа над одним врагом), минутного (выполнение одной задачи), часового (прохождение этапа или кампании), многодневного (полное прохождение игры), и все это способствует планированию на разные промежутки времени. Игры обеспечивают подкрепление при обучении навыкам, которые применимы в реальных жизненных ситуациях: хорошее мысленное вращение образов нужно в науке или при занятиях математикой, а умение быстро среагировать необходимо при вождении автомобиля.

Настоящие развивающие игры

Исследователи начали использовать опыт коммерческих видеоигр для создания лечебных игр нового поколения, которые уже мало похожи на однообразные психологические тесты. Непрерывно растет число компаний, изучающих возможность использования видеоигр в качестве инструмента для диагностики или даже лечения. *Posit Science*, *Pear Therapeutics* и *Akili Interactive* (приоткроем секрет: Бавелье — одна из основателей *Akili*) — это примеры лишь нескольких таких компаний. В частности сейчас *Akili* разрабатывает терапевтическую игру для улучшения внимания и снижения рассеянности, взяв за основу созданную учеными игру *NeuroRacer*. Эта и другие подобные игры предназначены для детей с синдромом дефицита внимания и пожилых людей с начальными симптомами снижения когнитивных способностей. Для того чтобы эти игры получили признание, нужно время. В конечном итоге, чтобы лечебные игры стали терапевтическим инструментом, информация об их пользе должна быть проверена независимыми организациями, то есть регулирующими органами или более широким научным сообществом.

У экшн-игр есть ряд недостатков, которых не должно быть у лечебных игр. Во-первых, игра должна быть адаптирована к потребностям пациента. У многих людей с дефицитом внимания были слабые улучшения при игре в обычные экшн-игры, хотя у здоровых людей те же игры способствовали повышению внимания. Большинство людей начинают игру, имея мысленное представление о том, как будут разворачиваться события, и это позволяет им прогнозировать, что будет дальше. Для пациентов с дефицитом внимания характерен более пассивный стиль игры, и поэтому им трудно предсказать, что случится потом. Сейчас разработчики пытаются найти способ перестроить традиционный формат игры, чтобы подтолкнуть людей с дефицитом внимания более активно планировать стратегию дальнейших действий.

Аналогичная реконструкция потребуется для игр, направленных на повышение скорости реакции у пожилых людей, например для улучшения навыков вождения автомобиля. Недостаточно просто загрузить копию игры *Medal of Honor*. Бешеная скорость большинства экшн-игр, в которые играет молодежь, может вызвать подавленность у пожилых людей, и они, как правило, получают мало пользы от использования стандартных коммерческих вариантов. Чтобы приспособить игры к их потребностям, надо снизить скорость настолько, чтобы играть было сложно, но не невозможно.

Менее сложный уровень нужен и другой целевой аудитории — пациентам с амблиопией (синдромом ленивого глаза). Наконец, в играх, предназначенных для лечебных целей, необходимо сократить сцены насилия. То, что игра останавливается, если водитель съезжает с трассы, это нормально, а вот части тела, летающие в воздухе после аварии, — уже лишнее.

Для того чтобы сделать что-то большее, чем стрельба по зомби, и действительно добиться лечебного эффекта, специалисты в области обучения, психологии и нейробиологии должны объединиться с художниками, разработчиками и производителями игр для создания привлекательного продукта.

На этом не исчерпываются возможности того пути, который открылся нам когда-то благодаря игре *Team Fortress Classic*. В будущем игры, предназначенные для детей с дислексией или пациентов с травмами головы, можно будет дополнительно настраивать и регулировать сложность игры с помощью электроэнцефалограммы. Не менее важно, что можно будет аккуратно подобрать свойства игры в соответствии с сильными и слабыми сторонами когнитивных навыков игроков. Соответствие потребностям различных групп игроков будет обязательным атрибутом успешных развивающих игр следующего поколения. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Стикс Г. Турборазгон мозга // ВМН, № 12, 2012.
- Brain Plasticity through the Life Span: Learning to Learn and Action Video Games. Daphne Bavelier et al. in Annual Review of Neuroscience, Vol. 35, pages 391–416; July 2012.
- Video Game Training Enhances Cognitive Control in Older Adults. J.A. Anguera et al. in Nature, Vol. 501, pages 97–101; September 5, 2013.
- Выступление Дафны Бавельер см. по адресу: ScientificAmerican.com/jul2016/video
- Видеозаписи лекций Шона Грина о видеоиграх и обучении в рамках массовых открытых дистанционных курсов Висконсинского университета в Мадисоне см. в нижней части страницы: <http://greenlab.psych.wisc.edu>



При поддержке
Правительства
Москвы



МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ,
ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПОЛИТИКИ
И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
ГОРОДА МОСКВЫ



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
М.В. ЛОМОНОСОВА

ВСЕРОССИЙСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ

НАУКА +


МОСКВА

7-9 ОКТЯБРЯ

FESTIVALNAUKI.RU

ВХОД СВОБОДНЫЙ





Магнитные поля
на Солнце обладают
способностью
накапливать энергию,
а потом мгновенно ее
отдавать, выбрасывая
солнечную плазму
и порождая
солнечные вспышки

Взгляд СКВОЗЬ

Солнце

То, что сделал физик-теоретик **Сергей Владимирович Олемской** вместе со своими коллегами по Институту солнечно-земной физики СО РАН, иначе как прорывом не назовешь. Они решили проблему описания магнитного поведения Солнца, которая ставила в тупик всех исследователей нашего светила. Сейчас, возглавив науку, сосредоточенную в институте, он оказался лицом к лицу с куда более масштабной задачей, которая одному теоретику не под силу, — на основе открытий, совершенных с его помощью, он надеется сделать теорию солнечного динамо источником для реальных прогнозов влияния Солнца на земные процессы и, в частности, на климат планеты.

— **Сергей Владимирович, расскажите, пожалуйста, о ваших основных научных предпочтениях.**

— Я занимаюсь изучением и развитием теории, которая объясняет магнитные процессы на Солнце. Эта теория получила название теории динамо. Как известно, магнитные поля на Солнце обладают способностью накапливать энергию и потом мгновенно ее отдавать, выбрасывая солнечную плазму, порождая солнечные вспышки и другие явления. Все это оказывает сильное влияние на околоземное космическое пространство, где находится большое количество космических аппаратов, а также на состояние атмосферы Земли и самой Земли, в частности ее климата. Теория динамо родилась в 30-х гг. прошлого века, но развивалась очень медленно. И только с появлением более мощных телескопов, более длинных рядов косвенных данных о солнечной активности (эти данные восстанавливались в основном по космогенным изотопам, и сейчас имеются восстановленные ряды

солнечной активности за 11 тыс. лет) и более мощных компьютеров, представляющих многоядерные кластеры, физикам удалось развить современные модели солнечного и звездного динамо, а также решить ряд фундаментальных задач в этой теории.

Так, мне совместно с коллегами из нашего института удалось разрешить одну из ключевых проблем теории солнечного динамо — проблему так называемого катастрофического подавления альфа-эффекта, связанного с генерацией в солнечных недрах спиральных магнитных полей, возникающих в потоках солнечной плазмы. Наличие альфа-эффекта объясняет многие особенности изменений в солнечной активности, например ее цикличность, а также переполюсовку (смену магнитных полюсов) глобального магнитного поля Солнца, происходящую каждые 11 лет. Но альфа-эффект обладает одной очень любопытной особенностью: родившись, он по всем

С 1645 по 1715 г. Солнце не проявляло активности. По этому поводу существовало много гипотез, но установить причину нестабильной работы Солнца не получалось ни у кого

законам физики тут же должен уничтожить сам себя, в этом и заключается его катастрофическое подавление. Долгое время эта его особенность мешала развить более или менее правдоподобную модель, объясняющую магнитные процессы на Солнце. Катастрофическое подавление многие ученые часто исключали, исходя из предположения, что этого явления не существует в природе, или нарушая физику процесса в своих моделях, которые в результате не воспроизводили ни цикличности солнечной активности, ни переполюсовки в том виде, в котором она наблюдается. Но мы нашли объяснение этому явлению, а также способ избежать этого катастрофического подавления с учетом всех физических законов. В результате за короткое время удалось вывести нашу модель на абсолютно новый качественный уровень.

Нам удалось объяснить также различие циклов солнечной активности. В среднем, как известно, их длительность составляет 11 лет, но это только в среднем. На самом же деле она может варьировать — от девяти до 15 лет, причем каждый раз эти циклы могут сильно различаться по интенсивности. Циклы солнечной активности могут и вовсе исчезнуть на несколько десятков лет — это, например, так называемый глобальный минимум Маундера (Солнце не проявляло активности с 1645 по 1715 г.). Долгое время ученые не могли объяснить, с чем это связано. По этому поводу существовало много гипотез, но фактически установить причину нестабильной работы Солнца не получалось ни у кого. Нам же удалось доказать, что природа таких явлений с физической точки зрения связана с наличием гистерезиса в солнечном динамо, то есть ситуации, когда при прочих равных условиях мы получаем два совершенно

разных режима работы Солнца в зависимости от начальных условий. Впоследствии наша идея получила подтверждение результатами реальных наблюдений.

Иначе говоря, всего за шесть лет нам удалось создать модель, которая заработала и стала воспроизводить практически все наблюдаемые свойства солнечного цикла и солнечной цикличности в целом, которые фиксируют наблюдатели. Это и продолжительность цикла, и его мощность, и соотношения напряженности полей, и глобальные минимумы. До этого никто не мог добиться того, чтобы все эффекты работали в одной модели. Это наше достижение, достижение группы теоретиков нашего института и мое личное достижение.

— Каковы перспективы этого направления исследований? Чего вы ожидаете от них в будущем?



Доктор физико-математических наук С.В. Олемской

— Нам бы хотелось, чтобы модель солнечного динамо, которую нам удалось разработать, стала прогностической. Сейчас прогноз солнечной активности — по-прежнему большая проблема не только для нашего института, но и для всего этого направления и остается открытым нерешенным вопросом. Действующие прогностические методы основываются главным образом на статистике, а не на физике процессов. Чтобы получить реальную физическую прогностическую модель, в ее ядро нужно заложить реально работающую физическую модель. В дальнейшем я бы хотел развить нашу модель до прогностической, но это огромная работа. Это требует больших усилий, это работа для целой лаборатории. Потребуется очень много времени на калибровку модели, то есть на то, как она будет взаимодействовать с входными параметрами, которые будут

давать наблюдения за Солнцем. Необходимо также, чтобы такая модель давала на выходе параметры, востребованные геофизиками, которые разрабатывают, допустим, теоретическую модель ионосферы или климата Земли, берут солнечные данные и смотрят, как они влияют на изменения ионосферы или климатической модели. То есть необходимо выстроить единую цепочку «Солнце — околоземное космическое пространство — Земля», а это, повторю, очень непросто. Но самым первым шагом в этом направлении должна стать реально работающая прогностическая модель солнечной активности, потому что вся кухня, которая влияет на космическую погоду, сосредоточена в недрах Солнца.

— **А чем еще занимается ваш институт?**

— Основное — это, конечно, экспериментальные исследования. В настоящее время на базе Института солнечно-земной физики создан единственный в России крупный гелиогеофизический комплекс. Сейчас восемь обсерваторий, имеющих в институте, расположены на большом пространстве от Заполярья до границ с Монголией. В их числе — несколько не имеющих аналогов научных

Комплекс наших уникальных научных инструментов позволяет проводить исследования начиная от средних слоев атмосферы и заканчивая наблюдениями за солнечной активностью

установок, какими могут похвастаться немногие институты. Это Большой солнечный вакуумный телескоп, Внезатменный солнечный коронограф, Сибирский солнечный радиотелескоп, создатели которого были удостоены премии Правительства РФ в области науки и техники в 1996 г., уникальный в своем роде Иркутский радар некогерентного рассеяния, Солнечный телескоп оперативных прогнозов, Радар ЕКВ российского сегмента когерентных радаров декаметрового диапазона, Станция магнитометров, которая входит в мировую сеть «Интермагнит»... Все эти установки имеют исключительное географическое положение и обеспечивают получение гелиогеофизической информации непосредственно в центре России. Это позволяет нашим ученым проводить исследования по всем направлениям солнечно-земной физики начиная от средних слоев атмосферы, ее верхних слоев,

околоземного космического пространства и заканчивая непосредственно наблюдениями за солнечной активностью.

— **Сейчас вы выступаете в двух ипостасях — теоретика и администратора. Как это совмещается? Это помогает или мешает?**

— Чаще помогает, но иногда и мешает, потому что отнимает время от науки, поскольку приходится больше заниматься административной работой, чем раньше. Помогает в том плане, что удается проводить больше научных встреч с коллегами из других институтов и из-за рубежа, обсуждая различные научные направления и отдельные научные задачи, договариваясь о создании новых коллабораций... Непосредственно на науку времени остается меньше — на написание статей, проведение численных расчетов, экспериментов и т.п.

— **Ваш институт, по вашим словам, в основном занят экспериментами и наблюдениями. И вдруг высшим научным администратором становится теоретик. Нет ли здесь противоречия?**


— Это ничему не противоречит. Суть в том, что результаты наших экспериментальных исследований не должны просто лежать и накапливаться. Они — основа для теоретиков. Просто наблюдать и складировать в архивы — в этом никто не заинтересован, поэтому теоретики тоже играют здесь немаловажную роль. Они задают тон, они говорят экспериментаторам, что им нужно, что нужно для их работы, что нужно для решения тех или иных фундаментальных задач, ведь институт все-таки фундаментальный. Наверное, это даже лучше, что я, не будучи экспериментатором, не привязан к какой-то одной конкретной установке, я способен видеть проблему в целом и исходя из этого ставить для исследователей более универсальные задачи. ■

Беседовал Владимир Покровский

СПРАВКА

Сергей Владимирович Олемской

- Доктор физико-математических наук, заместитель директора по науке Института солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ).
- В 2003 г. окончил физический факультет Иркутского государственного университета, поступил в аспирантуру ИСЗФ.
- В 2014 г. защитил докторскую диссертацию.
- В 2016 г. стал заместителем директора по научной работе ИСЗФ.
- С 2013 г. — секретарь Постоянно действующего совещания по созданию Национального гелиогеофизического комплекса РАН (ПДС НГГК РАН).
- Научные интересы: физика Солнца, гидромагнитное динамо Солнца и звезд солнечного типа.



Фундаментальные
исследования Института
теплофизики могут
быть использованы
при развитии реальных
технологий

Практическая

теплофизика

Без знаний, которые дает теплофизика, нельзя построить электростанцию или отправить на орбиту космический аппарат. Направления, которыми занимается Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, ориентированы главным образом на практические результаты — от диагностики и моделирования процессов теплообмена до создания новейших приборов и оборудования. А профессор **Дмитрий Маркович Маркович**, заместитель директора по науке, готов доказывать государству и бизнесу, что без науки — фундаментальной и прикладной — не удастся реализовать ни одну из поставленных современностью задач.

— **Сразу после получения диплома вы стали работать на кафедре теплофизики. Чем она привлекла вас? Или это вышло случайно?**

— Случайности здесь никакой не было. Когда я был студентом старших курсов, выполнял дипломную работу по аэродинамике в топочном пространстве перспективных угольных котлов, которые разрабатывались для Красноярского топливно-энергетического комплекса. Основные научные интересы сформировались уже тогда — струйные, закрученные потоки, когерентные структуры в турбулентных течениях. В тот момент у меня и у моих одногруппников возникло понимание необходимости одновременного и взаимодополняющего математического и физического моделирования процессов на основе передовых методов. Мы и тогда, в 1980-е гг., старались использовать новейшие методы, продолжаем делать это и сейчас, конечно, с учетом прогресса, который дали последние 30 лет.

Вскоре после окончания Красноярского госуниверситета я стал работать на кафедре теплофизики, на которой защищал диплом. Для меня это было естественным выбором, ведь классическое университетское образование в существенной степени это и предполагает. Приглашали и в отраслевой институт теплоэнергетического профиля. Но внутренних сомнений в выборе у меня не было.

Большое влияние на формирование моих научных интересов, безусловно, оказал С.В. Алексеев, директор Института теплофизики, который был моим научным руководителем в университете, и в настоящее время мы с ним продолжаем продуктивно работать — я его заместитель по научной работе.

— **Теплофизика — широкое понятие. Какими ее направлениями занимается ваш институт?**

— Действительно, теплофизика включает большое количество дисциплин. И по охвату тематики наш институт, пожалуй, один из наиболее

многопрофильных. Это теория теплообмена, процессы переноса в целом, гидрогазодинамика, термодинамика, теплофизические свойства веществ, динамика разреженного газа, физика низкотемпературной плазмы и т.д. Это наша особенность, которая, с одной стороны, представляет собой безусловный плюс — коллектив института в состоянии взяться за широкий спектр задач, а с другой — становится причиной того, что не всегда удается сконцентрировать на конкретной масштабной задаче необходимое количество ресурсов — интеллектуальных и материальных (в смысле лабораторной базы). Тем не менее практика нашей работы в последние годы показывает, что такая широта охвата себя оправдывает: Институт теплофизики СО РАН стал одним из лидеров среди российских академических институтов по числу грантов (даже не удельно, а в абсолютном исчислении) на фундаментальные исследования и вообще по объему грантового финансирования.

Исторически институт теплофизики создавался как академическая база для изучения тепло-гидравлических процессов в интенсивно развивавшейся в 1950–1960 гг. индустрии атомной энергетики. Со временем добавлялись и другие направления — оборонка, космос, традиционная энергетика. Фундаментальные исследования Института теплофизики в основном имеют ориентированный характер. Это действительно так: новые знания, получаемые в нашем институте, могут быть использованы в обозримой перспективе при развитии реальных технологий. Хотя есть и направления, имеющие исключительно фундаментальный характер, как, например, квантовая турбулентность.

Если говорить о научных направлениях, которыми занимаюсь я, это гидрогазодинамика и проблемы теплообмена в многофазных течениях, в том числе с химическими превращениями, горением. Получаемые результаты весьма востребованы в ряде энергетических технологий, тепловой, атомной, гидроэнергетике, при разработке новых альтернативных энергетических технологий, например топливных элементов. Особые надежды в последнее время мы возлагаем на востребованность наших результатов в авиационном и энергетическом машиностроении, прежде всего при проектировании газотурбинных установок и авиационных двигателей, где процессы в камерах сгорания, оптимальные режимы обтекания лопаток, их охлаждения играют ключевую роль.

Еще одна сторона нашей деятельности — научное приборостроение, в частности оптико-информационные методы исследования потоков и систем. Нам удалось за последние 15 лет создать в России индустрию производства (и практику применения) широкого класса панорамных оптических методов и приборов, которые работают

в нескольких десятках организаций науки, образования и промышленности, составляя примерно половину всех аналогичных приборов. В частности, за эту деятельность (хотя и не только) и была нашему коллективу авторов присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники за 2014 г.

— Каким вы видите будущее вашего направления?

— Будущее своего научного направления вижу весьма востребованным. Нашей стране определенно надо переходить на новый технологический уклад, а развитие новых технологий, энергетических и транспортных, безусловно, требует формирования нового научного задела. Есть сферы, в которых Россия может эффективно удерживать лидерские позиции: это ядерная энергетика, гидроэнергетика, и нам надо продолжать поддерживать и развивать научную базу для этих отраслей, делая главные акценты на безопасности (чтобы не повторялись трагедии Чернобыля и Саяно-Шушенской ГЭС, например). Возможен прорыв и в авиационной промышленности. Там комплекс нерешенных проблем, включая новые материалы, электронную базу и т.д. По нашим направлениям, если говорить о гражданских авиационных двигателях (о задачах, стоящих перед военными двигателястроителями, говорить не буду — их тоже много), то низкоэмиссионная камера сгорания авиационного двигателя (как, впрочем, и для наземных газотурбинных установок) и управление генерацией шума — вопросы, остро стоящие на повестке дня в плане позиционирования наших гражданских самолетов на мировом рынке. Научное сопровождение традиционных технологий типа тепло-энергетических тоже необходимо.

И, конечно, вечные, чисто фундаментальные задачи. Вихревая динамика, физика горения, турбулентность, синергетика. Вне зависимости от конкретных приложений они всегда будут востребованы в научном плане, и активная работа российских ученых всегда позволит занять свою нишу в научном мировом пространстве.

— Вы уже 14 лет занимаете должность заместителя директора. За это время наверняка вами сделано много. Можете ли вы назвать достижения института, которые могли бы поставить себе в заслугу?

— Сходу это сложно, слишком много всего было. Первое, что приходит в голову, может быть, не самое главное, но существенное, — оснащение института приборной базой на современном уровне. Это началось в 2000-х гг., когда финансирование стали постепенно увеличивать, но все равно это была довольно сложная эпопея. Оснащение проводилось на конкурсной основе, с использованием различных механизмов, часть программ проходила не через РАН, а через Минобрнауки,



Член-корреспондент РАН Д.М. Маркович

Новосибирский университет, что приводило к необходимости использовать различные механизмы интеграции. Я могу поставить себе это в заслугу, поскольку приборное оснащение было лично моей задачей. В существенной степени есть моя заслуга также в установлении новых взаимовыгодных отношений с рядом предприятий реального сектора экономики, такими как «Силовые машины» — энергетическое турбостроение, компаниями Объединенной двигателестроительной корпорации, с некоторыми организациями «Роскосмоса».

— Остается ли у вас время на собственные занятия наукой?

— Я нахожусь в должности заместителя директора института уже 14 лет. Стал им в возрасте 40 лет, что было не очень типично для тогдашних традиций Российской академии наук. При этом я оставался и остаюсь действующим заведующим лабораторией. Еще с конца 1980-х гг. тогдашний директор нашего института академик В.Е. Накоряков начал практиковать создание молодежных лабораторий и поручать целые направления тридцатилетним молодым ребятам — в их число попал и я, став завлабом в 33 года. Это ровно то же, что сейчас начинает внедряться в академических институтах в рамках программы кадрового резерва. Если не допускать перегибов, то, на мой взгляд, политика правильная. Я сейчас и в институте стараюсь инициировать такие процессы. Так, полгода назад разделил свою большую лабораторию (около 100 человек с учетом аспирантов и студентов) на две части. С одной группой перешел в другой отдел, оставив руководство новой лабораторией за собой, а другую, более крупную часть оставил под ответственность своего ученика Владимира Дулина. Он сейчас исполняет обязанности заведующего, ему 33 года и осенью он защищает докторскую диссертацию.

Конечно, должность заместителя директора предполагает, что существенную часть времени

приходится тратить на администрирование как в институте, так и вне его. Есть другие обязанности — я член президиума СО РАН, много лет был (и остаюсь) членом приборной комиссии СО РАН. Много времени в последние год-полтора приходится уделять и работе в научно-координационном совете при ФАНО. Кстати, членство в совете я считаю весьма важной частью моей работы. НКС по сути выступает неким буфером и консультативным органом, который помогает оптимизировать реформы и сглаживать некоторые спорные и неочевидные решения и подходы.

Если говорить о собственных занятиях наукой, я, конечно, давно собственноручно не проводил экспериментов и не писал расчетных программ, однако во всем

остальном участвую плотно — с формулировок концепций проектов, редактирования их на всех стадиях, составления планов конкретных работ и до обсуждения результатов, написания статей. А еще ведь и преподавание, руководство аспирантами. Времени в сутках, конечно, не хватает. Но это специфика нашей деятельности, и я сам это выбрал много лет назад.


Если говорить об управлении работой научных коллективов, то на сегодня это, на мой взгляд, наиболее важная и незанятая ниша в нашей фундаментальной науке. Хороших ученых у нас очень много, а вот вписать их деятельность в существующие реалии, показать государству и бизнесу необходимость использования их услуг, обеспечить исследования достойным финансированием — профессия пока дефицитная. Поэтому хочется или нет, но этим надо заниматься. Хотя ностальгия по тому, чтобы пощелкать тумблерами на эксперименте или порисовать «крючки», конечно, остается. ■

Беседовал Владимир Покровский

СПРАВКА

Дмитрий Маркович Маркович

- Член-корреспондент РАН, заместитель директора Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, член президиума СО РАН, профессор.
- В 1984 г. окончил Красноярский государственный университет и с тех пор работает в Институте теплофизики в Новосибирске.
- В 1995 г. стал заведующим лабораторией физических основ энергетических технологий, затем возглавил отдел энергетики института, с 2002 г. занимает должность заместителя директора по науке.
- В 2003 г. защитил докторскую диссертацию
- В 2011 г. избран членом-корреспондентом РАН.



Современные оптические часы настолько точны, что чувствительны уже к небольшому изменению высоты, улавливая различия вплоть до сантиметра

Часовых дел

ФИЗИК

Профессор **Алексей Владимирович Тайченачев**, физик-теоретик, специалист в области лазерной спектроскопии, квантовой оптики и лазерного охлаждения, своим главным научным интересом считает создание самых точных в мире часов — лазерных. Их точность определяется 16 нулями после запятой, но Тайченачев намерен прибавить к ним еще два, что позволит спутникам глобального позиционирования измерять расстояния с миллиметровой погрешностью. Сегодня, став директором Института лазерной физики СО РАН, он отчасти утратил возможность заниматься собственными исследованиями, но зато обрел силы, способные приблизить эту мечту.

— Наша научная группа базируется в Институте лазерной физики СО РАН и, как большинство групп в Новосибирском Академгородке, работает также и в Новосибирском государственном университете. То, чем мы занимаемся, называется прецизионной лазерной спектроскопией. Для этих работ у нас есть и хорошая экспериментальная база, и мощная теоретическая поддержка. Экспериментальная база — это, естественно, институт, а теоретическая поддержка частично идет из университета.

В последние годы очень ярко выступает прикладной аспект этой деятельности — оптические стандарты частоты и времени. Мы можем получить осциллятор, который колеблется со строго заданной частотой в оптическом диапазоне, то есть лазер, работающий в таком частотном режиме.

Но лазер, так же как и любой другой макроскопический осциллятор, подвержен внешним воздействиям: меняются температура, давление, длина резонатора — и частота уходит. Чтобы этого не происходило, мы частоту лазера привязываем к частоте какого-либо атомного перехода, которые гораздо

менее подвержены внешним воздействиям. И здесь вступает в действие не лазерная физика, а уже атомная спектроскопия. Мы должны подобрать соответствующий сверхузкий переход, к которому можем привязаться. Такая работа идет довольно давно во всем мире, и сейчас единица времени, которой мы пользуемся, определена через частоту атомного перехода — это так называемый сверхтонкий переход в атоме цезия. Частота его равна примерно 9,2 ГГц, то есть она лежит в микроволновом диапазоне. А наша специфика — оптические часы, работающие в оптическом диапазоне и имеющие частоту примерно на пять порядков больше.

Преимущества перехода в оптический диапазон заключаются в том, что здесь мы потенциально можем получить более высокие точности. Например, в микроволновом диапазоне относительная точность — 16-й знак после запятой, и похоже, что это предел того, чего мы можем достигнуть. Исследователи в других лабораториях медленно-медленно подходят к этому пределу. В оптическом диапазоне эта точность достигнута уже сейчас,

и возможность повысить точность оптических часов на порядок или даже на два представляется сегодня вполне реальной.

— **Зачем нужна такая точность?**

— Во-первых, для синхронизации. Когда передаются большие массивы данных, синхронизация необходима, поскольку она позволяет избежать большого резервного копирования, что значительно облегчает передачу больших баз данных. Кроме того, точные часы совершенно необходимы для точной навигации. Эта история уходит в глубину веков: первые хронометры, как известно, были разработаны именно для улучшения навигации. Сейчас современный спутниковый уровень навигации, то есть глобальные навигационные системы, все так же основан на измерении времени. По этой причине на всех спутниках глобальных навигационных систем располагаются атомные часы, а еще плюс к тому есть часы на наземных станциях, по которым корректируется время часов на спутниках. Все эти часы работают в микроволновом диапазоне. Для повышения точности на один-два порядка необходим переход в оптический диапазон, что выведет нас на сантиметровый и субсантиметровый уровни точности позиционирования.

Есть более глубокие проблемы. Современные оптические часы настолько точны, что чувствительны уже к небольшому перемещению в пространстве, в частности к изменению высоты, улавливая различия вплоть до сантиметра, и на этом может быть основана принципиально новая технология геодезии (так называемая релятивистская геодезия) на сверхточных оптических часах. Зная высоту с такой точностью, мы можем измерять уже гравитационный потенциал при помощи либо ансамбля таких часов, расположенных на поверхности Земли, либо мобильных устройств.

С фундаментальной точки зрения основное приложение оптических стандартов времени и частоты основано на том, что частота, а вместе с ней и время, — наиболее точно физически измеряемые величины. Такие системы создаются и будут создаваться в дальнейшем, а это позволяет производить проверку фундаментальных физических теорий каждый раз на более высоком уровне точности по мере развития оптических стандартов. Здесь имеются в виду специальная и общая теория относительности, а также различные модели в физике элементарных частиц. Может также оказаться, что главные физические константы, например постоянная тонкой структуры, могут чуть-чуть варьировать. Сравнение хода двух сверхточных оптических часов может выявить такие вариации в лабораторном эксперименте. Сегодня они не фиксируются, но это значит всего лишь, что если они и есть, то в пределах, находящихся ниже существующей погрешности оптических часов. Экспериментально установленный уже сейчас верхний



Директор Института лазерной физики
СО РАН профессор А.В. Тайченачев

предел на вариацию постоянной тонкой структуры — чрезвычайно важная информация для теоретиков, разрабатывающих современные модели физики элементарных частиц.

— **Что в этом направлении делаете вы?**

— С точки зрения эксперимента все современные оптические стандарты частоты, которые можно охарактеризовать как сверхточные (то есть те, точность которых превышает точность микроволновых часов и выше, чем 10^{-16}), используют ультрахолодные атомы, полученные лазерным охлаждением. В нашем институте две такие установки. Одна из них основана на охлаждении одиночных ионов иттербия. Мы охлаждаем ион лазером, он захватывается электромагнитной ловушкой и на нем уже можно строить стандарт частоты, то есть задавать атомным часам необходимую точность. Мы к этому движемся, и, видимо, первые результаты по привязке частоты лазера к соответствующей частоте в ионе иттербия появятся уже в этом году.

Другое направление — это нейтральные атомы магния. В отличие от иона иттербия их много, мы тоже охлаждаем их лазером, есть возможность удерживать их либо в магнитно-оптической ловушке, либо в так называемых оптических решетках. С магнием мы проводили измерения по привязке частоты лазера с соответствующим переходом и получили результаты, которые говорят об относительной погрешности 10^{-16} . Но мы будем двигаться

дальше, для этого требуется создать оптическую решетку, для которой нужны определенные лазеры и еще дополнительная стадия лазерного охлаждения, которая для магния в полном объеме нигде в мире не реализована. Трудность в том, что охладить большое количество атомов до температур порядка 10 мкК пока не получается. А для нас это важно, потому что наша будущая решетка ловит атомы с температурой порядка 10 мкК, а более «теплые» атомы с температурами в 100 мкК она удерживать не в состоянии. У нас уже есть теоретические разработки в том, как достичь таких температур дополнительным лазерным охлаждением, будем их реализовывать в эксперименте.

А с точки зрения теории вклад очень значительный. Нашей группой разработан целый ряд новых спектроскопических методов, которые позволяют повысить точность лазерного хронометра. Здесь есть очень много препятствий. Во-первых, надо возбуждать очень слабые переходы. Некоторые из них настолько слабы, что даже очень сильные лазерные поля их не возбуждают. Нами придуман метод, при котором, добавляя относительно небольшое магнитное поле, можно возбуждать даже практически наглухо запрещенный переход, причем с помощью лабораторно доступного оборудования.

Вдобавок лазерное излучение должно быть достаточно сильным, а это вызывает определенного сорта сдвиги частоты и ухудшает точность часов. Разработанный в нашем институте метод позволяет компенсировать сдвиги различной природы, либо уменьшив их, либо полностью исключив.

— **Чего вы хотите достичь в идеале?**

— Пока мы действуем шаг за шагом, то есть стараемся выйти на тот уровень, который уже достигнут в мире. Это положение сложилось исторически. Когда-то мы были впереди всех, потом в связи с определенными событиями 1990-х гг. произошло замедление. Преодолеть его последствия — это первое, чего хочется. А в идеале... 10^{-20} , это было бы здорово!

— **А для чего нужна такая точность?**

— С точки зрения фундаментальной физики это безусловно нужно: чем точнее часы, тем для науки лучше. А что касается технических приложений — их пока трудно себе представить. Главным образом потому, что остальные компоненты системы грубее. Например, мы не можем сегодня синхронизировать друг с другом с такой точностью удаленные части систем позиционирования. Это то, что требуется глобальным навигационным системам, но передавать сигнал с такой точностью через атмосферу, ионосферу представляется сегодня фантастикой. В лаборатории, предположим, мы этой цели добьемся, однако пока не совсем ясно, каким образом реализовать то же самое за ее пределами. Но это пока, ведь технологии развиваются, и вполне возможно, что со временем такая точность

понадобится. Если с сегодняшним уровнем точности часов мы способны улавливать сантиметровые различия по высоте, уровень 10^{-20} даст возможность фиксировать десятые доли миллиметра.

— **Вы заняли должность директора института 21 апреля этого года, то есть совсем недавно. Продолжаете ли вы свои исследования? Есть ли у вас своя лаборатория?**

— Я теоретик, и те теоретические методы, о которых я говорил, разработаны нашей группой, которая базируется в двух местах. В Институте лазерной физики собственной лаборатории у меня нет. А в университете лаборатория есть, и она именно теоретическая.

— **Тяжело ли вам совмещать чисто научную работу и административную?**

— На новой должности тяжело, потому что совсем мало времени остается на науку. Я стараюсь проводить как можно больше обсуждений и в них участвовать, это мне помогает быть в курсе того, что происходит в институте. Разумеется, я знаю, что делается в нашей группе, но самому сесть и порисовать формулы или поработать на компьютере почти не получается. Это необходимо, чтобы не потерять форму, но со временем очень тяжело.

— **Теоретик во главе института, где основная деятельность связана с наблюдениями и экспериментом, — нет ли здесь противоречия?**

— Пока сам не попробуешь, не поймешь. Но в кресле директора института я действительно сижу очень недолго. Так что поживем — увидим. ■

Беседовал Владимир Покровский

СПРАВКА

Алексей Владимирович Тайченачев

- Доктор физико-математических наук, профессор, директор Института лазерной физики СО РАН.
- Окончил физический факультет Томского государственного университета в 1986 г.
- Работал на кафедре теоретической физики ТГУ, в Дальневосточном высшем инженерно-морском училище (ныне Морской государственной академии), в Новосибирском государственном университете.
- В 2001 г. защитил докторскую диссертацию.
- В 2013 г. стал заместителем директора по науке Института лазерной физики СО РАН.
- С апреля 2016 г. занимает пост директора ИЛФ СО РАН.
- Сфера научных интересов: лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения, лазерное охлаждение атомов, физика ультрахолодных атомов, квантовая оптика, нелинейная оптика, нерелятивистская квантовая электродинамика, квантовая информация.
- По данным *Web of Science*, А.В. Тайченачев — автор 137 научных статей, полное количество цитирований которых превышает 1,5 тыс., а индекс Хирша равен 22.

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

ОРАНЖЕВЫЙ

Чарлз Шмидт



Военные из аэропорта в Дананге очищают территорию от неразорвавшихся снарядов прежде чем начнут снимать верхний слой почвы и сжигать его для разрушения диоксида, высокотоксичного компонента дефолианта *Agent Orange*. Войска США распыляли это вещество во время войны во Вьетнаме в 1960-х гг.

ТУМАН

Вьетнам настаивает на том, что долгосрочные последствия распыления вооруженными силами США дефолианта *Agent Orange* отражаются на здоровье детей и внуков тех, кто контактировал с этим веществом во время войны. Ученые пока не пришли к единому мнению



ОБ АВТОРЕ

Чарлз Шмидт (Charles Schmidt) — независимый журналист, живущий в Портленде, штат Мэн. Пишет статьи по глобальным проблемам здравоохранения и окружающей среды. Чтобы оценить ситуацию с загрязнением почвы и состоянием здоровья населения, посещал Вьетнам.



Дан (имя вымышлено), родившийся с заячьей губой, расщелиной неба и сердечной недостаточностью, провел первые месяцы жизни в инкубаторе и дышал воздухом, насыщенным кислородом. Сейчас это восьмилетний мальчик, тощий, как жердь; он мило улыбается, но не может говорить, а его мать Льен (имя тоже вымышлено) считает, что он умственно отсталый. Она долго и нудно перечисляет, что нужно ее сыну, а тот все это время занимается с игрушечными машинками, сидя на полу домика в Дананге, где живет семья.

Меня направила к Льен некоммерческая американская организация «Дети Вьетнама», которая работает с бедными семьями, проживающими в Дананге. Мы сидели в небольшой комнате, двери

которой выходили прямо на улицу, и разговаривали под шум сновавших туда-сюда машин и звонки велосипедов. На стене рядом с портретом Хо Ши Мина висели семейные фотографии. Льен, миловидная доброжелательная женщина, сразу впала в ярость, как только я спросил, что она думает, отчего у нее родился такой ребенок. «Это все *Agent Orange*!» — с искаженным лицом выкрикнула она.

Agent Orange — дефолиант, распылявшийся над тропическими зарослями, где скрывались бойцы вьетнамской армии во время войны. Один из его компонентов, диоксин, — сильнейший яд, который остается в окружающей среде десятки лет. Дед Дана сражался в горах Центрального плато, над которым дефолианты распыляли особенно часто, а отец работал на бывшей военно-воздушной базе США в Дананге, где позже был обнаружен диоксин в тушках уток и рыбы, обычной пищи местных жителей. По имеющимся сведениям, он вызывает у человека рак, сердечно-сосудистые заболевания и другие патологии. Но Льен уверена, что ее сын получил токсичное «наследство» от ее отца и деда. Правительство Вьетнама, включившее Дана в группу предполагаемых жертв *Agent*

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Вьетнамские врачи утверждают, что дефолиант *Agent Orange*, распылявшийся над территорией Вьетнама в 1960-х гг., стал причиной генетических дефектов у детей и внуков людей, которые контактировали с этим веществом.
- опыты на животных, проведенные в США, показывают, что генетические нарушения, возникшие под действием диоксина, могут передаваться детенышам, но частота таких случаев варьирует от вида к виду. Никаких четких данных на этот счет относительно человека не существует.
- Американские ученые считают, что вьетнамские данные о связи между взаимодействием с *Agent Orange* и рождением детей с аномалиями недостоверны. Власти Вьетнама не разрешают американским экспертам проводить какие-либо исследования в своей стране.
- Конгресс США выделил Вьетнаму \$21 млн для помощи больным, хотя и не признал вины своей страны. Вьетнамские эксперты считают, что этих средств недостаточно.



Вьетнамские специалисты заявляют, что сотни тысяч детей и внуков жителей, пострадавших от дефолиантов, которые американские пилоты распыляли над лесами во время войны, имеют врожденные дефекты. Американские эксперты считают, что причин появления таких дефектов множество и не обязательно все они связаны с воздействием дефолиантов.

Orange, заявляет, что сотни тысяч граждан страны, родившихся через одно и даже два поколения после окончания войны, унаследовали генетические дефекты, связанные с влиянием диоксина на их предков.

Власти США выделили небольшие средства на помощь вьетнамским ветеранам войны, страдающим лейкозом, болезнью Ходжкина и паркинсонизмом (все эти патологии, согласно данным обследования американских солдат, участвовавших в распылении дефолианта, связаны с *Agent Orange*). Позже эти сведения использовались при выявлении причинно-следственной связи действия дефолианта с дюжиной патологий. Но федеральные власти отказались признать, что *Agent Orange* также виновен в многочисленных отклонениях от нормы, обнаруженных у нынешних жителей Вьетнама, — отчасти потому, что нет четких доказательств того, что эти люди или их родители подверглись действию дефолианта. Медицинские данные имеют фрагментарный характер, а кроме того, в условиях войны, когда население перемещалось с места на место, выяснить, кто контактировал с *Agent Orange*, а кто нет, крайне трудно.

Такая неопределенность долго мешала установлению взаимопонимания между вьетнамскими и американскими специалистами, особенно в отношении передачи приобретенных вредных признаков из поколения в поколение. Опыты на лабораторных животных, проведенные в США, показывают, что генетическое повреждение, вызванное диоксином, действительно может проявиться у потомков, но данные по разным видам варьируют,

а по человеку вообще отсутствуют. «Можно ли распространять их на другие виды живых существ — большой вопрос», — говорит Роберт Мур (Robert Moore), токсиколог из Висконсинского университета в Мадисоне.

Опираясь на довольно неопределенные сведения, Конгресс США выделил в 2014 г. \$21 млн в качестве гуманитарной помощи тем, кто, по свидетельству экспертов, серьезно пострадал от действий американских военных. Чарлз Бэйли (Charles Bailey) из Аспенского института гуманитарных исследований, бывший руководитель программы по анализу последствий применения *Agent Orange* во Вьетнаме, счел этот шаг весьма обнадеживающим. Но на самом деле он был предпринят скорее для того, чтобы успокоить население Вьетнама, чем искупить вину. С тех пор как американские войска покинули Сайгон (ныне Хошимин), что означало окончание войны, прошло 40 лет. Но вопрос о последствиях распыления дефолиантов для следующих поколений вьетнамцев все еще вызывает горячие споры.

Главный виновник — диоксин

Сегодняшний Дананг с его зелеными бульварами, уютными кафе, курортными зонами совсем не похож на портовый город времен войны. По магистралам, ведущей к старой авиабазе, где сейчас находится международный аэропорт, мчатся сотни скутеров и мотоциклов. Именно в этом месте в 1962 г. США и вооруженными силами Южного Вьетнама было положено начало реализации гербицидной программы *Ranch Hand*.

Agent Orange, производившийся в основном компаниями *Monsanto* и *Dow Chemical*, представляет собой смесь двух гербицидов — 2,4-D и 2,4,5-T — в соотношении 1 : 1. Его распыляли ВВС США по просьбе правительства Южного Вьетнама. Наземные войска использовали и другие смеси — *Agent White*, *Agent Blue*, *Agent Pink*, *Agent Green* и *Agent Purple* — по цветам полосок на емкостях, в которых их транспортировали. Исходной целью было уничтожение зарослей, где скрывались отряды противника. Обработке подвергались в основном территории Южного Вьетнама и Лаоса. Самолет C-123 распылял гербициды с воздуха, и через двое суток деревья сбрасывали листву.

Вплоть до 1969 г. не было известно, что *Agent Orange* и другие смеси непреднамеренно загрязнены самой токсичной разновидностью диоксина, TCDD. К началу операции *Ranch Hand* в 1971 г., через два года после того, как о загрязнении стало известно, уже было распылено не менее 20 млн галлонов гербицидов, в зону обработки попали от 2,1 до 4,8 млн сельских жителей. Об этом по результатам тщательного анализа сообщила в 2003 г. Джин Стеллман (Jeanne Stellman), почетный профессор Колумбийского университета.

Опыты на животных свидетельствуют о том, что TCDD — одно из самых сильных известных на сегодня ядовитых химических веществ. Оно не только уничтожает клетки печени, вызывает рак этого органа и нарушает работу иммунной системы, но и губительным образом сказывается на эмбриональном развитии. У крыс, которым давали это вещество в дозе менее одной части на миллиард, что соответствует одной его капле в 14 тыс. галлонах воды, у плода мужского пола развивались женские признаки. При дозах порядка ста частей на миллиард у грызунов и рыб рождалось потомство с расщепленной губой, почечной недостаточностью, сердечно-сосудистыми аномалиями и хрупкими костями.

TCDD обладает странной особенностью: на организмы одних видов он действует убийственным образом, представители других видов к нему более устойчивы. Есть животные, у которых чувствительность уменьшается с возрастом. «Различия могут наблюдаться даже между особями одного вида», — говорит Линда Бирнбаум (Linda Birnbaum), директор Национального института гигиены окружающей среды в Треугольнике науки, штат Северная Каролина. Что касается человека, то по нему данных нет, поскольку проведение

соответствующих исследований невозможно по этическим причинам. Такая неопределенность не позволяет прийти к окончательному решению вопроса об уровне потенциально безопасного воздействия для человека.

Повреждения ДНК наследуются?

У посетителей Музея последствий войны, расположенного в Хошимине, создается впечатление, что наука пришла к окончательному выводу относительно передачи повреждений в ДНК под действием дефолиантов от поколения к поколению. На стендах оранжевого цвета изображены изуродованные фигуры людей, висят карты с указанием регионов, над которыми распылялся *Agent Orange*. Один из текстов в витрине утверждает, что «повреждения генетического материала под действием диоксина могут передаваться от поколения к поколению». В больницах Вьетнама целые палаты предназначены исключительно для прямых жертв *Agent Orange*, их детей и внуков.

Недавние открытия в области молекулярной генетики показывают, что химические воздействия влекут за собой долгосрочные последствия, затрагивающие не одно поколение. Результаты опытов на грызунах свидетельствуют о том, что TCDD изменяет эпигеном — систему, контролирующую переключение генов

Исследования на лабораторных крысах не свидетельствуют о том, что от диоксина пострадали потомки тех, кто с ним контактировал, но и не опровергают подобной возможности. Чтобы такое произошло, у подвергшихся воздействию диоксина во время войны должны были быть повреждены клетки зародышевой линии в период беременности.

Недавние революционные открытия в области молекулярной генетики позволяют с большей уверенностью говорить о том, что химические воздействия влекут за собой долгосрочные последствия, затрагивающие не одно поколение. Результаты опытов на грызунах, проведенные в лабораториях разных стран, свидетельствуют о том, что TCDD изменяет эпигеном — систему, контролирующую переключение генов. Именно благодаря эпигенетической регуляции все клетки развивающегося эмбриона, даже несмотря на то что они получили

одинаковые гены от отца и от матери, дают начало разным тканям. Так, гены, опосредующие сокращение сердечной мышцы, активируются одним эпигенетическим фактором, а гены, причастные к передаче нервных импульсов, — другим.

TCDD способен перепрограммировать процесс эпигенетической регуляции, и последствия этого могут проявиться уже после того, как токсин будет выведен из организма. «Результат воздействия совсем не обязательно возникает тут же, — поясняет Майкл Скиннер (Michael Skinner), биолог из Университета штата Вашингтон. — Эпигеном может измениться в любой период вашей жизни». Об этом, в частности, свидетельствуют данные Алваро Пуги (Alvaro Puga), молекулярного биолога из Медицинского колледжа Цинциннатского университета. Он скормил беременным самкам мышей *TCDD* и обнаружил, что детеныши родились с не угрожающей жизни сердечной патологией, которая приняла серьезные формы, когда животные достигли зрелого возраста.

Когда беременным крысам давали *TCDD* в высоких дозах, у потомков второго и третьего поколений обнаруживался повышенный риск заболеваний яичников и почек, а у крыс четвертого поколения наблюдался пониженный уровень спермиев. Когда Скиннера спросили, возможен ли перенос этих данных на человека, он ответил утвердительно. Однако не все согласны с таким категорическим суждением — отчасти потому, что крысы подвергались воздействию *TCDD* в гораздо больших дозах, чем жители Вьетнама во время войны.

Ситуация осложняется еще и тем, что во Вьетнаме *TCDD* до сих пор присутствует в окружающей среде и, возможно, генетические нарушения у ныне живущих там людей связаны с этим, а не с наследственными факторами. Время жизни *TCDD* в теле человека составляет от семи до десяти лет, а в почве может достигать десятков лет. Оттуда яд попадает в организм уток и рыбы, одних из основных продуктов питания вьетнамцев.

Исследования, проведенные в период с 1990-х до середины 2000-х гг. организацией *Hatfield Consultants*, которая базируется в Ванкувере, выявили на территории Вьетнама семь горячих точек — регионов, где содержание диоксина в почве превышает 1 тыс. частей на триллион (согласно последним данным, таких регионов 28). Согласно Томасу Бойвину (Thomas Voivin), директору подразделения по международному сотрудничеству организации *Hatfield*, три самые горячие точки находятся на территории бывших военно-воздушных баз США в Дананге, Пхукате и Бьенхоа.

В 2015 г. исследователи из Агентства по выявлению токсичных веществ и связанных с ними патологий, входящего в состав Центров по контролю и предотвращению заболеваний, обнаружили, что рыба, выловленная из прудов в Бьенхоа, все еще заражена *TCDD*.

Пуга полагает, что яд может накапливаться в жировых отложениях людей, потребляющих данные продукты, при условии, что скорость его выведения слишком мала. Если из этих отложений он поступает в кровь беременной женщины, плод может получить большую дозу. Впрочем, в отсутствие точных данных об этой дозе и содержании *TCDD* в крови все это — лишь гипотезы. На долю младенцев с врожденными дефектами приходится 3% от числа новорожденных по всему земно-

му шару, а во Вьетнаме пестициды применяются особенно широко. Кроме того, жители этой страны недополучают фолиевой кислоты, которая защищает нервную систему во время беременности.

Неоднозначные данные

Ссылаясь на неопубликованные данные вьетнамских исследователей, Ле Ке Сон (Le Ke Son), недавно покинувший пост директора *Committee 33*, правительственной организации, которая занимается расследованиями, касающимися применения *Agent Orange* во Вьетнаме, сообщил мне по электронной почте, что «частота встречаемости детей с врожденными аномалиями в регионах, прошедших обработку дефолиантами, и в горячих точках,



Под действием дефолианта *Agent Orange* деревья, в гуще которых скрываются люди, сбрасывают листву. В 1970 г. деревья мангрового леса (внизу), обработанного дефолиантом, все еще были голыми — в отличие от растительности на другой, необработанной территории (вверху).

вне всякого сомнения, гораздо выше, чем в контрольных регионах». Ле Ке Сон — практикующий врач и токсиколог, руководитель национальной исследовательской программы по изучению действия диоксина. Его доводы представляются более убедительными, чем у сторонников «жесткой линии» в правительстве.

Американские эксперты обычно не доверяют результатам, полученным вьетнамскими исследователями, указывая на то, что о них редко сообщается в авторитетных западных научных журналах. В свою очередь, вьетнамская сторона не позволяет американцам проводить собственные исследования во Вьетнаме. Так, в 1995 г. Арнольду Шектеру (Arnold Schecter), доценту из Медицинской школы Луисвиллского университета, не разрешили вывезти из страны пробы крови пациентов, взятые для тестирования на диоксин.

Надежда на сотрудничество появилась в 2000 г., когда Дэвид Карпентер (David Carpenter), директор Института здоровья и окружающей среды при Университете штата Нью-Йорк в Олбани, предложил провести совместные исследования в рамках пятилетнего проекта с бюджетом \$1 млн. Предполагалось собрать коллекцию проб крови у беременных женщин незадолго до родов в медицинских учреждениях трех городов: Хошимина, расположенного вблизи региона, подвергнувшегося интенсивной обработке дефолиантами во время войны, Ханоя, находящегося вдали от зон риска, и населенного пункта в провинции Тхыатхьен-Хюэ, также сильно пострадавшего. Как ожидалось, концентрация TCDD в крови должна коррелировать с частотой трех видов врожденных дефектов: отсутствием конечностей, повреждением нервной трубки, расщеплением губы и неба.

Но плану не суждено было осуществиться. По словам Карпентера, он предложил условия совместной деятельности вьетнамской стороне, но Ханой отсрочил принятие решения на год, после чего США заявили, что они готовы выделить \$350 тыс. на пилотные исследования. Вьетнам отказался, выдвинув ряд неприемлемых условий, и тогда Национальные институты здравоохранения и институт в Олбани закрыли проект.

«Я потратил впустую три года на написание всяческих документов и поездки во Вьетнам, — сетует Карпентер. — А между тем это был реальный шанс начать совместную работу. Вряд ли такая возможность появится в будущем». По его словам, эта тема

заставляет нервничать как Ханой, так и Вашингтон. «США обеспокоены тем, что если причинно-следственная связь будет установлена, то встанет вопрос возмещения ущерба. А власти Вьетнама опасаются, что в случае отрицательного результата у них не будет повода добиваться от нас компенсации», — говорит Карпентер.

Он считает, что реализация отвергнутого проекта или другого, аналогичного, — крайне трудная задача. Для тестирования на диоксин необходимы 40 мл крови каждого пациента, а сама процедура очень сложная и по силам лишь нескольким лабораториям по всему миру.

Всесторонний анализ данных по вьетнамским детям с врожденными дефектами был проведен еще 30 лет назад. Морин Хатч (Maureen Hatch), работающая сегодня в Национальном онкологическом институте, просуммировала все данные вьетнамских исследований, медицинские карты и официальную статистику и обнаружила массу удручающих проблем, касающихся в том числе неопределенности с предвоенными данными,

Пресс-секретарь фирмы *Monsanto* не подтвердил, но и не опроверг информацию о загрязнении территории Вьетнама дефолиантами и о влиянии последних на здоровье местных жителей. Он заметил, что *Monsanto*, делавшая *Agent Orange*, не имеет никакого отношения к теперешней компании под тем же названием

и неадекватность измерений в регионах, не подвергавшихся распылению. Тем не менее в статье, опубликованной в 1985 г. в журнале *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis*, Хатч и ее коллега Джон Констэбл (John Constable) написали о «большом числе детей с ужасающими редкими аномалиями». У одних новорожденных отсутствовала часть мозга и черепа, у других не было глаз, у третьих были усохшие деформированные конечности.

По данным Хатч и Констэбла, наиболее четко воздействие TCDD, содержащегося в *Agent Orange*, выявлялось при беременностях, сопровождавшихся пузырьным заносом. В таких случаях спермии оплодотворяют нежизнеспособные яйцеклетки, в результате чего образуется опухолевидная масса, которая прорастает в матку и трансформируется в раковую ткань. Проведенный позже метаанализ привел к выводу, что воздействие *Agent Orange*

на будущих родителей скорее всего повышает риск врожденных дефектов у их будущих детей, но полной уверенности в этом нет.

Результаты обследования воевавших во Вьетнаме американских солдат, проводимые Институтом медицины в США с 1991 г., более однозначны. В докладе за 2014 г. говорится, что «есть убедительные свидетельства взаимосвязи воздействия дефолиантов» и развития саркомы мягких тканей, ходжкинской и неходжкинской лимфом и хлоранке (кожных волдырей). Упоминается также о «немногочисленных случаях» рака гортани, легких и предстательной железы, преждевременной периферической нейропатии, болезни Паркинсона, гипертензии, ишемической болезни сердца, инсульта и диабета II типа. Примечательно, что указания на наличие врожденных уродств любого типа не заслуживают доверия — за исключением расщелины позвоночника, патологии, относящейся к категории «предполагаемых». Министерство по делам ветеранов США оказывает бесплатную помощь таким больным в случае, если они предоставляют доказательства воздействия на них *Agent Orange*.

Компенсация без доказательства вины

Классификационная схема Института медицины неявно указывает на виновность США в последствиях прямого воздействия *Agent Orange*. По мнению Бэйли, новые меры по оказанию помощи коснутся только небольших групп людей с наиболее ярко выраженными патологиями.

Сенатор Патрик Лихи (Patrick Leahy) от штата Вермонт, много занимавшийся вопросами долгосрочных угроз окружающей среде, координировал также помощь пострадавшим. В 1980-е гг. он играл важную роль в создании федерального фонда по поиску и обезвреживанию неразорвавшихся снарядов на территории Вьетнама; эти работы продолжаются и по сей день, прежде всего в сельской местности. Начиная с 2007 г. он собрал примерно \$100 млн для очистки территории Вьетнама от диоксида. «Я полагаю, мы больше не должны связывать компенсацию с наукой, — говорит Тимоти Ризер (Timothy Rieser), который работает вместе с Лихи. — Правительство США действует с учетом того, что есть люди, пострадавшие больше других. И теперь встает вопрос: как найти их?»

Ле Ке Сон, сотрудничавший ранее с *Committee 33*, согласен с тем, что помогать нужно прежде всего тем пострадавшим, кто живет в горячих точках — Дананге, Бьенхоа и других. «\$21 млн, выделенный правительством США, — добрый знак, — говорит он. — Но этого недостаточно».

В переписке со мной пресс-секретарь фирмы *Monsanto* не подтвердил, но и не опроверг информацию о загрязнении территории Вьетнама

дефолиантами и о влиянии последних на здоровье местных жителей. Он заметил, что *Monsanto*, делавшая *Agent Orange*, не имеет никакого отношения к теперешней компании под тем же названием. Более того, он добавил: «Власти США заявляют, что те, кто производил по их заказу *Agent Orange*, не отвечают за использование их продукта в военных целях, поскольку руководствовались инструкциями правительства». Пресс-секретарь отказался комментировать данные о том, что вредное воздействие диоксида может распространяться на последующие поколения. Компания *Dow Chemical* в своем электронном послании сообщила мне, что не собирается отвечать на мои вопросы; на веб-сайте говорится, что правительство США «четко обусловило условия производства *Agent Orange*, его транспортировки и хранения и контролировало все этапы».

По мнению Стеллман, химические компании и многие члены правительства США предпочитают не сводить проблемы со здоровьем вьетнамцев исключительно к распылению дефолиантов. В то же время «каждый случай рождения ребенка с серьезными дефектами сами вьетнамцы воспринимают как результат действия *Agent Orange*. Истина же в том, что некоторые такие случаи действительно могут быть следствием контакта родителей или представителей более ранних поколений с этим агентом, но насколько это правда, наука ответить не может. Четкие данные на этот счет отсутствуют».

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Agent Orange and Risks to Reproduction: The Limits of Epidemiology. Maureen C. Hatch and Zena A. Stein in *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis*, Vol. 6, No. 3, pages 185–202; 1986.
- Dioxin (TCDD) Induces Epigenetic Transgenerational Inheritance of Adult Onset Disease and Sperm Epimutations. Mohan Manikkam et al. in *PLOS ONE*, Vol. 7, No. 9, Article No. e46249; September 26, 2012. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0046249>
- Veterans and Agent Orange: Update 2012. Institute of Medicine. National Academies Press, 2014.
- Некоммерческая группа помощи детям Вьетнама: www.childrenofvietnam.org
- Больше о передаче генетических дефектов, вызванных диоксином, от одного поколения лабораторных крыс к другому, см. по адресу: ScientificAmerican.com/jun2016/schmidt



ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

ЭБОЛА: ДУБЛЬ ДВА

Выжившие после эпидемии лихорадки Эбола страдают от нарушений в работе головного мозга и других недугов. Каковы причины этих состояний?

Сима Ясмин

ОБ АВТОРЕ

Сима Ясмин (Seema Yasmin) — доктор медицины. Статью для *Scientific American* написала, будучи в Либерии. Ее поездку спонсировал Пулитцеровский центр кризисной журналистики.



Д

Джозефина Карвах вышла из медицинского пункта, поддерживая обеими руками свой большой живот. Она поступила в этот полевой госпиталь в Монровии (Либерия) две недели назад, в августе 2014 г. Ее коленные суставы горели огнем, ноги подгибались, она едва могла сделать четыре шага.

Мать Джозефины умерла от лихорадки Эбола в том же госпитале. Ее труп в белом мешке с четко выписанными именем и фамилией вынесли санитары. От этого же заболевания умерли ее отец, дядя и тетя. Джозефина выжила, хотя тоже была инфицирована. Остался в живых и ее еще не родившийся ребенок. Всего во время эпидемии лихорадки Эбола, разразившейся в Африке в 2014–2016 гг., умерли 40% больных. Джозефина решила назвать своего будущего ребенка Миракл (Чудо).

По дороге домой в деревню, расположенную в часе езды от столицы Либерии, Джозефина вспоминала сквозь дрему своих умерших родных и то, что ей пришлось испытать в госпитале. Время от времени от этих невеселых воспоминаний ее отвлекали приступы головной боли; уснуть не давали ноющие коленные и бедренные суставы. В тот день она помогала старшей сестре варить суп, который они продавали на рынке. Ее правый глаз воспалился, а левый застилала пелена; ей казалось, что она смотрит на мир через несфокусированный бинокль. В обменном пункте она не могла пересчитать деньги в кошельке.

Джозефина — одна из 1,5 тыс. жителей Либерии, выживших после инфекции. Многие из них тоже страдают от ухудшения памяти, болей в суставах и мышцах, проблем со зрением. В докладе на конференции в Бостоне, суммировавшем все известные данные об оставшихся в живых после перенесенной лихорадки Эбола, Мосока Фаллах (Mosoka Fallah), эпидемиолог из Либерии, сообщил, что

таких пациентов более половины. У двух третей отмечаются неврологические заболевания, а у 60% возникают офтальмологические проблемы примерно через год после перенесенной лихорадки. Всемирная организация здравоохранения сообщила, что в марте этого года выполнены все срочные обязательства в отношении жертв лихорадки Эбола, и теперь переболевшие живут с диагнозом «синдром пост-Эбола».

Такой синдром отмечался в эндемических регионах и раньше. Выжившие после небольших вспышек в Восточной и Центральной Африке, случившихся за последние 20 лет, страдали от болей в суставах и мышцах, у них были проблемы со зрением, часто приводившие к инвалидности.

Но это были эпизодические инциденты и немногочисленные субпопуляции. Эпидемия, свирепствовавшая в 2014–2016 гг. в Восточной Африке, оставила после себя 17 тыс. переболевших с высоким риском синдрома пост-Эбола. Как и Джозефина, они прошли курс лечения в специализированных

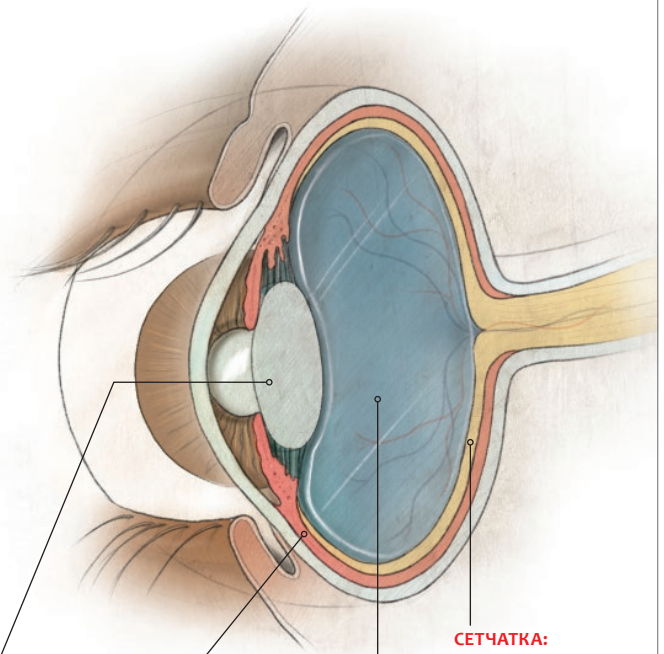
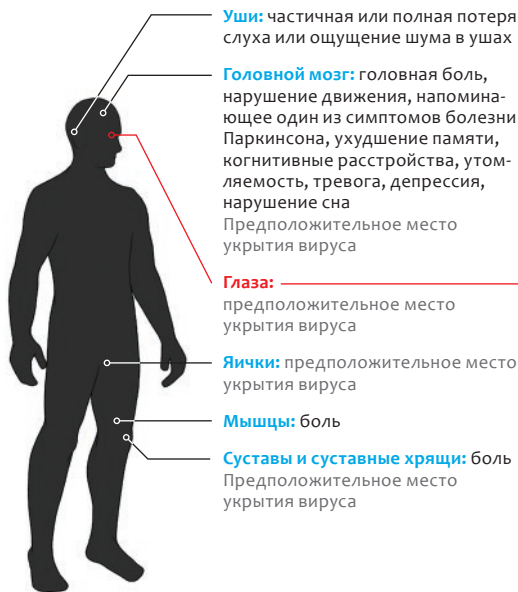
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- По официальным заявлениям, эпидемия лихорадки Эбола в Западной Африке закончилась, но над примерно 17 тыс. выживших висит угроза развития синдрома пост-Эбола.
- По данным обследований либерийских специалистов, у 60% переболевших проблемы со зрением, 53% страдают от мышечных и суставных болей, у 68% имеются неврологические нарушения.
- Переболевшие внешне здоровые люди часто оказываются изолированными от общества и опасаются, что могут заболеть вновь.

СИНДРОМ ПОСТ-ЭБОЛА

Предполагаемые убежища

Более чем у тысячи жителей Либерии из 1,5 тыс. переболевших лихорадкой Эбола впоследствии появляются различные осложнения, в том числе неврологические нарушения и мышечная боль. Возможно, вирус укрывается в недоступных для иммунных клеток органах и тканях, например в глазном яблоке. А может быть, иммунная реакция на вирус вызывает слишком сильное воспаление в уязвимых местах. Здесь перечислены некоторые вероятные места укрытия вируса и возникающие в результате симптомы. Особенно высок риск офтальмологических патологий.



ХРУСТАЛИК: катаракта (помутнение хрусталика), приводящая к нечеткости зрения или его утрате, ослабление зрения при плохом освещении, появление гало вокруг ярких источников света

ЖИДКАЯ ЧАСТЬ СТЕКЛОВИДНОГО ТЕЛА: слипание белковых молекул и мелких частичек вещества, приводящее к затуманиванию зрения

СОСУДИСТАЯ ОБОЛОЧКА: набухание среднего слоя, приводящее к покраснению глаз, боль, непереносимость яркого света, затуманивание зрения, появление плавающих пятен в поле зрения

СЕТЧАТКА: отслоение, разрыв слоев, изменение пигментации, воспаление центральной области, могущее привести к частичной или полной утрате зрения, неспособность видеть при слабом свете, гиперчувствительность к яркому свету, световые искры или пятна

полевых госпиталях, но что ждет их в будущем — никто не знает. И врачам, и пациентам известно одно: вирус лихорадки Эбола не побежден.

Призрак вируса Эбола

Кабинет Фаллаха находится в конце длинного коридора в Медицинском центре им. Джона Кеннеди в Монровии. Выпускник Гарвардского университета, Фаллах вырос в одной из самых больших в Либерии трущоб, а сегодня входит в группу ученых, занимающихся проверкой способов лечения больных лихорадкой Эбола и разработкой вакцин против нее. Продолжением его работы стало изучение последствий, которые преследуют выживших.

В 2014 г. Национальные институты здравоохранения в США и Министерство здравоохранения и социальной защиты Либерии разработали программу под названием «Партнерство в целях создания вакцины против лихорадки Эбола» (*Partnership for Research on Ebola Vaccines in Liberia, PREVAIL*). К тому времени, когда завершилась проверка первой вакцины на безопасность, эпидемия

в Либерии пошла на спад. Число людей, готовых пройти вакцинацию, оказалось гораздо меньше, чем ожидалось, и клинические испытания свелись к тестированию на безопасность и способность вызывать иммунный ответ. До проверки эффективности вакцины дело так и не дошло. Все силы *PREVAIL* были брошены на поиски способов помощи выжившим после инфекции, которые страдали физическими и психологическими недугами. По этому пути пошел и Фаллах.

В одну из сред, за два дня до Рождества, он сидел в своем кабинете и изучал файлы с историями болезни своих пациентов. Все утро было занято осмотром второго этажа здания, где должно было разместиться оборудование для обследования переживших лихорадку Эбола. Вдоль коридора, ведущего к кабинету Фаллаха, как всегда сидели мужчины и женщины, ожидавшие приема. День был заполнен до отказа.

Со времени начала реализации программы помощи выжившим, в июне 2015 г., более тысячи переболевших пациентов из других стран выразили

желание принять участие в обследовании. Их состояние здоровья предполагается проверять раз в полгода в течение пяти лет. Каждого из них просили сообщить о четырех друзьях или родственниках в одном из трех указанных медицинских учреждений. Эти люди находились в близком контакте с пациентами, но не были инфицированы. Фаллах надеется таким образом набрать контрольную группу численностью до 6 тыс. человек. Это поможет разграничить симптомы пост-Эбола и симптомы, характерные для других заболеваний, распространенных в Восточной Африке.

Первые данные обследований, представленные в феврале этого года, были удручающими: 60% из примерно тысячи переболевших сообщили, что они испытывают проблемы с глазами, 53% страдали от мышечных и суставных болей, 68% — от неврологических проблем. Фаллах и его коллеги сосредоточились на исследовании воздействия вируса на нервную систему. На неврологической конференции, состоявшейся в апреле, они сообщили, что почти три четверти переживших инфекцию страдают от головных болей, у 72% развивается депрессия, у половины возникают проблемы с памятью и им трудно ходить.

Каждый четвертый или пятый стал хуже видеть. Когда таких пациентов обследовали более тщательно, оказалось, что у 10% из них увеит (воспаление сосудов глазного яблока). Проблемы со зрением привлекли особое внимание Фаллаха в самом начале исследований. «Еще когда эпидемия была в разгаре, я заметил, насколько разнообразны симптомы у выживших, и мне стало ясно, что необходимы более глубокие исследования, — говорит он. — и в первую очередь нужно было заняться глазами».

Фаллах обратился к сведениям о более ранних эпидемиях этого заболевания, в частности к эпидемии 1990-х гг., и выяснил, что многие выжившие тоже говорили о появлении проблем с глазами в период выздоровления. После вспышки лихорадки Эбола в Демократической Республике Конго врачи обследовали 20 пациентов, некоторых — спустя два месяца после выздоровления. У четверых отмечались боли в глазах, повышенная чувствительность к свету, ухудшение зрения и увеит. После следующей вспышки — в 2007 г. в Уганде — за 49 выздоровевшими велось наблюдение в течение двух лет. Помимо ухудшения памяти и слуха, болей в суставах, нарушения сна люди жаловались на неясность зрения и боль в области за глазным яблоком.

Не так давно результаты обследования восьми пациентов, проходивших лечение по поводу лихорадки Эбола в больницах США, показали, что у всех имел место синдром пост-Эбола в период до четырех месяцев после выписки. У шести отмечали депрессию, тревожность, ухудшение памяти,



Отчаяние: Джозефина Карвах, переболевшая лихорадкой Эбола и теперь страдающая от ее последствий, у магазина в своей деревне

у пятерых — проблемы с глазами, в том числе неясность зрения и боли. Нет никаких сомнений, что синдром — это реальность, но связан ли с ним вирус — неясно.

В чем причина

Подобного рода ситуация не нова: такие же проблемы возникали с другим вирусом, а именно ВИЧ. В далекие 1980-е гг. клиницисты столкнулись с аналогичными, опасными для жизни последствиями заражения этим вирусом и, чтобы разобраться в них, обратились к опыту борьбы с другими заболеваниями. «То же самое происходит сейчас с лихорадкой Эбола», — говорит Авиндра Нат (Avindra Nath), нейробиолог из Национальных институтов здоровья, тесно сотрудничающий с Фаллахом.

Большую часть своей тридцатилетней научной деятельности он посвятил исследованиям инфекционных заболеваний головного мозга. Несмотря на то что вирус Эбола, в отличие от ВИЧ, не относится к группе ретровирусов, Нат полагает, что многолетние работы по изучению ВИЧ могут стать хорошим подспорьем в распутывании клубка симптомов лихорадки Эбола. «Многие из тех, кто участвует сегодня в этом процессе, имеют большой опыт работы с ВИЧ и могут быстро адаптировать свои знания и методы к новым реалиям», — говорит Нат.

В первую очередь его интересует, становятся ли неврологические нарушения прямым результатом воздействия вируса или, напротив, их инициирует ответ иммунной системы на инфекцию. При СПИДе вирус атакует иммунные клетки, называемые макрофагами, запуская процесс высвобождения цитокинов, небольших белковых молекул, токсичных для клеток нервной системы. Опыты на обезьянах показали, что вирус Эбола тоже инфицирует

макрофаги и вызывает «цитокиновый шторм». (Цитокины служат химическими посредниками в межклеточных коммуникациях и провоцируют воспаление.) Это может привести к кровоизлияниям в самых разных органах и тканях, в том числе в головном мозге, что объясняет ухудшение памяти, возникновение головных болей и двигательных расстройств, которые наблюдал Нат.

Параллельно поискам ответов на вопросы, касающиеся неврологических симптомов лихорадки Эбола, с опорой на данные по ВИЧ-инфекции, предпринимаются попытки разгадать природу другого симптома, чувства крайней усталости, путем анализа сведений о вирусе лихорадки денге и вирусе Эпштейна — Барр. В первом случае этот симптом отмечается у четверти выздоровевших пациентов, во втором — у 40%. Возможно, к возникновению этих симптомов причастны в обоих случаях цитокины. Они могут связываться с рецепторами в головном мозге и вызывать постинфекционную утомляемость и утрату аппетита.

Один из распространенных симптомов, составляющих синдром пост-Эбола, — боль в суставах. После вспышки лихорадки в 1995 г. в Конго это состояние отмечалось у двух третей выживших на протяжении двух лет после выздоровления, а у переболевших жителей Уганды его частота составила 30%.

Кластеризация белков иммунной системы в коленных или плечевых суставах может вызывать раздражение и опухание, а другие компоненты иммунной системы, в частности антитела, — провоцировать боль. У тех, кто выжил после вспышки лихорадки Эбола в Конго и жаловался на боли в суставах, уровень антител был выше, чем у тех, кто никакой боли не испытывал. Следует упомянуть и еще об одном белке, возможно причастном к возникновению суставных болей. Это так называемый *D*-димер, маленький белковый комплекс, оторвавшийся от кровяного сгустка. Так, известно, что у пациентов, излечившихся от менингита и испытывающих боли в суставах, уровень *D*-димеров в крови повышен. К сожалению, никаких исследований на этот счет в случае лихорадки Эбола не проводилось.

Укромные места

Глазные заболевания у выживших после лихорадки Эбола тоже скорее всего связаны с ответом иммунной системы на вирус — или, что особенно опасно, с репликацией вируса в глазу несмотря на то, что в крови его уже нет. Глазное яблоко — надежное убежище для вируса, здесь его не может обнаружить иммунная система. У одного из переболевших этот орган был до предела заполнен вирусными частицами. В сентябре 2014 г. американский врач Иэн Крозье (Ian Crozier) заболел лихорадкой Эбола, когда работал в Сьерра-Леоне. Через два

месяца после того, как его выписали из клиники, у него появилась боль в левом глазу, а его цвет вместо голубого стал зеленым. При обследовании обнаружилось, что в глазном яблоке концентрация вирусных частиц выше, чем она была в крови, когда Крозье находился на волосок от смерти несколько недель назад.

Глазное яблоко — не единственный «тайник» вируса лихорадки Эбола. Он и многие другие патогены, включая ВИЧ, могут скрываться в яичках, отделах центральной нервной системы, суставном хряще. Это повышает вероятность их повреждений, когда иммунная система обрушивается всей своей мощью на патогены. Чтобы обезопасить себя от воспаления, эти органы прибегают к одной хитрой уловке: они начинают вырабатывать иммуносупрессанты и создавать физические барьеры на пути иммунных клеток. Эти защитные механизмы изолируют укрывшиеся в «тайниках» вирусы и делают их недоступными для системы иммунитета. Наличие таких резервуаров инфекции объясняет инцидент с Полин Кафферки (Pauline Cafferkey), медицинской сестрой из Шотландии, которая излечилась от лихорадки Эбола, а через девять месяцев после того, как анализ крови на вирус дал отрицательный результат, и через год после инфицирования вновь почувствовала себя плохо.

Скопление вирусных частиц в яичках объясняет, почему вирус обнаруживается в семенной жидкости некоторых переболевших многие месяцы несмотря на отсутствие каких-либо симптомов. В самом начале вспышки лихорадки Эбола в Западной Африке ВОЗ предупредила о необходимости соблюдать строжайшие меры предосторожности при половых контактах в течение по крайней мере трех месяцев после того, как получен отрицательный результат тестирования крови на вирус Эбола. Основанием к такой рекомендации послужил эпизод, случившийся в Конго в 1995 г., когда вирус был обнаружен в семенной жидкости переболевшего мужчины через 82 дня после исчезновения всех симптомов.

Однако у выживших во время эпидемии в Западной Африке вирус обнаруживается в семенной жидкости спустя год после выздоровления. На конференции в Бостоне Фаллах сообщил еще более удручающую новость: у одного из переболевших вирус нашли в семенной жидкости спустя 18 месяцев после заражения. Известны случаи, когда вирус исчезает, а спустя год вновь появляется. (Теперь ВОЗ рекомендует мужчинам практиковать безопасный секс в течение года и повторно сдать семенную жидкость для проверки на присутствие вируса.)

У одной пациентки Фаллаха сын умер от лихорадки Эбола в ноябре 2015 г. По словам членов семьи, ни один из них не контактировал с больными или выздоровевшими, но Фаллах полагает, что это не так. Он допускает, что у матери был половой

контакт с кем-то из выздоровевших. Она не подозревала, что стала носителем вируса, и передала его ребенку.

Ранее Фаллах встречался со случаем передачи вируса Эбола половым путем. В марте 2015 г. он обнаружил, что женщина, умершая от лихорадки Эбола, при жизни имела половой контакт с мужчиной, который излечился от этой болезни шесть месяцев назад. В его крови вирус отсутствовал, но результат анализа семенной жидкости был положительным.

Подобного рода случаи очень тревожат Фаллаха. Существование вируса в теле переболевшего уже после исчезновения всех симптомов болезни и даже при отсутствии его в крови опасно по двум причинам. Если вирус скрывается в организме здорового по всем признакам человека, то его выход из «убежища» может привести к возрождению болезни и вызвать новую вспышку инфекции в популяции. Но обнаружение целого вирусного генома и его осколков в физиологических жидкостях организма человека еще не доказывает, что последний заражен. Что реально беспокоит Фаллаха — это клеймо, которое ставят на выжившего новые обнаружившиеся факты. «Человек и так страдает от синдрома пост-Эбола, корни которого нам неизвестны, — говорит он. — а теперь его будут сторониться окружающие, опасаясь подхватить инфекцию».

Трагедия при родах

Через несколько дней после выписки из госпиталя в Монровии Джозефина проснулась у себя дома вскоре после полуночи. На этот раз ее разбудили не ночные кошмары и не головная боль, а спазмы в области живота. Она встала, чтобы пойти в ванную комнату, и увидела кровь на простыне. «Офелия!» — позвала она свою старшую сестру. Они позвонили в врачебный пункт, но им ответили, что никого из персонала нет. В отчаянии они обратились за помощью к сотрудникам радио в Монровии, но никто не отозвался.

Джозефина бродила туда-сюда по спальне, временами останавливаясь от раздражающих болей. В пять часов утра она завернулась в полотнище темно-бордового цвета (традиционное одеяние либерийцев) и, шатаясь, вышла из дома. Если здесь ждать помощи не от кого, может быть, найдется кто-то на улице. Деревня спала, до рассвета было не меньше часа. Джозефина брела вдоль дома, опираясь о стену, чтобы не упасть. «Помогите, пожалуйста, помогите!» — кричала она. Несколько женщин вышли на порог своих домов, но никто не решился прикоснуться к несчастной, которая совсем недавно выписалась из больницы. Когда Джозефина дошла до дома на перекрестке, силы покинули ее. Она села на землю, прислонившись к стене, и почувствовала, что ребенок вот-вот появится на свет.

Пять женщин подошли поближе, размотав полотнище и образовав полукруг, так чтобы никто не видел, что происходит внутри. Джозефина тузилась изо всех сил и пронзительно кричала. Наконец мучения закончились. Миракл родился. «Какой толстенький ребенок», — подумала она, прижимая его к груди. Но Миракл не дышал.

Никто так и не решился дотронуться до женщины. Все вокруг смотрели, как она баюкает ребенка, захлебываясь от слез. Только брат Джозефины подошел к ней, взял младенца и завернул его вместе с плацентой в желтое покрывало.

При жизни мать Джозефины была акушеркой. «Почему ее нет здесь, со мной?» — причитала бедная женщина. Прошло несколько недель, и появилось множество других, более резонных вопросов. Действительно ли ребенка убил вирус или он умер потому, что никто не оказал матери необходимой помощи? Остался бы малыш в живых, случись все в больнице? Находился ли вирус в теле матери во время беременности и сможет ли она иметь детей в будущем?

Все эти вопросы Джозефина задала Фаллаху при посещении больницы. А Фаллаха волновал еще один вопрос: не может ли матка быть тем местом, где укрывается вирус после выздоровления больной? Что если однажды он покинет это убежище и инфекцию подхватит кто-то другой? И еще: решился ли кто-либо из переболевших лихорадкой Эбола завести ребенка, зная, что может оказаться в такой же ситуации, в какой оказалась Джозефина: ночью на улице без всякой помощи? «Когда вы больше не можете добывать средства к существованию продажей супа, когда у вас отказываются брать деньги на рынке, когда ваш бойфренд покидает вас, и все это потому, что вы переболели лихорадкой Эбола, — не лучше ли умереть во время эпидемии?» Вот какие мысли бродили в голове Фаллаха. Но на вопросы Джозефины он ответил: «Я не знаю. Мы стараемся найти выход». ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Брансуэлл Х. Война с Эболой // ВМН, № 5-6, 2015.
- Possible Sexual Transmission of Ebola Virus — Liberia, 2015. A. Christie et al. in Morbidity and Mortality Weekly Report, Vol. 64, No. 17, pages 479–481; May 8, 2015.
- Persistence of Ebola Virus in Ocular Fluid during Convalescence. Jay B. Varkey et al. in New England Journal of Medicine, Vol. 372, pages 2423–2427; June 18, 2015.
- Serious and Common Sequelae after Ebola Virus Infection. Luke Hunt and Victoria Knott in Lancet Infectious Diseases, Vol. 16, No. 3, pages 270–271; March 2016.
- Рассказ Джозефины Карвах о том, как она живет после излечения, см. по адресу: ScientificAmerican.com/jul2016/Josephine



СЕНТЯБРЬ 1966

Искусственный интеллект.

«Чтобы программа смогла совершенствоваться, ей потребуется как минимум понимание собственного процесса решения задач и способность распознавать улучшение, если оно обнаруживается. Неустрашимых причин, по которым маши-

на не могла бы сделать это, нет. Располагая моделью своих внутренних алгоритмов, она могла бы использовать ее возможности в отношении решения задач по самосовершенствованию. Но современные программы недостаточно разумны для этого. Они могут справляться с задачами совершенствования программ, намного более простых, чем они сами. Но если мы создадим программы с истинной способностью к самосовершенствованию, начнется быстрый процесс эволюции <...>. Однако не стоит думать, что машины могут стать почти столь же разумными, как мы сами, и на этом остановятся». — Марвин Минский (Marvin Minsky).



СЕНТЯБРЬ 1916

Кино. Аудитория напряженно смотрит, как герой фильма отчаянно борется с механизмами управления подводной лодкой, которая быстро погружается на дно океана. Эта сцена была снята несколько месяцев назад, но не в реальной подлодке, как можно предположить,

а в спокойном углу киностудии. Работники мастерских киностудии несколько недель строили декорации подводной лодки, а перед началом съемки режиссер внимательно обследовал все детали макета, чтобы убедиться, что он достаточно точно передает внутренний вид подводной лодки. Современные режиссеры стремятся усилить впечатление от хорошего сценария и талантливой игры актеров как можно более полной реалистичностью декораций.

Бич полиомиелита. Эпидемия полиомиелита, свирепствующая ныне в штате и городе Нью-Йорк и распространяющаяся по большей части США, — наиболее серьезная в истории медицины. На 1 сентября число жертв в одном только штате Нью-Йорк достигло 10 тыс., тогда как максимальное число жертв, зарегистрированное в предшествующих эпидемиях, составляло 3840 (это было в Швеции в 1911 г.). Внимание медицинской науки

эта мучительная болезнь привлекла лишь недавно. Она, естественно, существовала с давних пор, но впервые была описана только в 1841 г., когда 11 случаев заболевания были зарегистрированы в Луизиане.

Первое сообщение о танках. С полей сражений на севере Франции приходят странные вести. Не подготовь нас развитие событий на войне к восприятию самых нелепых слухов, мы бы подумали, что ожил наш старый друг барон Мюнхгаузен. Военные корреспонденты рассказывают об огромных британских машинах, которые преодолевают окопы и воронки от снарядов, предпочитают прокладывать себе дорогу через деревья, а не объезжать их, любят пробиваться сквозь кирпичные стены домов и крутиться внутри, давя врагов.

Примечание: впервые танки были применены 15 сентября 1916 г. у деревни Флер в ходе битвы на Сомме во Франции.



СЕНТЯБРЬ 1866

Отдаленное будущее.

Луна будет очень медленно приближаться к Земле, и в весьма отдаленном будущем они столкнутся. При ударе твердая оболочка Земли будет разрушена и выделится огромное количество тепла, в результате чего оба тела сольются в единый распла-

вленный шар. В свою очередь, Земля будет постепенно приближаться по спирали к Солнцу и в итоге ничтожной пылинкой упадет на эту колоссаль-

ную светящуюся массу. Та же судьба ожидает и все остальные планеты, и вся наша Солнечная система превратится в один шар. Когда он остынет до подходящей температуры, на нем может появиться множество обитателей, в числе которых могут оказаться и астрономы, что будут наблюдать вращение этого шара среди других солнц нашей звездной системы. И если их знания и разум будут такими же, как у наших астрономов, они смогут предвидеть грядущее в итоге слияние всех этих солнц в единый шар. ■



Кино стремится возможно реалистичнее представить историю тонущей подводной лодки, 1916 г.

ГЕНЕТИКА ОЖИРЕНИЯ И ДИАБЕТА

В основе настигшей человечество пандемии ожирения и диабета, возможно, лежит мутация, возникшая у доисторических приматов

Ричард Джонсон и Питер Эндрюс

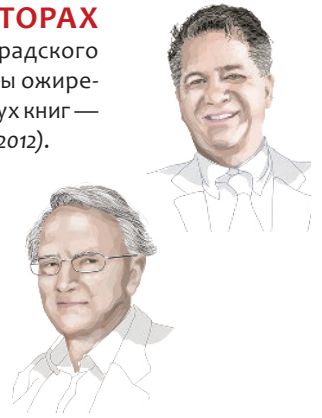
В 1962 г. специалист в области генетики человека Джеймс Нил (James Neel) выдвинул гипотезу, предлагающую ключ к решению одной давно занимавшей умы ученых эволюционной загадки: почему при диабете II типа, который, по мнению ученого, связан с мутацией в одном не идентифицированном гене, возникают такие осложнения, как слепота, сердечно-сосудистые заболевания, нарушения в работе почек? Примечательно, что эта болезнь может развиваться у людей репродуктивного возраста, и в отсутствие лечения — как это было у доисторического человека — такие больные не могли найти сексуального партнера, оставить потомство и передать свои гены будущим поколениям. Другими словами, естественный отбор должен был привести к элиминации дефектного гена и искоренению патологии.



ОБ АВТОРАХ

Ричард Джонсон (Richard J. Johnson) — профессор Медицинского колледжа Колорадского университета в Ороре. В центре его научных интересов — выяснение первопричины ожирения, диабета, гипертензии и заболеваний почек. Автор более 500 научных статей и двух книг — «Завязать с сахаром» (*The Sugar Fix*, 2008) и «Выключатель ожирения» (*The Fat Switch*, 2012).

Питер Эндрюс (Peter Andrews) — почетный научный сотрудник лондонского Музея естественного знания, профессор отделения антропологии Университетского колледжа Лондона. Описал много новых родов и видов древних приматов (по ископаемым останкам), одним из первых высказал предположение, что прародители ныне живущих приматов и человека появились за пределами Африки.



Тем не менее болезнь никуда не делась, напротив, она встречается все чаще. Нила заинтересовало, почему выживали носители такого опасного гена и как он мог распространяться в популяции.

Большую часть времени Нил проводил, изучая популяции туземцев Амазонии — яномама, которые, как он считал, были носителями того же генного варианта, что и их современники — жители цивилизованного мира, и тем не менее почти никогда не болели диабетом и не страдали ожирением (последнее повышает риск диабета). Такой контраст между членами туземных племен и остальным населением земного шара навел его на мысль, что, когда в далеком прошлом наступали голодные времена, первобытные люди — носители генного варианта, способствующего накоплению подкожного жира, получали преимущество. Избыток жира они расходовали на поддержание организма в норме, когда пищи не хватало. В более «тучные» времена — такие как сейчас, — этот же ген обуславливает развитие ожирения и диабета.

Гипотеза так называемого «запасливого» (или «экономного») гена не получила всеобщего признания, но просуществовала в том или ином виде в течение полувека. Представление о том, что наш организм запрограммирован на накопление жира и что нынешние высококалорийная диета и малоподвижный образ жизни могут закрепить эту тенденцию, находится в русле идеи обусловленности

диабета и других связанных с ожирением заболеваний (гипертензии, ожирения печени и других) экспрессией не идентифицированных пока «запасливых» генов. Противники этой гипотезы указывают на то, что голодать доисторическим людям приходилось не так уж часто и не настолько долго, чтобы произошло закрепление генов накопления жира. К тому же ни один такой ген не был идентифицирован.

Однако недавно мы, всмотревшись глубже в нашу эволюционную историю, обнаружили несомненные свидетельства справедливости гипотезы Нила: мутация в одном из генов сделала многих современных людей настоящими «хранилищами калорий». Эта мутация возникла у древних приматов, живших миллионы лет назад, и, как мы думаем, помогала им выживать в условиях продолжительных периодов недостатка пищи. Если все так и было, мы можем проследить эволюцию этих приматов вплоть до превращения их в самого раннего предшественника человека и выявить ген, который ассоциирован со многими наиболее распространенными заболеваниями современных людей.

Назад в Африку

Нил и его последователи полагали, что «запасливый» ген появился, когда наши прародители скитались по равнинам Восточной Африки. Но мы считаем, что произошло это гораздо раньше, когда

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Изучение ископаемых останков высших приматов показывает, что они достигли расцвета примерно 16 млн лет назад, а произошло это на территории нынешней Европы, где климат в то время был субтропическим. Последующее глобальное похолодание привело к исчезновению плодовых деревьев, и для приматов настали плохие времена.
- Мутация в гене, кодирующем фермент уриказу, способствовала превращению фруктового сахара (фруктозы) в жир, что помогало европейским приматам выживать в условиях дефицита пищи.
- Наличие этой мутации у всех современных высших приматов и всех современных людей, а также указания на ее присутствие у древних приматов наводят на мысль, что исчезнувшие европейские приматы превратились в ходе эволюции в современных приматов и первых гоминидов.
- Мутация в гене уриказы обуславливает предрасположенность человека к ожирению и диабету. Чтобы избежать этого, рекомендуется потреблять в пищу как можно меньше фруктозы в чистом виде.

обезьяны только появились на планете. Наша история — это история изменения климата и борьбы за выживание в голодные времена.

Самые первые человекообразные приматы произошли от того же предка, что и обезьяны, примерно 26 млн лет назад в Восточной Африке. Эти бесхвостые приматы, *Proconsul*, ходили на четырех ногах и жили на деревьях, как современные обезьяны, но имели более крупные туловище и череп, а также более развитый мозг. В те времена Африка была тропическим раем, ее обширные просторства были покрыты листопадными и дождевыми лесами, изобилующими плодовыми деревьями; приматы питались в основном фруктами. Исследование их ископаемых останков показывает, что приматов там было 14 видов.

Однако их процветанию постепенно приходил конец: климат на Земле становился холодным, ледяные полярные шапки разрастались, уровень океанов падал. К 21 млн лет назад Африка, которая ранее была островным континентом, подобным Австралии и Антарктиде, оказалась соединенной с Евразией несколькими сухопутными «мостами». Согласно палеонтологическим данным, полученным одним из нас (Питером Эндрюсом) и нашими коллегами из Турции, Германии и Испании, в Евразию мигрировали жирафы, слоны, антилопы и даже африканские муравьеды. Среди мигрантов были и приматы. К 16,5 млн лет назад такие из них, как *Griphopithecus* и *Kenyapithecus*, жили в тех местах, где сегодня находится турецкий Пашалар.

В Европе новоприбывшие приматы обосновывались в субтропических вечнозеленых лесах и влажных лиственных — отчасти из-за обилия пищи. Вся популяция разделилась по крайней мере на восемь видов, распределенных между пятью родами, в частности *Dryopithecus* и *Ankarapithecus*. Исследовав ископаемые останки животных, найденные в окрестностях Пашалара, Эндрюс с коллегами пришли к выводу, что климат в тех местах был таким, как на севере Индии в наши дни: с муссонными дождями летом и долгими сухими бесснежными зимами.

По мере дальнейшего похолодания и уменьшения количества осадков леса сменялись саваннами и фруктовыми в зимний период не хватало. Исследование ископаемых останков, проведенное Эндрюсом в 1980–1990-х гг., свидетельствовало о том, что в те времена приматы жили в основном на земле, а не на деревьях, что, по-видимому, позволяло им быстрее перемещаться с места на место в поисках пищи. Изношенность зубов и истончение слоя эмали свидетельствовали о том, что оголодавшие животные питались клубнями и корешками.

В конце концов зимой им просто стало нечего есть. В Пашаларе Эндрюс совместно с Джей Келли (Jay Kelly), работающей сегодня в Университете

штата Аризона, обнаружили ископаемые останки молодого половозрелого животного *Kenyapithecus kizili*, у которого наблюдалась характерная исчерченность резцов, свидетельствующая о том, что оно периодически недоедало или даже испытывало голод. Аналогичная исчерченность зубов имела место у *Dryopithecus*, живших 12–9 млн лет назад в районе Вальес-Пенедес в Испании. Тем временем климат становился все холоднее, и примерно к 7 млн лет назад европейские приматы исчезли — по крайней мере так считалось.

Позже обнаружили свидетельства того, что некоторые из них мигрировали в Азию, где в ходе эволюции превратились в предшественников гиббонов и орангутанов. Другая часть вернулась в Африку, дав начало африканским приматам и человеку. Один из кандидатов на роль переселенца из Евразии в Африку — *K. kizili*, зубы и челюсти которого сходны с таковыми у *Kenyapithecus wickeri*, примата, жившего в Западной Африке двумя миллионами лет позже.

В жизни европейских приматов на тяжелые времена указывают и генетические данные, которые вместе с изложенным выше заставляют вернуться к гипотезе «запасливого» гена — но в несколько ином виде. Мы сконцентрировали свое внимание на гене, кодирующем фермент под названием уриказа. У всех современных высших приматов (горилл, орангутанов, шимпанзе и бонобо), а также у человека этот ген содержит мутацию, блокирующую синтез уриказы. Мутация одинакова у обоих видов; это свидетельствует о том, что человек унаследовал ее от какого-то общего для него и высших приматов предка. Анализируя изменения, которые претерпевал уриказный ген в ходе эволюции, с помощью метода молекулярных часов, Наоюки Такахата (Naoyuki Takahata) из Университета перспективных исследований в префектуре Канагава (Япония) с коллегами и независимо от них Эрик Гоше (Eric Gaucher) из Технологического института Джорджии установили, что общий предок высших приматов и человека жил в период 17–13 млн лет назад — в то самое тяжелое время, когда европейские приматы вели борьбу за выживание в голодные времена года.

У предков гиббонов, живших в Европе примерно в то же время, уриказный ген выключила какая-то другая мутация. Все вместе эти данные наводят на мысль, что инактивация уриказы помогла древним европейским высшим приматам выживать в голодные времена. Но как именно это происходило?

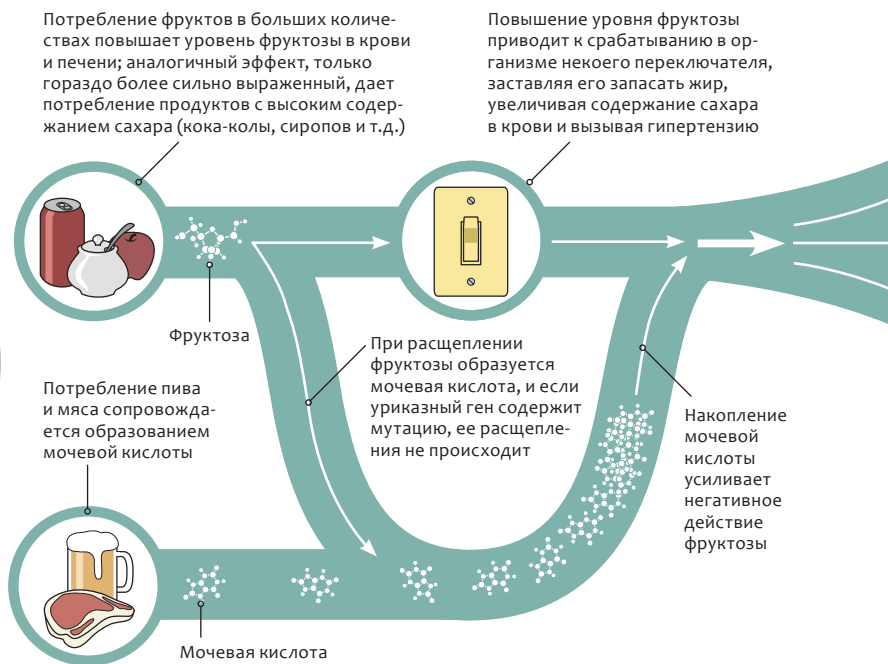
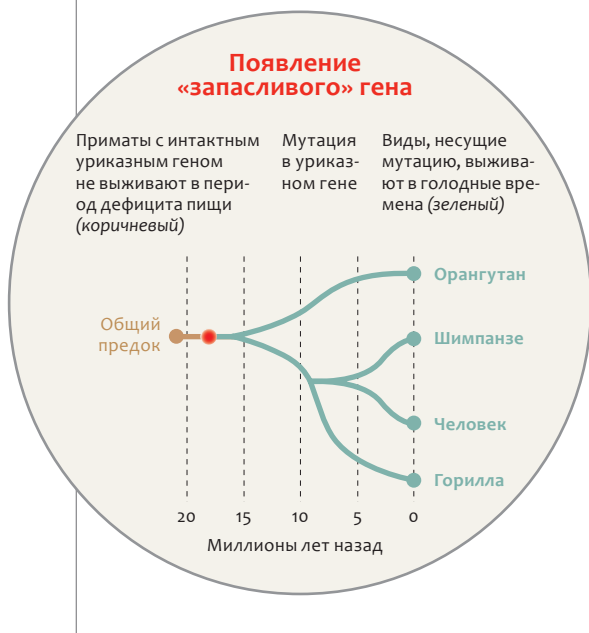
Хорошие времена, плохие времена

Ответ на вопрос, как мутация в гене уриказы спасает от голода, был получен в ходе поисков первопричины гипертензии и сердечно-сосудистых заболеваний. Уриказа — это фермент, расщепляющий

Двуликая мутация

Авторы предполагают, что мутация в некоем гене одного из видов приматов, живших миллионы лет назад, помогла этим животным выжить в период дефицита пищи и получить преимущества перед другими приматами. Эта мутация передалась более поздним видам, и в конце концов ее обладателями стали высшие приматы и человек. Мутация в гене,

кодирующем фермент уриказу, обеспечивает ее носителю одно важное преимущество — выживание в голодные времена. Среди прочего она побуждает организм запасать питательные вещества, а не расходовать их на получение энергии. Сегодня, когда недостатка в еде нет, эта мутация способствует ожирению и развитию сопутствующих ему заболеваний.



мочевую кислоту, побочный продукт метаболизма питательных веществ. Мутация в его гене, возникшая у древних приматов, должна была бы приводить к синтезу дефектного фермента и к накоплению в крови мочевой кислоты.

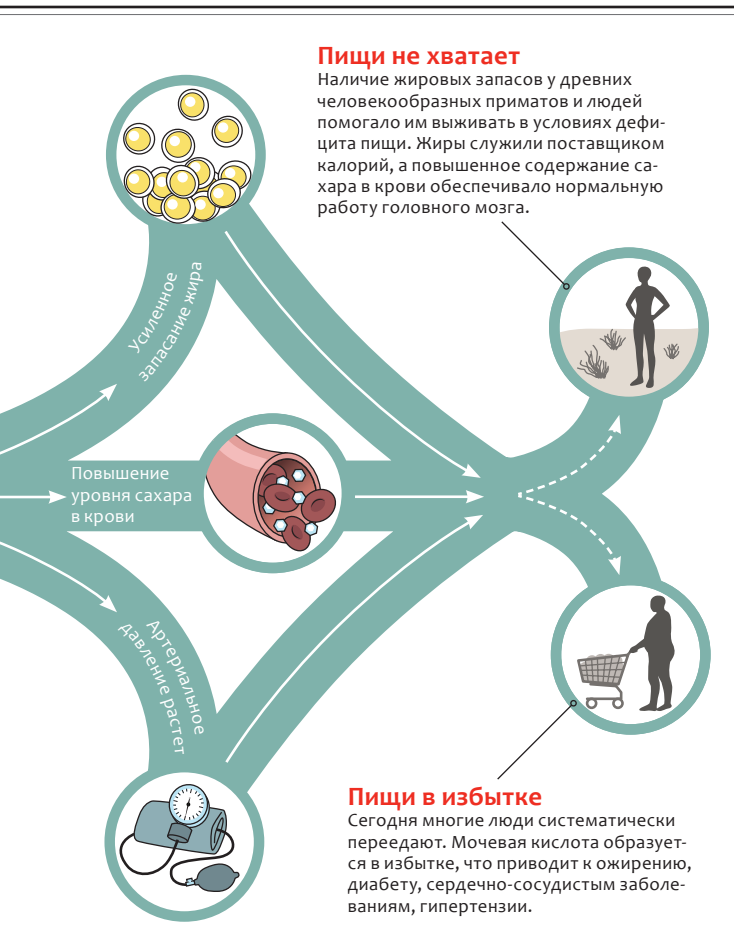
Так оно и было бы, если бы в нормальных условиях избыток мочевой кислоты не выводился из организма быстрее, чем успевал кристаллизоваться и вызывать заболевание суставов и образование камней в почках. У современных африканских приматов ее содержание в крови все-таки немного выше, чем у других животных; это же характерно и для туземцев, например членов племени яномама, сохранивших образ жизни предков.

У жителей западного мира с их малоподвижным образом жизни и высококалорийной диетой среднестатистическое содержание мочевой кислоты повышено. Известно также, что у тучных людей и тех, кто страдает сердечно-сосудистыми заболеваниями, этот показатель выше, чем у худощавых, одновременно у них повышен и уровень холестерина и триглицеридов.

Организаторы обширнейшего Фреймингхемского исследования сердца (научное изыскание, начатое в 1948 г. в Фреймингхеме, штат Массачусетс) обследовали пациентов в течение нескольких

десятилетий, чтобы на основе полученных статистических данных определить, какое из этих веществ вызывает сосудистую патологию. В 1999 г. они сообщили, что сама мочевая кислота здесь ни при чем. По их мнению, гипертензия повышает риск сердечно-сосудистых заболеваний и параллельно может приводить к увеличению содержания мочевой кислоты.

Эти выводы, однако, не устраивали одного из нас (Ричарда Джонсона), поскольку авторы нарушили один из основных принципов биологических экспериментов: они не проверили справедливость своей гипотезы на лабораторных животных. Этот пробел восполнила сотрудница Джонсона Марилда Мазали (Marilda Mazzali). Несколькими годами раньше группа Джонсона сообщила, что небольшие повреждения почек у крыс могут приводить к гипертензии или нарушению работы почек. Мы, в свою очередь, показали, что повышение уровня мочевой кислоты не сопровождается заметным повреждением почек, и пришли к выводу, что это повышение вряд ли влияет на артериальное давление или функционирование почек. Но Мазали буквально повергла всех нас в шок, сообщив, что у лабораторных крыс, на которых она проводила свои эксперименты, давление повышается.



Джонсон с коллегами предпринял ряд исследований, показавших, что у крыс с большим, чем в норме, содержанием мочевой кислоты развивается гипертензия, причем сразу двумя путями. Мочевая кислота очень быстро вызывает каскад биохимических реакций, называемый оксидативным стрессом. Это приводит к сужению кровеносных сосудов, что заставляет сердце работать интенсивнее, чтобы поддерживать на должном уровне кровообращение, и повышает артериальное давление. Уменьшение концентрации мочевой кислоты возвращает ситуацию в норму. Однако если избыток мочевой кислоты сохраняется слишком долго, в почках постепенно накапливаются повреждения, препятствующие выведению из организма солей. Это, в свою очередь, повышает артериальное давление, которое можно уменьшить, перейдя на бессолевую диету; манипуляции же с мочевой кислотой такого эффекта не дают.

Чтобы установить, обстоит ли дело таким же образом у человека, Джонсон и Дэн Фейг (Dan Feig), детский нефролог, работавший в то время в Медицинском колледже Бэйлора, определили содержание мочевой кислоты у группы подростков с лишним весом и недавно диагностированной гипертензией и, к своему удивлению, обнаружили,

что у 90% из них ее больше нормы. Они отобрали 30 молодых людей из этой группы и пролечили их аллопуринолом, снижающим уровень мочевой кислоты. У 85% из числа тех, у кого содержание мочевой кислоты упало, давление нормализовалось. Дальнейшие испытания подтвердили эти результаты, о чем Джонсон и Фейг сообщили в 2008 г. на страницах *Journal of the American Medical Association*. Чтобы окончательно убедиться в правильности этих наблюдений, необходимо провести более обширные клинические испытания.

Метаболический переключатель

Поскольку высокое артериальное давление сопряжено с ожирением и малоподвижным образом жизни, Джонсон подумал, не может ли избыток мочевой кислоты вызывать не только повышенные давления, но и ожирение. Обдумывание этой возможности заставило Джонсона заглянуть в далекое прошлое. Он проследил, как наши эволюционные предшественники от грызунов до приматов приспосабливаются к переходу от изобилия пищи к ее почти полному отсутствию.

При длительном дефиците пищи в природных условиях выживали те, кто накопил больше жира. Млекопитающих эти запасы уберегали в период зимней спячки, птицам позволяли совершать длительные перелеты, императорским пингвинам помогали выдерживать жестокие холода и обогреть потомство. И когда все эти животные предчувствуют наступление трудных времен, они начинают усиленно питаться, набирая вес.

Птицы и млекопитающие при этом переходят естественным путем в преддиабетическое состояние. В нормальных условиях, когда организм расщепляет углеводы, образуется глюкоза, которая накапливается в крови. Поджелудочная железа отвечает на это высвобождением инсулина, который отдает команду печени и мышцам превращать глюкозу в крахмалоподобное высокоэнергетическое вещество — гликоген. Однако при дефиците пищи животные могут полагаться только на внутренние резервы, между тем как мозгу для его работы требуется глюкоза. И тогда в метаболизме голодающих животных — от белок до певчих птиц — происходят изменения, в результате которых клетки печени и мышц перестают реагировать на инсулин. Эта «резистентность к инсулину» обеспечивает поддержание уровня глюкозы в крови, при котором головной мозг работает нормально.

По мнению Джонсона и его коллег, в организме животного происходит некое переключение, когда он готов как накапливать жир, так и перейти в преддиабетическое состояние. Как известно, птицы, медведи и орангутаны запасают жир на плохие времена, поедая в огромных количествах фрукты, и Джонсон предположил, что это

переключение осуществляет фруктовый сахар (фруктоза). Эксперименты на мышах, проведенные Такудзи Ишимото (Takuji Ishimoto) и Мигелем Ланаспой (Miguel Lanaspá), работавших в то время в лаборатории Джонсона, показали, что так оно и есть. Мыши, в рацион которых входило повышенное количество глюкозы, ели больше и двигались меньше, чем их собратья, питавшиеся обычным образом, и проявляли склонность к ожирению. Отчасти это было связано с тем, что фруктоза подавляет действие липтина — гормона, который передает в головной мозг сигнал к тому, чтобы прекратить есть.

Фруктоза в отличие от других сахаров метаболизируется в клетке с высвобождением мочевой кислоты, и Джонсону пришла в голову мысль, что, возможно, последняя опосредует некоторые эффекты фруктозы. Чтобы выяснить, так ли это, Такахико Накагава (Takahiko Nakagawa), работавший

Если мутантный уриказный ген — действительно то, что мы ищем, то для предотвращения ожирения, диабета и сердечно-сосудистых патологий нужно принимать меры к уменьшению содержания мочевой кислоты, точно так же как мы принимаем меры к снижению уровня холестерина

у Джонсона, скормливал лабораторным крысам фруктозу в больших количествах и одновременно давал половине из них аллопуринол, чтобы уменьшить уровень мочевой кислоты. В результате у последних понижалось артериальное давление — в полном соответствии с результатами, полученными ранее. Одновременно аллопуринол устранял многие признаки метаболического синдрома — набора состояний, включающего понижение уровня «хорошего» холестерина в крови, повышение содержания глюкозы и триглицеридов, накопление жира в области живота, гипертензию. Эксперименты на культуре клеток печени человека показали, что снижение концентрации мочевой кислоты препятствует превращению глюкозы в жир.

Итак, вырисовывалась следующая картина. Избыток фруктозы в рационе приводит к срабатыванию переключателя, а дефицит функциональной уриказы у высших приматов и человека повышает уровень мочевой кислоты, что усиливает действие

фруктозы. Все вместе это подталкивает организм человека к развитию метаболического синдрома, повышающего риск сердечно-сосудистых заболеваний, инфаркта и диабета.

Устойчивое изменение

В июле 2008 г., как раз когда формировалось это представление, Джонсон посетил Эндрюса в Музее естествознания в Лондоне, где тот проводил исследования, касающиеся эволюции высших приматов и человека. Целыми часами мы пытались нащупать пути, какими мутация в уриказном гене могла помочь жившим когда-то на Земле приматам не погибнуть в период глобального похолодания. Джонсон предположил, что все дело в дефиците функциональной уриказы и связанном с этим повышении содержания мочевой кислоты. При таких условиях фруктоза, содержащаяся в плодах, превращается в жиры, которые поддерживали носителей мутантного гена в тот период в середине миоцена (15 млн лет назад), когда на Земле становилось все холоднее и суше. В связи с этим у Эндрюса родилась интересная идея: хотя в Африке наступили холода, там было еще достаточно тепло для процветания фиговых деревьев, плодами которых круглый год могли питаться приматы. Но в Европе климат превратился из субтропического в умеренный, и фиговые деревья перестали плодоносить зимой. В результате европейские приматы в это время года голодали.

Мы предположили, что возникшая в уриказном гене мутация способствовала превращению фруктозы в жир, запасы которого спасали животных от голода в трудные времена. Потомки этих приматов — носители мутантного гена уриказы, переместившиеся в Африку несколькими миллионами лет позже, — были приспособлены к выживанию в условиях недостатка пищи лучше, чем их сородичи, оставшиеся в свое время в Африке. Если эти древние европейские приматы со временем вытеснили африканских, то они скорее всего и стали предками современных африканских приматов — и человека. А мутантный уриказный ген, по-видимому, и есть тот самый «запасливый» ген по терминологии Джеймса Нила.

Нерешенные вопросы

Несмотря на убедительность данных, собранных нами и другими исследователями, нашу гипотезу о том, что инактивированный уриказный ген действительно представляет собой «запасливый» ген, нельзя считать доказанной. Возможно, его следует искать среди различных генных вариантов (полиморфных генов), чем и занимались многие ученые, пытающиеся найти первоисточники эпидемии

ожирения и диабета. Они обнаружили несколько генных вариантов, обуславливающих предрасположенность к этим состояниям, но ни один не мог быть причиной эпидемии. Однако уриказный ген в этих исследованиях не фигурировал, поскольку у него нет вариантов: у всех носителей он одинаков. Скептики заявляют также, что «запасливый» ген должен был бы распространяться только в тех случаях, если бы тучность давала древним предшественникам человека преимущества. Но он существовал в популяциях миллионы лет назад для того, чтобы спасти наших предков от голода, а не с целью увеличения жировых отложений как таковых.

Далее, если бы все мы были носителями «запасливого» гена, то ожирение в современном мире было распространено гораздо шире. Само по себе «молчание» уриказного гена повышает уровень мочевой кислоты в крови незначительно, о чем свидетельствуют данные Джонсона по человекообразным обезьянам и туземцам яномама, которые питаются точно так же, как их предки. Мы же полагаем, что ген уриказы перестает способствовать подъему уровня мочевой кислоты в присутствии в рационе двух типов пищевых продуктов: пива и сходных с ним напитков, из которых образуется мочевая кислота, и продуктов, которые содержат в большом количестве фруктозу или метаболизируются с ее образованием. К последним относятся мед и продукты с высоким содержанием сахаров (например, сиропы, в которых много глюкозы и фруктозы). А когда уровень мочевой кислоты повышается, мы становимся более предрасположенными к ожирению и диабету.

В 2014 г. Гоше и Джеймс Кратцер (James T. Kratzer), работавший в то время в группе Гоше, а также Ланаспа представили убедительные свидетельства того, что мутантный ген уриказы и есть искомый «запасливый» ген. Они секвенировали эти гены, принадлежавшие давно вымершим приматам, млекопитающим (свиньям, крысам и собакам) и их общим предшественникам, и встроили их в выращенные в культуре клетки печени человека, чтобы посмотреть, какие ферменты в них образуются. В своей статье, опубликованной в 2014 г. в журнале *Proceeding of the National Academy of Science USA*, они сообщили, что древняя уриказа стала новилась все менее и менее активной в ходе эволюции приматов до тех пор, пока они не пришли к общему предку человека и человекообразных приматов. Эта утрата активности способствовала более успешному накоплению жира и высвобождению глюкозы, необходимой для работы головного мозга, и помогла выживать в условиях дефицита пищи.

Впрочем, окончательно убедиться в правильности нашей гипотезы позволят только масштабные клинические испытания. Пилотные эксперименты на добровольцах показали, что уменьшение

содержания мочевой кислоты с помощью лекарственных средств, назначаемых при подагре, приводит к снижению артериального давления, резистентности к инсулину, вероятности почечных патологий и ожирения.

Меньше сахара!

Если мутантный уриказный ген — действительно то, что мы ищем, то для предотвращения ожирения, диабета и сердечно-сосудистых патологий нужно принимать меры к уменьшению содержания мочевой кислоты, точно так же как мы принимаем меры к снижению уровня холестерина и триглицеридов. В конце концов, можно прибегнуть к геной инженерии, заменив дефектный уриказный ген нормальным; тогда мочевая кислота будет расщепляться более эффективно.

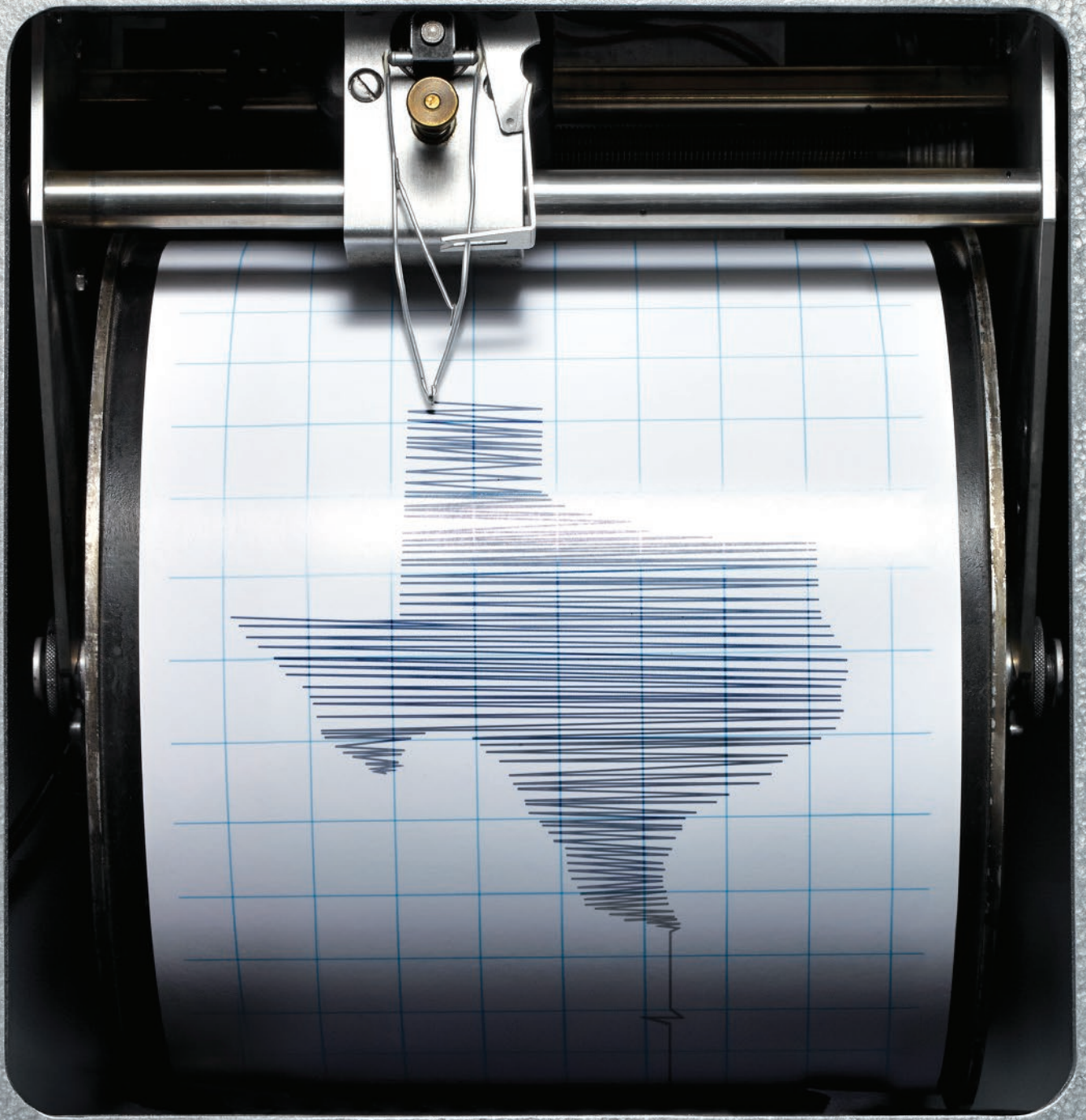
А тем временем мы не должны сидеть сложа руки: надо поддерживать вес тела в норме с помощью физических упражнений и соблюдения диеты. Основные источники сахаров давно известны, и тем не менее мы не отказываемся от сладостей, толстеем и приобретаем массу недугов. За последние десять лет число страдающих ожирением и больных диабетом стремительно возросло, то же самое произошло и со среднестатистическим содержанием в организме человека мочевой кислоты. Вернувшись к способу потребления фруктозы, свойственному нашим далеким предкам, т.е. не в чистом виде, а в составе фруктов, которые содержат к тому же витамин С и антиоксиданты, нейтрализующие отрицательное влияние фруктозы и мочевой кислоты, мы уберемся от многих недугов. По этой причине Американская ассоциация здравоохранения рекомендовала ограничить потребление сахара шестью чайными ложками в день для женщин и девятью для мужчин.

Теперь, спустя 50 лет после опубликования пионерской работы Нила, мы идентифицировали по крайней мере один из его «запасливых» генов — и у нас появилось больше шансов справиться с эпидемией ожирения и диабета. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Fructose, Uricase, and the Back-to-Africa Hypothesis. Richard J. Johnson and Peter Andrews in *Evolutionary Anthropology*, Vol. 19, No. 6, pages 250–257; November/December 2010.
- The Fat Switch. Richard J. Johnson. *Mercola.com*, 2012.
- Evolutionary History and Metabolic Insights of Ancient Mammalian Uricases. James T. Kratzer et al. in *Proceedings of the National Academy of the Sciences USA*, Vol. 111, No. 10, pages 3763–3768; March 11, 2014.
- Интервью с Ричардом Джонсоном см. по адресу: ScientificAmerican.com/oct2015/obesity



HRS MIN SEC
 TENS
 4
 2
 1
 ENABLE
 8
 4
 UNITS 2

TIME MARK MAN NOR PADIO AMPL	CAL PULSE HMS HM AMPL	MAN OFF EXT CAL AMPL		METER OFF B 12V A 12V BAL 0.1 MA 1.0 MA 10 MA	SYSTEM CHG OFF AMP REC	CLOCK ON OFF RESET
--	---------------------------------------	----------------------------	--	---	---	------------------------------------

GAIN 84 90 96	FILTERS LOW HIGH	MAX DEFL
-------------------------	----------------------------	-----------------

ВАУРШЕ ДО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Ученые все больше убеждаются в существовании взаимосвязи между землетрясениями и добычей нефти и газа, но власти запаздывают с реакцией на это

Анна Качмент

ДО

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Землетрясение, которое обрушилось на уютный дом Кэти Уоллес в пригороде Далласа, показалось ей разразившейся в недрах грозой. Сначала донесся отдаленный гром, затем последовали гул и толчок. Дом затрясся, окна задребезжали, картинки в рамках на стенах вздрогнули и покосились, а тяжелая ваза упала и разбилась.

Худшими были мгновения между первым грохотом и толчком. «Когда такое происходит, вы всегда знаете, что предстоит толчок,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Причиной землетрясений может стать закачка вод, отработанных при добыче нефти и газа, в глубокие скважины.
- Эта закачка изменяет напряжения, скрепляющие геологические разломы, облегчая подвижки, вызывающие землетрясения.
- В некоторых штатах США законодатели, хотя и с запазданием, начали ограничивать объемы воды, закачиваемой глубоко в недра.
- Землетрясения могут происходить даже после прекращения закачки воды из-за уже созданных изменений давления в глубине Земли.

ОБ АВТОРЕ

Анна Качмент (Anna Kuchment) — пишущий редактор журнала *Scientific American* и штатный научный обозреватель газеты *Dallas Morning News*. Прежде она работала репортером, автором и редактором в журнале *Newsweek*. Кроме того, она пишет в журнале *The Forgotten Cure*, посвященном вирусам-бактериофагам и их потенциалу в качестве оружия против устойчивости к антибиотикам.



но не догадываетесь, каким он будет, — говорит Кэти. — Будет ли он сильнее прежних? Не рухнет ли мой дом? Это очень страшно».

До 2008 г. в мегаполисе Даллас — Форт-Уэрт, где больше 20 лет живет Кэти Уоллес, Геологическая служба США не зарегистрировала ни одного землетрясения. С тех пор местные города с пригородными зонами испытали сотрясение почти от 200 толчков. Если же брать весь штат Техас в целом, то землетрясений в нем случилось в шесть раз больше, чем за предыдущий период. А в Оклахоме число землетрясений выросло в 160 раз, и некоторые из них были настолько сильными, что пострадавших пришлось госпитализировать, были повреждены здания и автострады. В 2014 г. число землетрясений в Оклахоме оказалась выше, чем в Калифорнии.

Рост числа землетрясений совпал с ростом объемов бурения. Дом Кэти стоит поверх пласта глинистых сланцев Барнетт, заключающего в себе второе по величине месторождение газа в США. Между 1998 и 2002 гг. ряд компаний начали здесь бурение с использованием гидроразрыва пласта. Этот метод состоит в закачке в недра миллионов галлонов воды под высоким давлением для создания трещин в пласте и высвобождения газа. Вместе с добываемым газом из скважины выходит и закачанная для разрыва пласта вода, содержащая опасно высокую концентрацию солей. Эта промывочная жидкость закачивается через другую скважину на значительно большую глубину под пласт сланцев в пористую породу для захоронения. С закачкой все больших объемов сточных вод в эти скважины давление в геологических разрывах может начать расти. В итоге в одном из них может произойти перемещение пород, вызывающее землетрясение.

Исследователи из Геологической службы США и других организаций связали резкий рост числа землетрясений в восьми штатах, включая Техас, Оклахому, Огайо, Канзас и Арканзас, с добычей нефти и газа. Власти некоторых штатов запоздали с реакцией на открытия ученых. Жители этих штатов стали все сильнее возмущаться, и группы защитников окружающей среды начали предъявлять иски. «Это вопрос общественной безопасности, и было много случаев отрицания

существования данной проблемы и пренебрежения ею», — говорит Уоллес, которая присоединилась к соседям, чтобы добиваться закрытия близлежащих скважин для сброса отработанных вод.

Продолжая изучать проблему, исследователи обнаружили новые причины для тревоги. Опыт показывает что риск возникновения землетрясений может распространяться на многие километры от места сброса сточных вод и сохраняться на протяжении десятилетий после прекращения бурения. И хотя сила самого мощного землетрясения, связанного с закачкой воды, которое произошло вблизи Оклахома-Сити в 2011 г., составляла 5,6 баллов по шкале Рихтера, ученые считают, что возможны землетрясения магнитудой до 7,0, способные приводить к гибели людей и повреждению зданий, хотя вероятность их невелика.

Первые признаки взаимосвязи

О том, что закачка воды в недра может вызывать землетрясения, геологи знают с 1960-х гг. Глубокую скважину для захоронения опасных отработанных вод с завода по производству химического оружия вблизи Денвера пробурили в 1961 г. Всего через несколько месяцев после начала закачки в нее вредных отходов местные жители стали ощущать толчки. За период с 1962 по 1966 г. там произошло более 700 слабых и умеренных землетрясений.

Корреляцию объема и давления закачиваемых в скважину стоков с частотой землетрясений заметил местный геолог Дэвид Эванс (David Evans). В статье 1966 г. он указал, что ответственной за землетрясения может быть именно эта скважина. «Вполне вероятно, что устойчивое состояние нарушается применяемым давлением жидкости», — писал он.

В том же году эта скважина была закрыта. Однако землетрясения продолжались, и по мере того как созданное закачкой давление распространялось в массу горных пород, приводя к нарушениям в новых разломах, сила этих землетрясений даже росла. Геофизик Мэттью Хорнбах (Matthew Hornbach) из Южного методистского университета в Далласе сравнил это явление с тем, как вода пропитывает бумажное полотенце: «Даже если вы перестанете лить воду, она продолжит распространение по полотенцу, и остановить это очень



Устье скважины в Койле, штат Оклахома, предназначенной для захоронения отработанных вод. В Оклахоме действуют тысячи таких скважин.

трудно», — говорит он. Сильнейшие землетрясения, одно из которых имело магнитуду 4,8, достаточную для того, чтобы сбросить вещи с полок, но в целом недостаточную для повреждения зданий, произошли в 1967 г., а затем стали ослабевать. Однако слабые толчки жители продолжали ощущать до 1981 г.

Это случай заинтересовал сейсмологов, и через несколько лет Геологическая служба США провела эксперимент на основе данных о нем. В 1969 г. компания *Chevron Oil* позволила Геологической службе использовать одну из своих скважин для более подробного исследования влияния давления жидкости на разломы. Эта скважина находилась в сейсмически активной зоне нефтяного месторождения Рейнджели в штате Колорадо, и *Chevron Oil* закачивала в нее воду для увеличения выхода нефти. Ученые из Геологической службы проводили периодическую закачку и следили за распространением давления в глубокозалегающих породах. Они определили пороговое значение давления промысловой жидкости, требуемое для возбуждения землетрясений. Если давление превышало этот порог, возникали землетрясения, когда оно падало ниже порога, землетрясения затухали.

Этот эксперимент показал, что рукотворные землетрясения можно контролировать, регулируя давление закачанной воды. К сожалению, к началу 2000-х гг., когда начался бум добычи сланцевого газа, уроки Рейнджели и Арсенала Скалистых

гор были, похоже, забыты. «В последующие 40 лет в геофизических журналах были опубликованы многие десятки статей о вызванных человеком землетрясениях, сейсмологи хорошо понимали эту проблему и правильно оценивали ее значимость», — говорит геофизик Билл Элсуорт (Bill Ellsworth) из Стэнфордского университета, начинавший свою карьеру в Геологической службе США как раз во время проведения ею эксперимента в Рейнджели. Он полагает, что профессиональный скептицизм замедлил формирование консенсуса. «Многие очень хорошие инженеры-нефтяники выражали сомнения — отмечает он. — Понимание всего физического процесса было либо потеряно, либо не доведено достаточно эффективно до широкой общественности».

Все началось в Техасе

Сообщения о землетрясениях стали поступать вскоре после начала интенсивного бурения сланцев в Техасе и Оклахоме. 30 октября 2008 г. жители агломерации Даллас — Форт-Уэрт обращались в службу 911 с сообщениями о грохоте, сопровождаемом сотрясениями стен и мебели. Многие думали, что что-то взорвалось.

Исследованием занялись сейсмологи Клифф Фролих (Cliff Frohlich) из Техасского университета в Остине и Брайан Стамп (Brian Stump) из Южного методистского университета. Они установили множество сейсмометров и за период

с 30 октября по 31 мая 2009 г. зарегистрировали больше 180 слабых землетрясений. А затем они узнали, что незадолго до этого крупная газодобывающая компания пробурила скважину для хранения стоков на территории международного аэропорта Даллас — Форт-Уэрт — менее чем в полумиле от эпицентра серии землетрясений. «На основе временных и пространственных корреляций мы пришли к выводу, что эта серия может быть следствием закачки соленых сточных вод в скважину», — писали они в статье, опубликованной в марте 2010 г. в газете *The Leading Edge*.

Статья могла остаться незамеченной, не произошли нескольких других событий. В июне 2009 г. серия слабых землетрясений взбудоражила промышленный городок южнее Форт-Уэрта, а через несколько месяцев серия более сильных землетрясений потревожила городки Гай и Гринбрайер в штате Арканзас. А в марте 2011 г. серия из 12 землетрясений вызвала подвижки горных пород в ранее стабильном районе Янгстауна в штате Огайо.

Специалисты из Геологической службы в своей штаб-квартире в Менло-Парке, штат Калифорния, поняли, что происходит что-то необычное. «Мы стали узнавать о землетрясениях в местах, где их не должно было быть», — говорит Эллсуорт, работавший в Геологической службе до 2015 г. Он стал рассматривать частоту повторяемости землетрясений в США более широко и обнаружил тревожную картину: в период с 1967 по 2000 г. к востоку от Скалистых гор происходило в среднем 21 землетрясение в год, а в период с 2010 по 2012 г. их число возросло до 100 в год. Он построил графики из полученных данных и представил их на научной конференции. Они вызвали большой интерес и у специалистов отрасли, и в академических кругах, и у широкой публики, отмечает Эллсуорт.

Горизонтальное бурение

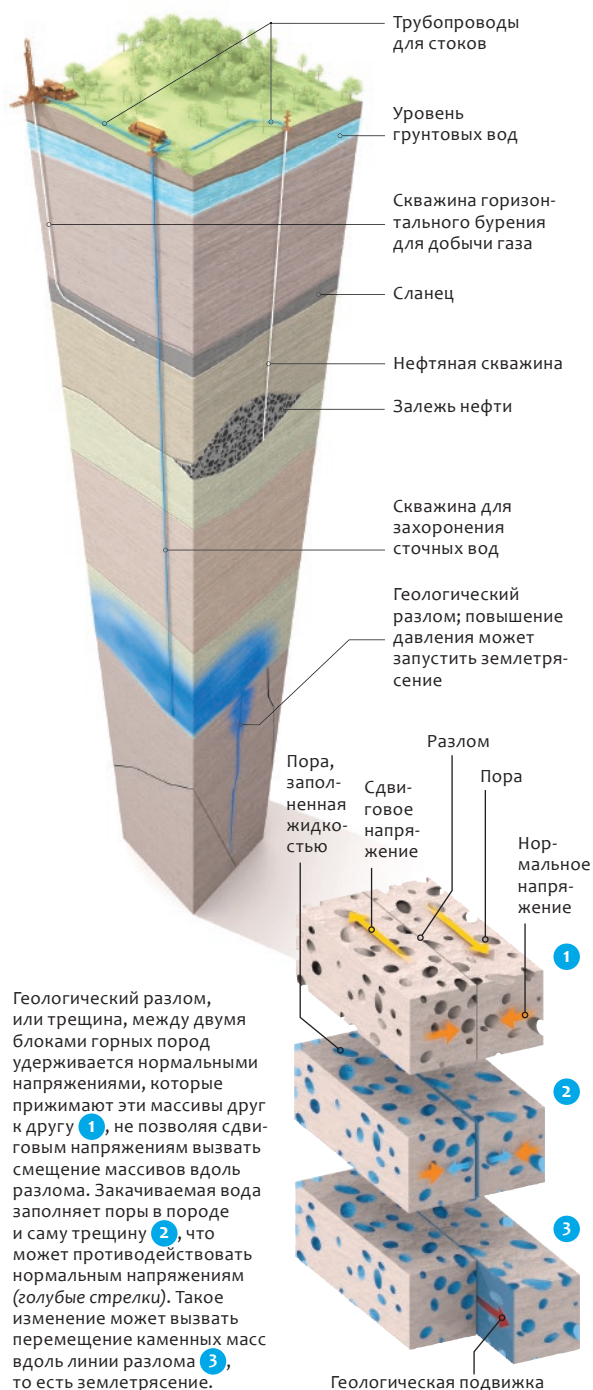
За ростом числа землетрясений стоит рост числа скважин для закачки отработанной воды. А за ростом числа этих скважин стоит технологический прорыв, известный как горизонтальное бурение. Этот метод позволяет операторам сначала бурить скважину вертикально, а затем повернуть ее на 90°. В толще газоносного пласта мощностью в 100 м, но простирающегося по горизонтали на километры, скважину можно повернуть и бурить внутри этого пласта на многие сотни метров, извлекая значительно большее количество газа и нефти.

Однако вместе с нефтью и газом из скважины выходит огромное количество очень соленой воды. «Дело добычи нефти и газа — это на практике дело водоснабжения», — говорит геолог Скотт Тинкер (Scott Tinker), директор Бюро экономной геологии Техасского университета в Остине. Вода поступает из тех же пород, что и нефть с газом. Все

ПРИЧИНА

Закачка вызывает землетрясение

Вместе с нефтью и газом из скважин выходят большие объемы воды, содержащей много солей и химических веществ. Добывающие компании часто закачивают ее в глубокие пласты пористых пород для постоянного размещения. Эта закачка может вызывать землетрясения.



Геологический разлом, или трещина, между двумя блоками горных пород удерживается нормальными напряжениями, которые прижимают эти массивы друг к другу **1**, не позволяя сдвиговым напряжениям вызвать смещение массивов вдоль разлома. Закачиваемая вода заполняет поры в породе и саму трещину **2**, что может противодействовать нормальным напряжениям (голубые стрелки). Такое изменение может вызвать перемещение каменных масс вдоль линии разлома **3**, то есть землетрясение.



В 2011 г. землетрясение магнитудой 5,6 сотрясло дома в Праге, штат Оклахома, обрушив дымоход в доме Сандры и Гэри Ландра, что нанесло травму Сандре; кроме того, был поврежден пол в доме (1). Последующий рост числа землетрясений в штате вызвал протесты жителей против скважин для сточных вод (2). Для получения более полных данных ученые установили дополнительные сейсмографы, часть которых питается от солнечных батарей (3).

три эти компонента — остатки древнего океана, преобразованного теплом, давлением и временем. «Поры в породе остались заполненными водой этого древнего океана, и когда вы сегодня пробуриваете скважины, эта пластовая вода поступает на поверхность земли», — говорит Тинкер. И хотя это

природная вода, она может быть на несколько порядков солонее современной морской воды, а часто содержит естественным образом захваченные радиоактивные минералы. Для растений и животных она ядовита, поэтому операторы вынуждены закачивать ее глубоко под землю, чтобы она не могла попасть в более близкие к поверхности источники питьевой воды.

Первым разработку сланцев формации Барнетт с использованием гидроразрыва пластов начал легендарный техасский газовый барон Джордж Митчелл, умерший в 2013 г. Для более полного извлечения газа оклахомская компания *Devon Energy* стала сочетать горизонтальное бурение с гидроразрывом пластов. Вскоре этот метод распространился по всему Техасу, Оклахоме и другим нефтедобывающим штатам.

С расширением бурения добыча сланцевого газа в США быстро росла: с 37 млрд м³ в 2007 г. до 150 млрд м³ в 2010 г. и 380 млрд м³ в 2014 г. Рос и объем выносимой на поверхность пластовой воды.

В Техасе объем закачиваемой в скважины воды вырос с 5,37 млн м³ в месяц в 2007 г. до 12,9 млн м³ в 2014 г. В Оклахоме этот ежемесячный объем почти удвоился: с 166 млн м³ в 2009 г. до 245 млн м³ в 2014 г. Вскоре емкости обычных скважин для закачки воды стали недостаточными и операторы обратились к скважинам большой вместимости (БВ-скважины). Многие из них способны поглощать больше 48 тыс. м³ воды в месяц.

События в Оклахоме

С нарастанием сейсмической активности ученые, не удовлетворяясь расплывчатыми представлениями о связи между землетрясениями и закачкой воды, начали искать более прямую связь между ними. В 2011 г. сейсмолог Кэти Керанен (*Katie Keranen*) из Оклахомского университета вернулась с полевых исследований на Аляске, привезя с собой полдюжины сейсмометров. Пока они хранились в лаборатории на полке, город Праг примерно в 90 км от Оклахома-Сити вздрогнул от землетрясения магнитудой 4,8. Только Керанен со своими студентами распаковали свои инструменты, как тот же город ощутил землетрясение магнитудой уже 5,6. По данным Геологической службы США, на сегодня это самое сильное из числа связанных с закачкой воды. От него пострадали два человека, разрушились 14 домов и была повреждена часть автострады. А ощущалось оно как минимум в 17 штатах.

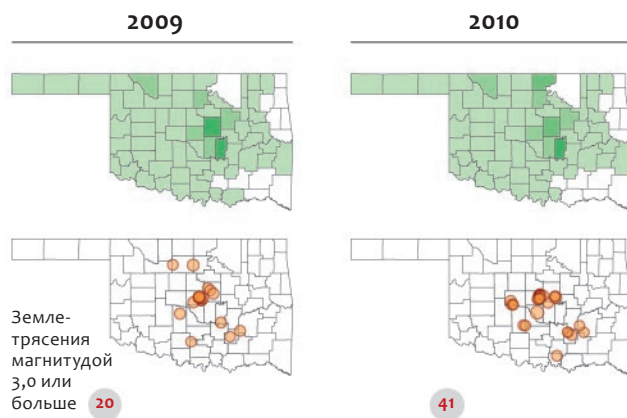
Группа Керанен зарегистрировала это землетрясение и сотни последующих толчков и опубликовала полученные данные в журналах *Geology* и *Science*. В статье, которая была опубликована в журнале *Science* в марте 2013 г., группа Керанен представила геофизическую модель для оценки

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЧКИ ВОДЫ

Больше воды — больше землетрясений

Последние пять лет в Оклахоме растет число скважин для закачки в недра вод, поступающих из скважин для добычи нефти и газа. Но еще быстрее растет общий объем закачиваемых в них стоков (зеленая заливка на картах): со 135 млн м³ в 2009 г. до 215 млн м³ в 2014 г. Подобным образом росло и число землетрясений магнитудой 3,0 (ощущаемых некоторыми людьми и имеющих небольшую вероятность нанесения ущерба) и больше: с 20 в 2009 г. до 581 в 2014 г. (оранжевые кружки).

Объем воды, закачиваемой в округах
 0 м³ — 48 млн м³
 ● Землетрясение магнитудой 3,0 или больше



скорости нарастания давления жидкости в недрах и масштабов его распространения. Эта модель показала, что давление было, вероятно, достаточно высоким, чтобы вызвать землетрясение с последующим эффектом домино: изменения напряжений, вызванные первым разрывом, вызвали нарушения в близлежащих разломах. А статья в журнале *Science*, опубликованная в июле 2014 г., связала серию землетрясений в городке Джонс, чуть западнее Прага, с четырьмя БВ-скважинами.

Движение жидкости и распространение давления в недрах Земли Керанен сравнивает с заполнением разбитой и затем склеенной вазы водой. «Если давление достаточно велико, жидкость может просачиваться в склейки», — говорит она. Давление противодействует силе трения, «скрепляющей» трещины, и дает возможность для смещения. Это явление называется техногенным землетрясением.

Геологическая служба штата Оклахома, которую не убедили доводы Керанен, выпустила декларацию, в которой оспаривает открытия Керанен, опубликованные в журнале *Geology*. «Мы считаем, что это землетрясение выглядело вполне естественным, и оснований считать его техногенным нет», — сказал Рэнди Келлер (Randy Keller), занимавший пост директора этой службы до выхода в отставку в конце 2014 г. Эта декларация, подписанная Келлером и тогдашним сейсмологом штата Оклахома Астином Холлендом (Austin Holland), указывает, что естественные землетрясения происходили в этих местах и раньше.

Керанен была удивлена такой реакцией, но сейчас она думает, что ее удивление было наивным. «Теперь я лучше понимаю, что одна статья могла не убедить их, — говорит она. — Они хотели располагать мнениями большего числа ученых и результатами ряда исследований, говорящих о техногенности этих землетрясений». И все же она была раздосадована тем, что Оклахома не отреагировала на ее материалы оперативным замедлением или

полным прекращением закачки в некоторые скважины. Штат начал делать это в широких масштабах только в начале 2015 г. Керанен говорит, что ей оппонировало и руководство ее университета, которое также не было убеждено в том, что связь между закачкой воды в недра и землетрясениями может быть доказана. И в середине 2013 г. Керанен ушла из Оклахомского университета в Корнеллский.

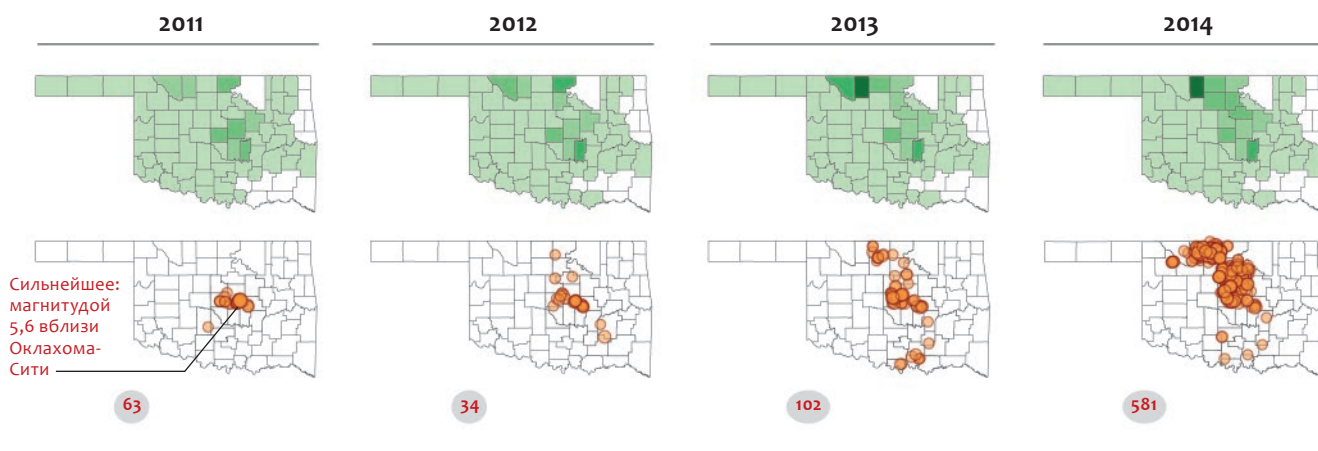
События вблизи Форт-Уэрта

Через несколько месяцев после выхода статьи Керанен в Техасе возобновились землетрясения. На этот раз они поразили городки Эзл и Рино к северу от Форт-Уэрта, расположенные в области наиболее интенсивной разработки месторождений нефти и газа.

К этому времени Южный методистский университет нанял еще несколько геофизиков, которые подключились к исследованию, проводившемуся Фролихом и Стампом. Сейсмолог Хизер Дешон (Heather DeShon) развернула работу ряда сейсмостанций и начала картирование разломов, проходящих в подстилающих породах городов. Хорнбах с Эллсуортом стали изучать уровни воды в озерах, реках и водоносных слоях, чтобы выяснить, могла ли засуха в Северном Техасе изменить давление в разломах. Кроме того, группа собрала данные о ближайших скважинах сброса соленых вод, создала трехмерную модель распределения создаваемого ими давления и оценила возможное распространение этого давления по горным породам. Ее вывод: наиболее вероятная причина землетрясений — закачка воды в две близлежащие скважины.

Еще до публикации результатов работы группы в апреле 2015 г. власти штата начали ставить эти результаты под сомнение. Когда я послала не допущенный к публикации вариант статьи для Южного методистского университета сейсмологу Крейгу Пирсону (Craig Pearson) из Железнодорожной

SOURCES: CLASS II SALT WATER DISPOSAL FOR 2009-2014 AT THE ANNUAL-, STATE-, AND COUNTY-SCALES BY GEOLOGIC ZONES OF COMPLETION, OKLAHOMA, BY KYLE E. MORRIS; OKLAHOMA GEOLOGICAL SURVEY, DECEMBER 31, 2015 (wastewater injection data); USGS EARTHQUAKE MMS (earthquake data)



комиссии Техаса, регламентирующей добычу нефти и газа в штате, он ответил заявлением, в котором говорилось, что исследование поднимает «много вопросов в отношении его методики, использованной информации и сделанных выводов». Но вдаваться в подробности до встречи с авторами статьи он отказался.

Железнодорожная комиссия работает под надзором трех комиссаров. Взносы на избирательную кампанию один из них получает от политического комитета нефтедобывающей компании, а два других — от исполнительного директора компании *EnerVest*, одного из двух операторов, которых касалось исследование в Южном методистском университете. Однако в заявлении для журнала *Scientific American* пресс-секретарь Железнодорожной комиссии Гей Макэлзуйн (Gaye McElwain) пишет: «Решения регламентирующих органов принимаются на основе научных данных и лучшей практики и направлены на обеспечение общественной безопасности и защиту природных ресурсов».

И все же через некоторое время Железнодорожная комиссия Техаса пригласила обоих операторов в Остин на слушания, чтобы те доказали, что закрывать их скважины нет необходимости. «В результате этих высокопрофессиональных слушаний на основе научных данных и представленных свидетельств был сделан вывод, что деятельность операторов не вносит вклада в сейсмическую активность», — написал Макэлзуйн. К сентябрю 2015 г., когда комиссия издала свое постановление, объемы закачки воды в скважины были уменьшены, землетрясения затухли и операторам скважин было официально разрешено продолжать работать по-прежнему.

Огайо тормозит

Прочие штаты реагировали по-разному. После серии толчков, потревоживших жителей Янгстауна, штат Огайо, в 2011 г., штат закрыл близлежащие

закачные скважины и разместил дополнительные сейсмические станции для выявления землетрясений, слишком слабых, чтобы люди их почувствовали. Было установлено новое правило, требующее, чтобы в случае землетрясения магнитудой всего 2,0 (примерно в десять раз слабее ощутимого человеком), закачные скважины закрывались и проводились исследования. По данным Геологической службы США, число землетрясений в Огайо, достигшее максимума в 11 в 2011 г., уменьшилось до четырех в 2015 г.

Довольно быстро отреагировал и Канзас. Временно исполняющий обязанности директора Геологической службы Канзаса Рекс Бьюкенен (Rex Buchanan) смотрел игру бейсбольной команды *Kansas City Royals* в сентябре 2014 г., когда получил на мобильный телефон тревожное оповещение от Геологической службы США. Произошли толчки в центральной и южной частях штата вблизи границы с Оклахомой. Это не стало неожиданностью, поскольку в том году в Канзасе уже случилось больше 100 землетрясений, тогда как до этого они происходили в среднем раз в два года. Но толчки продолжали усиливаться и вскоре достигли магнитуды 4,2. Для оценки землетрясений губернатор штата Канзас Сэм Браунбек (Sam Brownback) созвал оперативную рабочую группу по техногенным землетрясениям, которая под руководством Бьюкенена рекомендовала ограничить объемы закачиваемой в скважины воды в пяти сейсмических зонах двух округов.

Как власти Канзаса пришли к согласию? «Я не думаю, что мы могли найти какое-либо другое объяснение, — говорит Бьюкенен. — Вы видите уровень активности, его быстрое нарастание, причем как раз в том месте, где расположены БВ-скважины, та же корреляция наблюдается в Оклахоме. Прийти к какому-то иному заключению очень трудно». Он добавляет, что ему и его коллегам пошло на пользу отслеживание научных исследований и регламентационной

деятельности в Огайо, Техасе и Оклахоме. Похоже, что на сегодня принятые меры подействовали. «Несомненно, мы запоздали с реакцией, — продолжает он, имея в виду частоту и силу землетрясений. — но я настаивал, что нельзя считать, будто проблема решена».

Снижение сейсмической активности, по крайней мере отчасти, вызвано низкими ценами на нефть, что побуждает некоторых операторов снизить объемы бурения и, следовательно, уменьшить объемы извлекаемой воды. Но рано или поздно цены возрастут, говорит Бьюкенен, и он хочет быть готовым, «чтобы не пройти через все это снова».

Какой силы могут достичь землетрясения?

Разработчикам строительных норм и правил и специалистам страховых компаний важно знать, когда может произойти следующее землетрясение и насколько сильным оно будет. Чтобы узнать это, геологи из Программы опасности землетрясений Геологической службы США анализируют частоту техногенных землетрясений, растущую по всей территории США, и то, чем вызываемые ими геологические нарушения отличаются от вызываемых естественными землетрясениями.

Специалисты Геологической службы установили, что движения земной поверхности, вызываемые техногенными землетрясениями, непосредственно над очагом больше вызываемых природными, но слабее последних на удалении от эпицентра. Причиной этого может быть то, что очаги техногенных землетрясений находятся обычно на меньших глубинах, чем очаги природных. Но при этом, поскольку поверхностные слои земной коры к востоку от Скалистых гор плотнее, чем в Калифорнии, они эффективнее передают энергию, и поэтому землетрясения могут ощущаться на больших расстояниях.

Затем группе предстояло выяснить, какой может быть максимальная сила техногенных землетрясений. Сопоставив землетрясения в центральной части США с толчками в других геологически подобных частях мира и отметив, что техногенные землетрясения обычно наносили разрывные нарушения целиком или частично меньшие по величине, чем на Западном побережье США, они определили их верхний предел магнитуды значением 6. А такие землетрясения способны разрушать даже прочные постройки. «Но мы не можем исключать и возможность землетрясений магнитудой в 7 и больше», — говорит руководитель Национального проекта оценки сейсмической опасности Марк Петерсен (Mark Petersen).

Поскольку ученые располагают сведениями о том, что в доисторические времена землетрясения такой силы случались в Техасе и Оклахоме, в новых картах Геологической службы США

возможность таких землетрясений учтена, хотя вероятность их считается малой.

Наконец, геологам предстояло оценить протяженность периода, для которого прогнозы могут быть достаточно надежными. Исходя из частоты предшествующих землетрясений они оценили этот период в один год и заложили полученную информацию в серию карт. «Это похоже на прогноз погоды, — говорит Петерсен. — Если сегодня идет дождь, вероятнее всего он будет идти и завтра».

Геологическая служба США издала свои карты в марте текущего года. Компьютерные модели, использованные для их создания, дают и оценки того, где могут происходить землетрясения, с какой частотой и какой они могут быть магнитуды, так что инженеры и градостроители могут видеть вероятность разрушительного землетрясения на территории их населенного пункта в течение ближайшего года.

Как сдерживать угрозу

Стремительный рост угрозы ясен многим жителям Оклахомы. Их ощущения поддержаны цифрами. Если в 2013 г. в штате произошло 109 землетрясений магнитудой 3 и больше, то в 2014 г. их было уже 585, а в 2015 г. — 890.

Этот стремительный рост побудил геологические службы США и Оклахомы совместно издать два необычных предупреждения — в октябре 2013 г. и в мае 2014 г. Сейсмологи заявляли, что вероятность разрушительного землетрясения магнитудой 5,5 в Оклахоме сильно выросла. «Мне кажется, это первый случай издания прогноза землетрясений к востоку от Скалистых гор», — говорит Роберт Уильямс (Robert Williams), координатор Геологической службы США по угрозам землетрясений в центральной и восточной частях США.

Такие ученые, как Керанен и геофизик Марк Зобак (Mark Zoback) из Стэнфордского университета, провели еще более детальный анализ причин того, что в одних местах землетрясения очень часты, а в других редки или вообще не происходят. Например, в Северной Дакоте, втором после Техаса по уровню добычи нефти штате США, за последние пять лет отмечено всего одно землетрясение. Одной из причин этого может быть то, что давление в недрах там еще не достигло уровня, необходимого для возникновения землетрясений. Кроме того, только часть разломов земной коры имеет необходимую ориентацию по отношению к природным напряжениям, чтобы возникли разрывные движения.

С развитием науки совершенствуется и нормативная база. В октябре 2015 г. Геологическая служба Оклахомы официально признала, что землетрясения были вызваны закачкой воды в скважины. «Геологическая служба Оклахомы считает очень вероятным, что большинство недавних

землетрясений, особенно в центре и на севере штата, были спровоцированы закачкой добываемой из пластов воды в скважины для ее захоронения», — значилось в ее заявлении.

После этого правительству штата было направлено обращение с просьбой сократить объем закачки воды в 600 лишним скважин сточных вод в зонах с высокой вероятностью землетрясений до 40% от уровней 2014 г. Хотя еще неизвестно, даст ли эта мера долговременный эффект, директор Геологической службы Оклахомы Джереми Боук (Jeremy Boak) говорит, что уже замечает снижение частоты землетрясений в зонах, где закачка воды была уменьшена. Однако в целом по штату сила землетрясений в начале 2016 г. увеличилась. Эллсуорт из Стэнфордского университета не предлагает политических рецептов, но сомневается, что уменьшения объемов закачки воды в Оклахоме будет достаточно. «Даже если закачиваете меньше, вы все же закачиваете, и это не дает гарантии, что вы не наткнетесь на разлом и не вызовете этим землетрясения», — отмечает он.

Многих удивляет, что Оклахома тянула с принятием мер до 2015 г., хотя за семь лет в ней произошло больше 750 землетрясений.

Мэтт Скиннер (Matt Skinner), пресс-секретарь организации *Oklahoma Corporation Commission (OCC)*, которая регламентирует работу нефти и газодобывающих предприятий в штате, говорит, что *OCC* уже закрывала отдельные скважины и предпринимала другие шаги по предупреждению землетрясений еще с 2013 г., а более широких мер до 2015 г. не принимала потому, что в эти годы большинство публикуемых научных статей касались того, как далеко может распространяться давление жидкости от скважины, в которую ее закачивают. «Вопрос, по отношению к каким скважинам мы должны принять меры для уменьшения потенциального риска, сменился тем, к каким группам скважин следует применять эти меры», — сказал он.

Бывший директор Географической службы Оклахомы Келлер сказал, что знал и о зависимости экономики штата от нефти и газа. «Мы были гораздо медлительнее тех, кто был готов быстро спустить курок», — говорит он. — Мы старались уравновесить экономическое влияние и при этом не вызвать паники и быть ответственными. Решить, что делать, было очень непросто». Для операторов скважин ограничение закачиваемых объемов означало потерю доходов и вероятность того, что придется транспортировать стоки на большие расстояния для закачки в другие скважины.

Новые меры для контроля землетрясений принял Техас. В 2015 г. он выделил около \$4,5 млн на создание сети сейсмодатчиков и дополнительные исследования землетрясений. Кроме того, за последние два года Железнодорожная комиссия Техаса

присвоила себе новые полномочия по закрытию скважин и требует от операторов проведения испытаний в новых зонах сейсмической активности. Хотя она и выражала сомнения в отношении причин землетрясений, официального заключения о том, что какое-либо из них было вызвано работой добывающих компаний, она не выносила.

В числе других возможных стратегий уменьшения вредных последствий закачки воды власти штатов и добывающие компании рассматривают повторное использование отработанных вод или закачку их в пласты, дальше отстоящие от глубоких разломов, а также увеличение расстояний между закачными скважинами.

Для нефтяной и газовой промышленности операторов на закачку воды, хотя бы на одной обширной площади, неприемлем. «Запрет на закачку — это запрет на добычу нефти и газа», — говорит Стив Эверли (Steve Everley), пресс-секретарь компании *Energy InDepth*, входящей в концерн *Independent Petroleum Association of America*. Дело в том, что рентабельной альтернативы закачке воды в недра не существует, а другие варианты вроде перевозки стоков на большие расстояния требуют больших природоохранных затрат, утверждает он.

«Мы пытаемся рассчитать, сколько энергии накоплено сегодня в системе и как долго она может сохраняться в ней. И при нынешней частоте землетрясений цифры получаются очень большими», — говорит сейсмолог Дэниел Макнамара (Daniel McNamara) из Центра изучения геологических опасностей Геологической службы США в Голдене, штат Колорадо.

Многие специалисты считают, что даже если Оклахома закроет сегодня все свои скважины, землетрясения будут продолжаться. Осаждаемый требованиями подробностей, Макнамара, выдержав паузу, заметил: «И это может быть так сотни лет».

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Sharp Increase in Central Oklahoma Seismicity since 2008 Induced by Massive Wastewater Injection. Katie Keranen et al. in *Science Express* online; July 3, 2014.
- High-Rate Injection Is Associated with the Increase in U.S. Mid-continent Seismicity. Matthew Weingarten et al. in *Science*, Vol. 348, pages 1336–1340; June 19, 2015.
- 2016 One-Year Seismic Hazard Forecast for the Central and Eastern United States from Induced and Natural Earthquakes. Mark D. Petersen et al. U.S. Geological Survey Open-File Report 2016–1035; March 28, 2016.



Полосатый узор на шерсти каждого тигра уникален, что позволяет идентифицировать отдельных особей по фотографиям и проводить их подсчет

ОХРАНА ПРИРОДЫ

ЗА ЧЕМ СЧИТАТЬ

В последние годы методы изучения диких популяций тигров стали совершеннее, однако природоохранные организации используют их неохотно

Улас Карант

ТИГРОВ?

ОБ АВТОРЕ

Улас Карант (K. Ullas Karanth) — старший научный сотрудник Общества охраны дикой природы, главный офис которого находится в Нью-Йорке. Инженер по образованию, Карант целиком посвятил себя природоохранной деятельности. Тигров он изучает уже более 30 лет.



Тигры околдовали меня, когда я еще учился в школе и жил среди фантастической дикой природы Маленду — холмистой области на юго-западе Индии. Мое увлечение подогревали многочисленные ритуалы нашей индуистской культуры, посвященные полосатым хищникам. Так, во время осеннего фестиваля «Дашара», прославляющего триумф добра над злом, мужчины с мускулистыми телами, разрисованными узорами рыжего, белого и черного цветов, под ритмичное крещендо барабанного боя исполняют танец тигра, имитируя грациозные движения этих зверей. Но реальность, окружавшая меня в те далекие годы, была совсем не праздничной: фермеры-скотоводы и охотники-любители убивали последних диких тигров, а заготовители древесины вырубали огромные массивы пышных лесов. В начале 1960-х гг. я был уже подростком, и надежда когда-либо увидеть дикого тигра покинула меня окончательно.

Несколько лет спустя, однако, случилось чудо. В ответ на требования экологов и защитников природы правительство страны, возглавляемое в то время Индирой Ганди, приняло ряд строгих законов по охране тигров и учредило несколько охраняемых заповедников. В последующие десятилетия кампания по охране тигров приобрела глобальные масштабы. Многие страны официально запретили охоту на этих хищников и даже ввели ограничения на вырубку лесов, где они обитают. Индия в этом отношении достигла больших успехов, чем большинство других «тигриных» стран: хотя на ее территории находятся лишь 20% сохранившихся сегодня местообитаний тигров, здесь живут около 70% всех полосатых хищников планеты — и это несмотря на огромное население страны (1,2 млрд людей), непреходящую бедность ее жителей и быстро развивающуюся экономику.

Тем не менее в масштабах всей Азии численность и распространение тигров продолжают сокращаться. Всего два века назад дикие тигры встречались в 30 азиатских странах — от степных побережий Каспийского моря до российской тайги и от индийских редколесий до индонезийских дождевых лесов. Этот некогда огромный ареал уменьшился на 93% и в настоящее время ограничен территорией лишь нескольких стран. А территория, занимаемая популяциями тигров с весомыми шансами на воспроизведение, составляет сегодня и вовсе 0,5% от исторического ареала этого зверя.

Будущее 40–50 популяций тигров, обладающих достаточно высокой численностью для

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Ареал диких тигров составляет сегодня всего 7% от их изначальной области распространения.
- Судьба полосатых хищников всецело зависит от состояния 40–50 диких популяций, имеющих неплохие шансы на восстановление. Состояние этих популяций требует тщательного контроля.
- Многие природоохранные организации, однако, используют для подсчета зверей устаревшие методы и, соответственно, получают недостоверные данные об их численности.
- Реальная оценка угроз, которым подвергаются дикие тигры, и новые подходы к изучению их распространения и подсчету численности — главные инструменты для спасения этих хищников от вымирания.



1



2

Наблюдения за тиграми. Автор статьи устанавливает в индийском лесу камеру-ловушку для автоматического фотографирования проходящих мимо животных (1). Срабатывание фотоловушки вызывает у тигров любопытство или испуг, что может повлиять на вероятность их последующей «фотопоимки» (2).

воспроизведения и называемых поэтому жизнеспособными популяциями, весьма сомнительно. Большинство из них полностью изолированы и окружены враждебными культурными ландшафтами, а потому нуждаются в таком же тщательном присмотре, как пациенты, находящиеся в больничном отделении интенсивной терапии. Но даже в наши дни такая практика — скорее исключение, чем правило. В результате об истинном положении тигров в природе ученые имеют смутное представление. Традиционные методы изучения диких тигров в лучшем случае позволяют определить, в каких регионах Азии еще обитают эти хищники; достоверную оценку численности особей, сохранившихся в той или иной области, они обеспечить не могут.

В последние годы проблему подсчета диких тигров пытались решить многие ученые. Сочетая методы регистрации животных камерами-ловушками, способными даже ночью фотографировать проходящих мимо особей, их идентификации с помощью специальной компьютерной программы и сложного статистического анализа, позволяющего оценить полную численность популяции на основании сделанных фотографий, мои коллеги и я смогли получить гораздо более точную картину состояния нескольких популяций тигров. Наша следующая цель — заинтересовать в этом усовершенствованном методе отслеживания тигров различные природоохранные организации и с их помощью изучить состояние всех жизнеспособных популяций этих хищников в Азии.

Телеметрические исследования

Определение численности тигров, сохранившихся в разных частях Азии, — невероятно сложная задача: эти кошки ведут скрытный образ жизни, очень осторожны, имеют обширные индивидуальные участки и распространены на огромной географической территории. Такие особенности тигров обрекли на неудачу все попытки ученых оценивать их численность с помощью подсчета следов, начатые в Индии, Непале, Бангладеш и России в 1960-х гг. и продолжавшиеся несколько десятилетий. Ученые полагали при этом, что отпечатки лап каждого тигра так же уникальны, как отпечатки пальцев людей. Этот метод, однако, не сработал: в большинстве случаев следы зверей оказывались трудноразличимыми, а следы многих тигров и вовсе не попадались ученым на глаза. В Индии использование этого порочного подхода к «переписи» тигров привело к появлению массы недостоверных данных. В результате начало складываться впечатление об увеличении численности этих хищников, что породило у властей чувство успокоенности по поводу их судьбы, хотя на самом деле угроза существованию тигров лишь возрастала. Между тем быстрый прогресс в области экологии, фотографии, компьютерного программирования и статистики привел к появлению новых, более точных и надежных методов подсчета тигров.

В 1980-х гг., перед окончанием Флоридского университета, я приступил к освоению этих новых подходов кучету тигров. В то время я твердо решил посвятить себя изучению таинственного мира

тигров — их поведению и жизни в дикой природе, особенно в Национальном парке Нагарахале, одном из заповедников Маленаду, куда эти звери вернулись после принятия природоохранных законов правительством Ганди. В 1990 г., примкнув к группе сотрудников Общества охраны дикой природы, я получил возможность провести первое в Индии радиотелеметрическое изучение тигров. Благодаря тщательному отслеживанию перемещений нескольких особей я надеялся лучше понять поведение тигров, что в конечном итоге могло бы способствовать разработке совершенных методов их учета и охраны.

Мне вспоминается ясное прохладное утро 29 января, когда я сидел в раскидистой кроне рандии в 5 м от земли и, сжимая в руке арбалет с усыпляющими дротиками, поджидал появления 220-килограммового тигра, подгоняемого ко мне другими членами нашей исследовательской группы. В 50 м от своего укрытия я вдруг заметил в густых зарослях растительности яркую золотистую вспышку. Ко мне величественно шествовал тигр. Когда в объективе оптического прицела показалось его плечо, а затем и бок туловища, я спустил курок. Прорезавший воздух краснохвостый дротик вонзился в бедро зверя, и тот издал мягкий рык. Вскоре мы обнаружили усыпленного тигра лежащим под тенистым деревом и надели на него специальный ошейник, снабженный передатчиком размером с кулак. Радиопередатчик должен испускать радиосигналы, которые сможет улавливать мой ручной приемник, позволяя мне в любой момент времени точно определить местонахождение зверя. Два часа спустя наш тигр под условным обозначением T-04 поднялся на ноги и возобновил путешествие, чтобы присоединиться к группе из трех сородичей, уже снабженных мною радиопередатчиками.

Радиотелеметрическое изучение тигров на протяжении шести последующих лет позволило мне выявить некоторые нюансы в их поведении, благодаря которым я стал тратить гораздо меньше времени на поиск зверей и посвящать гораздо больше наблюдениям за их поведением. Но самое важное заключалось в том, что этот подход позволял определять маршруты перемещения этих кошек. Я обнаружил, что площадь индивидуальных участков взрослых тигриц заповедника Нагарахале составляет примерно 18 км², а взрослых самцов — около 50 км². Тигры — территориальные животные, и на протяжении большей части года (за исключением периода спаривания) взрослые особи стараются держаться поодаль друг от друга. Небольшая площадь индивидуальных территорий свидетельствует о том, что плотность популяций тигров в таких охраняемых зонах, как парк Нагарахале, на самом деле намного выше, чем прежде считали ученые.

Телеметрический подход к изучению тигров сильно облегчил мне поиск разлагающихся останков убитых ими жертв и благодаря этому позволил получить более детальное представление о характере их пищи в Маленаду. Полученные мною данные показали, что обычно тигры убивают по одной крупной жертве в неделю, затем в течение трех-четырех дней они съедают примерно две трети ее туши и отправляются на поиск новых жертв.

В 1993 г. я научился оценивать численность основных жертв тигров (олений, диких свиней и диких полорогих) в конкретной области. Основу этого подхода составил метод семплинга, разработанный ранее американскими биологами. Он предполагает участие двух наблюдателей, которые осторожно перемещаются по прорубленным в лесу узким прямым просекам длиной 3,2 км. Наблюдатели подсчитывают всех потенциальных жертв тигров, замеченных ими во время перемещения по просекам, и измеряют расстояние, на котором находилось от просеки каждое замеченное животное. На основании этих подсчетов и измерений

Общая численность диких тигров, даже если бы мы могли получить точные цифры, возможно, не имеет особого значения для их выживания в природе

можно оценить общую численность животных, на которых охотятся тигры в той или иной области.

Анализируя полученные результаты, я поразился обилию потенциальных жертв тигров в охраняемых лесных заповедниках Маленаду. Сегодня на каждый квадратный километр их территории приходится от 16 до 68 диких копытных млекопитающих (олений, свиней, буйволов и т.д.), то есть плотность их популяций здесь выше, чем в самых богатых живностью восточафриканских саваннах. А это значит, что индийские заповедники, несмотря на относительно небольшую площадь по сравнению с природными парками Северной Америки или Африки, способны прокормить множество крупных диких кошек. На основании этих оценок доступности жертв биологи могут составить себе общее представление о том, существование какого количества тигров в состоянии обеспечить тот или иной массив азиатского леса.

В середине 1990-х гг. в индийских заповедниках участились случаи уничтожения тигров браконьерами. Для оценки причиненного ими ущерба экологам и защитникам природы потребовалось провести точный подсчет тигров в жизнеспособных популяциях. Сколько тигров на самом деле сохранилось в природе? На сколько зверей ежегодно

сокращается или, напротив, увеличивается та или иная популяция? Подвержена ли численность тигров естественным колебаниям? Насколько сильно различается плотность их популяций в разных регионах?

Камеры-ловушки

Чтобы найти ответы на все эти вопросы, я решил провести подсчет тигров с помощью нового для конца XX в. метода — автоматического фотографирования животных камерами-ловушками, размещенными вдоль их охотничьих троп. Эти электронные устройства автоматически срабатывают всякий каждый раз, когда мимо них проходит тигр или какое-нибудь другое животное. Каждого тигра я идентифицировал по уникальному полосатому узору на шерсти по бокам туловища. Фотоловушки позволили мне «шпионить» за гораздо большим количеством тигров, чем радиотелеметрия. И все-таки я понимал, что они сфотографируют далеко не всех тигров, входящих в состав изучаемой мною популяции. Чтобы компенсировать этот недостаток и оценить полную численность популяции, нужно было прибегнуть к экстраполяции, взяв за основу число сфотографированных зверей.

Поиск статистического метода, пригодного для решения поставленной задачи, привел меня к Джеймсу Николсу (James Nichols) из Центра по изучению дикой природы Геологической службы США в Мэриленде. Николс — признанный авторитет в области разработки моделей «поимка — мечение — повторная поимка», предназначенных для решения проблем несовершенного подсчета животных. Представьте себе кувшин, в котором находится множество стеклянных шариков одинакового размера. Вы достаете из кувшина пригоршню шариков, маркируете их и снова опускаете в сосуд. Затем вытаскиваете из него другую пригоршню шариков. Среди них есть и меченые, и немеченые шарики. По частоте захвата («поимки») меченых объектов статистические модели позволяют оценить среднюю вероятность обнаружения какого-нибудь конкретного объекта, а затем и полный размер популяции.

Но тигры — не шарики, похожие друг на друга как две капли воды. Поскольку эти хищники обладают разными индивидуальными участками и используют для передвижения разные тропы, шансы камер-ловушек, помещенных в каком-нибудь участке леса, сфотографировать каждого зверя сильно различаются. Характер перемещения тигров очень зависит от времени года, возраста и пола животных, и все эти факторы влияют на частоту их попадания в объектив. Некоторые из них пугаются фотовспышек и предпочитают избегать троп, оснащенных камерами-ловушками. Кроме того, в отличие от кувшина с шариками популяция тигров — непрерывно меняющаяся система: одни животные

здесь умирают, другие появляются на свет, а третьи покидают ее территорию, а затем возвращаются обратно. Вот почему мне пришлось оценивать численность популяции несколько раз, а чтобы этот показатель не варьировал слишком сильно, делать это в течение коротких периодов времени (35–40 дней). К сожалению, многие дорогостоящие исследования до сих пор не соблюдают эту предосторожность и в результате получают дутые цифры.

Мои исследования показали, что плотность популяций тигров может варьировать от 0,5 до 15 особей на 100 км². Возникал закономерный вопрос: чем обусловлены столь значительные колебания этого показателя? В 1967 г. биолог Джордж Шаллер (George Schaller), изучавший тигров в индийском Национальном парке Канха, предположил, что взрослый тигр ежегодно съедает около 10% всех потенциальных жертв, доступных на его территории. Но если, как показывают результаты моих предшествующих телеметрических исследований, тигр убивает за год примерно 50 жертв, получается, что для бесперебойного удовлетворения пищевых потребностей хищника на его территории должно проживать по меньшей мере 500 копытных животных. Я предположил, что сильные колебания показателя плотности популяций тигров могут определяться различной плотностью популяций их жертв.

Чтобы проверить это предположение, в 1994 г. я покинул границы Маленаду и до 2003 г. занимался оценкой плотности популяций тигров и их жертв в других индийских заповедниках с самыми разными типами местообитаний — от мангровых болот до вечнозеленых лесов. Результаты этих исследований, опубликованные в 2004 г., подтвердили предположение, что для прокорма одного тигра на его территории должно проживать не менее 500 животных-жертв. Подтвердили они и мое предположение, что главной причиной сокращения ареала тигра на протяжении последних 500 лет была чрезмерная охота местного населения на потенциальных жертв тигров, а не браконьерское истребление самих этих хищников для нужд международных рынков. А это значит, что для того чтобы приостановить сокращение численности тигров, в первую очередь нужно бороться с уничтожением местными деревенскими охотниками потенциальных жертв этих хищников, а не гоняться в удаленных и труднодоступных местах заповедников за браконьерами, охотящимися на самих тигров.

В 2004 г. я расширил свою программу ежегодного мониторинга популяций тигров, начатую в Нагарахале, и начал изучать жизнь этих хищников в других крупных заповедниках Маленаду. Ежегодное проведение учета численности зверей с помощью фотоловушек позволяет выявлять увеличение или сокращение популяций за счет гибели животных, появления на свет молодняка, миграционных

процессов и т.д. Такое всестороннее изучение динамики тигриных популяций в реальном времени — единственное надежное средство, обеспечивающее строгую проверку эффективности или неэффективности мер по охране животных.

Визуальное сравнение каждой новой фотографии тигра с тысячами сделанных прежде снимков для идентификации особей — медленное и утомительное занятие. Компьютерная программа под названием *ExtractCompare*, предназначенная для сравнения образцов и разработанная математиком Лексом Хиби (Lex Hiby) из Исследовательского природоохранного центра в Англии, позволила мне в 2000 г. автоматизировать и сильно ускорить этот процесс.

В результате 25-летней фотосъемки тигров камерами-ловушками в Маленату возникла крупнейшая фотографическая база данных диких тигров, включающая 8843 снимка 888 особей этих зверей. Каждый сезон я пополняю документацию о 250 полосатых хищниках, обитающих в заповедниках общей площадью около 4 тыс. км². Некоторые тигры попадают в эти отчеты на протяжении круглого года, а большинство — лишь в один-два сезона, что свидетельствует о высокой лабильности тигриных популяций. Не исключено, что популяция тигров в Маленату, насчитывающая 400–450 зверей, — крупнейшая на сегодня популяция этих хищников в мире. По моим наблюдениям, в настоящее время тигров в ней в пять раз больше, чем 50 лет назад, — замечательный результат природоохранной деятельности местных государственных органов и защитников природы.

Результаты всех этих долгосрочных исследований наглядно демонстрируют, насколько четко и эффективно функционируют популяции тигров в дикой природе. Надежно охраняемые популяции (такие, например, как в Нагарахоле) очень динамичны. Их плотность на протяжении более или менее длительных отрезков времени естественным образом колеблется от семи (низший показатель) до 15 (высший показатель) животных на 100 км². Но даже популяции с такой высокой плотностью каждый год теряют в среднем 20% своих членов. По большей части эти потери обусловлены естественными причинами — убийством тигрят самцами, гибелью зверей от ран, полученных во время драк или охоты, и, наконец, истощением вследствие длительного голодания. Часть животных убивают фермеры, защищающие от хищников свой скот, и браконьеры, обеспечивающие черный рынок шкурами и другими частями тела тигров. Но поскольку все хорошо охраняемые заповедники изобилуют животными-жертвами, такие потери с лихвой компенсируются количеством появляющихся на свет тигрят. А это значит, что

вместо того чтобы сокрушаться по поводу гибели отдельных тигров от рук браконьеров (как это часто делают защитники природы), в первую очередь мы должны заботиться о состоянии тигриных популяций в целом.

Где живут тигры

На протяжении всего последнего десятилетия XX в. и в первые годы XXI столетия я изучал состояние жизнеспособных популяций тигров и влияние, оказываемое на них людьми. Но эти охраняемые популяции представляют собой лишь маленькие островки безопасности, окруженные бескрайним морем менее дружелюбных к тиграм ландшафтов. Какова судьба тигров, живущих не в заповедниках, обеспечивающих безопасность жизнеспособных популяций их сородичей, а в этих окружающих их враждебных местообитаниях, куда вынуждены переселяться «лишние» звери вследствие переуплотнения материнских популяций?

Для оценки численности тигров в азиатских странах применяется метод «фотографическая поимка — мечение — повторная поимка»

Как показали результаты моего отслеживания тигров с помощью фотоловушек в Маленату, молодые звери, покидающие материнские популяции, расселяются на очень обширных территориях: так, например, в 2008 г. самец *BDT-130* мигрировал из Бхадры в Анши-Дандели, преодолев 180 км, а в 2011 г. самец *BPT-241* прошел более 280 км из Бандипура в леса у города Шимога. Многие другие тигры переселялись из родных заповедников в соседние. Эти данные наводят на мысль, что переселение тигров из охраняемых зон в менее безопасные местообитания способствует скрещиванию животных из разных жизнеспособных популяций, помогая тем самым поддерживать здоровый уровень генетического разнообразия.

Чтобы получить более полное представление о том, где живут тигры, я решил расширить границы первоначальной области отслеживания тигров с помощью фотоловушек, площадь которой составляла 4 тыс. км². Вскоре, однако, выяснилось, что этот метод, эффективный в небольших заповедниках, оказывается малоприменимым и слишком дорогостоящим для использования на больших территориях. В исследованиях, посвященных изучению распространения тигров, обязательно должны использоваться методы, направленные на поиск не самих зверей, а более часто встречающихся

следов их пребывания в данной области (например, отпечатков лап и помета) — признаков, по которым можно судить об их присутствии в этом месте, но не об их количестве здесь.

Именно такое исследование я начал проводить в 2006 г. на всей территории Маленанду площадью 38 350 км². Полученные данные показали, что из 21 167 км² подходящих для жительства местообитаний тигры населяют территорию площадью около 14 076 км² (66%), а это значит, что для дальнейшего расширения тигриных популяций остается еще огромное свободное пространство. Кроме того, результаты этого исследования показали, что области с наиболее высокой плотностью тигров отличались и наиболее высокой плотностью животных-жертв, а их доступность для людей была ограниченной. Это еще раз подтверждает положение, что ключевым фактором спасения тигров от вымирания должно стать ограничение охоты местного населения на потенциальных жертв этих хищников.

Опасные спекуляции

Для оценки численности тигров и их географического распространения в азиатских странах в настоящее время применяется метод «фотографическая поимка — мечение — повторная поимка» и широкомасштабное моделирование заселенности местообитаний. (Эти подходы используют биологи, изучающие других редких хищных зверей с уникальными отметинами на шерсти — таких, например, как африканские гиеновые собаки и россомахи). Но если в целом технологии оценки тигриных популяций быстро прогрессируют, то правительственные и неправительственные природоохранные организации и по сей день пользуются ими крайне редко. Возможно, это связано с трудностями освоения новых методов исследования, а может быть с тем, что старые подходы позволяют позиционировать результаты их деятельности в более выгодном свете.

О том, насколько опасно полагаться на устаревшие научные инструменты, свидетельствует этот недавний пример. В апреле 2016 г. Всемирный фонд дикой природы и Глобальный тигриный форум провозгласили под громкие звуки фанфар, что популяция диких тигров планеты наконец-то начала увеличиваться и к настоящему времени достигла 3890 особей. Свою главную цель эти организации видят в том, чтобы к 2022 г. довести эту цифру до 6 тыс. зверей. Но их выводы зиждились на официальных данных, полученных с помощью порочных методологий — например, использовании статистически слабых экстраполяций, сделанных на основе небольшого количества фотографий зверей, и полевого подсчета их следов. А ожидаемый этими организациями рост планетарной популяции тигров в ближайшем будущем

сильно превышает реальные цифры, которые можно спрогнозировать на основании исследований, проводимых с помощью описанных выше строгих научных технологий. Следует также отметить, что за исключением роста численности тигров в нескольких индийских и тайландских заповедниках сколь-либо убедительные данные о восстановлении популяций этих хищников в остальной части Юго-Восточной Азии или в России до сих пор не получены. Более того, в последние годы такие страны как Камбоджа, Вьетнам и Китай, напротив, утратили свои жизнеспособные популяции тигров — потери, легко маскируемые глобальным подсчетом зверей.

Любые спекуляции в отношении численности тигров, проживающих в тех или иных странах и регионах, наносят огромный вред делу спасения тигров, отвлекая внимание защитников природы и общественности от их приоритетной цели — охраны и поддержания жизнеспособных популяций этих зверей. В конце концов, общая численность диких тигров, даже если бы мы научились точно определять этот показатель, особого значения для их выживания в природе не имеет. Главное — неусыпный контроль над численностью жизнеспособных популяций этих зверей, проводимый с помощью самых совершенных научных методов. Только достоверные значения этого показателя позволят нам обеспечить в будущем реалистичный рост этих популяций, а также разработку надлежащих стратегий для достижения этой цели и надежную оценку эффективности наших усилий в этом направлении.

Как показывает история, отсутствие понимания со стороны общественности, инертность властей и политические соображения могут остановить научный прогресс на долгие десятилетия и даже века. Но сегодня, когда планета вступает в эру шестого массового вымирания диких видов, мы попросту не имеем права отделять природоохранную практику от серьезной науки — если, конечно, в нас еще теплится желание спасти от гибели этих замечательных зверей. ■

Перевод: В.В. Свечников

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Вассер С., Кларк Б., Лори К. Спасти слона! // ВМН, № 9, 2009.
- Tigers and Their Prey: Predicting Carnivore Densities from Prey Abundance. K. Ullas Karanth et al. in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 101, No. 14, pages 4854–4858; April 6, 2004.
- An Examination of Index-Calibration Experiments: Counting Tigers at Macroecological Scales. Arjun M. Gopalaswamy et al. in Methods in Ecology and Evolution, Vol. 6, No. 9, pages 1055–1066; September 2015.

ЭКОТУРИЗМ — ШАНС СОХРАНИТЬ УНИКАЛЬНУЮ

Над храмами древнего города
Багана парят аэростаты,
заполненные горячим воздухом



ЭКОЛОГИЯ

СПАСЕНИЕ ЭДЕМА

ПРИРОДУ МЬЯНМЫ, НО РАЗВИВАТЬ ЕГО НЕПРОСТО

Рэйчел Ньюер

ОБ АВТОРЕ

Рэйчел Ньюер (Rachel Nuwer) — внештатный научный журналист, живет в Нью-Йорке. Ее репортаж, легший в основу этой статьи, был удостоен гранта Общества журналистов-экологов.



БЕЗОБЛАЧНЫМ ЯНВАРСКИМ ДНЕМ

двое туристов садятся в ярко-желтые надувные байдарки и отправляются обследовать озеро Индоджи — один из самых крупных и чистых пресных водоемов не только в Мьянме, но и во всей Юго-Восточной Азии. В зеркальной поверхности озера четко отражаются окаймляющие его травянистые болота и возвышающиеся поодаль лесистые горы. На горизонте как волшебный мираж мерцают золотистые очертания пагоды Шве Мьицу — места паломничества буддистов, куда на протяжении большей части года можно добраться только на лодке. Первозданную тишину нарушает лишь мерный плеск весел.

Благоговение охватывает человека в Мьянме повсюду. В течение долгих десятилетий одной из крупнейших стран Юго-Восточной Азии правила жестокая военная хунта, оставившая после себя в диком запустении громадные участки земли. Хотя площадь Мьянма уступает штату Техас, на ее территории находятся восемь различных

экосистем — от поросших густыми мангровыми лесами дельт рек до заснеженных горных вершин. Значительная часть природного наследия страны до сих пор пребывает в первозданном состоянии, особенно по сравнению с соседними Таиландом, Малайзией, Индией и Китаем. Здесь обитает больше видов птиц

(свыше 1 тыс.), чем в какой-либо другой материковой стране Юго-Восточной Азии, а кроме того водится около 250 видов млекопитающих, семь из которых не встречаются ни в одном другом уголке света. Едва ли не каждая экспедиция в девственный массив джунглей или на коралловый риф завершается открытием новых видов живых существ; лишь за последние несколько лет здесь были обнаружены 14 неизвестных видов амфибий и рептилий, множество видов пресноводных рыб, по одному виду летучих мышей и приматов и самый маленький в мире олень.

Мьянма, однако, быстро меняется. В бывшей столице Янгоне как грибы после



Благодаря длительной политической и экономической изоляции дикая природа в Мьянме сохранилась гораздо лучше, чем в соседних странах

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Благодаря долгой политической и экономической изоляции природа Мьянмы сохранилась почти в первозданном виде.
- Сегодня, когда власть военных ослабла и страна начинает модернизироваться, остро встает вопрос о судьбе ее дикой природы.
- Защитники природы надеются убедить местные власти и правительство в необходимости сохранения биоразнообразия за счет развития экотуризма.
- Но успешное развитие экотуризма трудно осуществимо даже при самых благоприятных условиях, а в Мьянме этот процесс осложняется множеством серьезных проблем.

дождя растут новостройки, а в самые отдаленные части страны прокладываются широкие автострады. С ослаблением власти военных к природным богатствам страны — древесине, минеральным ископаемым и залежам нефти — потянулись иностранные изыскатели и промышленники, обещающие одному из беднейших народов на планете соблазнительные деловые проекты и фантастические прибыли.

В таких условиях будущее уникальной природы Мьянмы вызывает сильное беспокойство. Чтобы гарантировать сохранность хотя бы части природных богатств при модернизации страны, необходимо убедить политиков и местные власти в целесообразности природоохранной деятельности, особенно в экономическом плане. Такое соображение подкрепляется простыми фактами: по оценкам недавнего отчета, подготовленного Европейским союзом, эксплуатация наземных и водных экосистем (включая жизненно важные местообитания рыб) может ежегодно давать в бюджет страны \$7,3 млрд. А финансовая поддержка имеющихся национальных парков составляет всего-навсего 0,2% бюджета Мьянмы. По оценке сотрудника Группы экологического менеджмента экономиста-эколога Люси Эмертон (Lucy Emerton) эта сумма не превышает жалкие \$26,6 тыс., выделяемые на патрулирование, научно-исследовательскую деятельность, пропагандистскую работу с местным населением и прочие формы деятельности на территории всех охраняемых зон в стране. «Но даже если бы Мьянма и захотела делать большие вложения средств в охрану биоразнообразия, — добавляет Эмертон, — реальность такова, что у правительства подобных средств попросту нет».

Сегодня, однако, экологи считают, что вполне может быть найдено частичное решение обеих проблем — и стимулировать правительство Мьянмы охранять природу страны, и изыскать средства на подобную деятельность. Это решение — экотуризм. Такая форма туризма, ориентированная на посещение уголков природы, не затронутых хозяйственной деятельностью людей, включает программы экологического образования и просвещения как посетителей, так и местных жителей и разъяснения им важности сохранения дикой природы. Хотя Мьянму уже сегодня посещают до 3 млн туристов в год, благодаря изобилию диких уголков природы реальный экотуристический потенциал страны гораздо выше.

Перспектива наплыва иностранных туристов могла бы убедить как местные власти, так

и правительственные структуры заняться охраной ценных уголков природы, установив определенные таксы на их посещение. Но разработка эффективной системы экотуризма — нелегкая задача даже при самой благоприятной ситуации в стране, а что говорить о политически нестабильной, бедной и лишенной надежных транспортных коммуникаций Мьянме? Поедут ли туда туристы? Отдадут ли власти предпочтение экотуризму перед вырубкой леса или разработкой газовых и нефтяных месторождений? Сегодня ответить на эти вопросы не сможет никто, но ясно одно: если в срочном порядке не принять надлежащих мер по охране дикой природы Мьянмы, совсем скоро этот райский уголок планеты будет изуродован.

Уникальная возможность

Фрэнк Момберг (Frank Momberg) — главный человек в Мьянме, ответственный за развитие экотуризма. Защитник природы из Кембриджа, член базирующейся в Англии некоммерческой организа-

Исключительная сохранность мьянмарской природы — результат многолетних репрессий и нарушений прав человека в стране. В 1962 г. власть в стране захватил Революционный совет Бирмы, результатом правления которого стала ее изоляция от внешнего мира

ции *Fauna & Flora International*, Момберг впервые приехал в Мьянму в 2006 г. За прошедшие с тех пор годы почти все другие защитники природы давно покинули страну из-за продолжающихся военных конфликтов и принятых международных санкций. Но Момбергу этот уголок планеты показался «словно застывшей исторической картиной» с запряженными в телеги волами и крошечными крестьянскими общинами. Но больше всего его поразили красота и изобилие местной девственной природы.

Исключительная сохранность мьянмарской природы — результат многолетних репрессий и нарушений прав человека в стране. После того как в 1948 г. Бирма (прежнее название Мьянмы) обрела независимость от Великобритании, в стране разгорелась ожесточенная борьба за власть между различными политическими группировками. В 1962 г. власть захватил Революционный совет Бирмы, результатами правления которого стали катастрофическое обнищание населения и изоляция страны от внешнего мира.

Несмотря на суровые социальные и политические реалии, Момберг, живший в то время в Индонезии, постоянно возвращался в мыслях к своему первому посещению Мьянмы. Он начал проводить в этой стране все отпуска и каждый раз обнаруживал здесь новые, не известные прежде виды амфибий, насекомых и рыб. Главным открытием, сделанным Момбергом и несколькими другими защитниками природы во время экспедиции в северо-западной части страны, стало обнаружение нового вида из отряда приматов — бирманской курносой обезьяны (*Rhinopithecus strykeri*). В конце концов исследователь предложил открыть в Янгоне представительство организации *Fauna & Flora International*. Его работодатели, однако, воспротивились. «Им очень нравилось слушать истории про Мьянму, — вспоминает Момберг, — но принять в них непосредственное участие они не были готовы».

В 2010 г. ситуация начала меняться. Правительство Мьянмы стало осуществлять квазидемократическую политику, освободив многих политзаключенных и ослабив давление на экономику и прессу. Хотя сегодня некоторые области остаются под контролем повстанцев, в стране установилось относительное перемирие. В результате Момбергу все-таки удалось открыть офис своей организации в Янгоне. Этому примеру последовали несколько других международных природоохранных организаций.

Возрос и поток иностранных туристов в страну.

По мнению Момберга, сегодня, когда политическая ситуация в Мьянме стабилизируется и страну посещает все больше туристов, пришло самое время для налаживания здесь и экотуризма. «Сейчас страна переживает волнующий исторический момент, — говорит исследователь. — Самое главное во время переходного периода — действовать быстро и решительно, потому что совсем скоро желание «спасти» заповедные места от уничтожения изъявит множество бесчестных предпринимателей».

В 2012 г. Момберг и его коллеги наконец-то решились на смелый шаг и начали подыскивать место, которое стало бы отправной точкой в их рискованном предприятии — так называемом общинном экотуризме, то есть экологическом туризме, основанном на активном участии общин местных жителей. Помимо трех основных принципов экотуризма — знакомства с жизнью природы, устойчивого характера и экологического

просвещения, — общинный экотуризм предполагает улучшение благосостояния местных жителей, которые, как правило, сами управляют туризмом и сообща распределяют полученные от него средства. Удобно расположенные к юго-западу от Янгона мангровые заросли на острове Мейнмала были отвергнуты правительством из-за обилия крокодилов, а мысль об обустройстве экотуристической базы в районе обитания вновь открытой курносой обезьяны отпала сама собой после того, как мятежники захватили контроль над дорогами, ведущими в леса. Озеро Индоджи, однако, подходило для этой цели как нельзя лучше. На озере обитает примерно 450 видов птиц, и оно уже объявлено природным заповедником, что гарантирует хотя бы формальную охрану местообитаний и населяющих их животных. Охраняются также окружающие озеро леса, где водятся слоны, вымираю-

Сегодня, когда ситуация в Мьянме стабилизируется и страну посещает все больше туристов, пришло время для налаживания здесь и экотуризма. Главное во время переходного периода — действовать быстро и решительно, потому что совсем скоро желание «спасти» заповедные места от уничтожения изъявит множество бесчестных предпринимателей

щий свиной олень и находящийся на грани исчезновения восточный хулок — примат из семейства гиббоновых. Что еще важнее, местные жители, казалось, вполне благосклонно отнеслись к идее сделать их сообщества доступными для иностранцев. Понравилась она и сотрудникам заповедника. «Коль скоро местное население сможет извлечь выгоду из туризма, оно будет охранять то, на что приезжают смотреть: природу и озеро», — говорит Хтай Вин (Htay Win), смотритель природного заповедника «Озеро Индоджи».

В 2014 г. нанятый Момбергом независимый консультант по экотуризму помог 35 местным добровольцам создать общество «Любители Индоджи» — первую группу общинного экотуризма в Мьянме. Организация *Fauna & Flora International* обеспечила ее байдарками и горными велосипедами, которые группа сдает напрокат посетителям заповедника за несколько долларов в день. «Байдарки хороши тем, что от них, в отличие от моторных лодок, нет шума», — говорит одна из активисток группы



Местный рыбак на озере Индоджи в северной части Мьянмы. Сегодня ведется активная разработка плана по превращению этого озера в объект экотуризма.

«Любители Индоджи». Кроме этих транспортных средств в распоряжении туристов — только два небольших пансионата и несколько ресторанов. Такое скромное хозяйство разительно отличается от туристического курорта на озере Инле — одной из главных достопримечательностей Мьянмы — с его парком моторных лодок, обилием отелей, вырубленным лесами и загрязненной водой, отравляющей жизнь местным популяциям птиц и рыб.

В ближайшем будущем защитники природы, экологи и правительство надеются использовать опыт экотуризма на озере Индоджи для реализации аналогичных программ на всей территории Мьянмы.

Недавно правительство страны разработало общенациональный план развития устойчивого туризма и стратегию развития экотуризма для 21 из 45 охраняемых зон. И если сегодня подобные зоны занимают всего 6% территории Мьянмы, к 2030 г. власти собираются довести данный показатель до 10%. «Мьянма в этом отношении — очень перспективная страна. Все прекрасно понимают, что ее природные и культурные ресурсы легко превратить в активы для улучшения экономического положения, — говорит Ханна Мессерли (Hannah Messerli), старший специалист по развитию туризма Всемирного банка. — Власти страны хотят извлечь прибыль из ее культурного и природного наследия и в то же самое время защитить его и как можно дольше сохранить в первозданном виде».

Тем не менее, как учит история, быстрых успехов ждать не стоит. Путь к триумфу в экотуризме весьма тернист и извилист. Многие формы деятельности в этой индустрии, направленные, казалось бы, на охрану окружающей среды, на самом деле приносят ей больше вреда, чем пользы. Сотрудник Всемирного фонда дикой природы (WWF) Джеймс Сано (James Sano) вспоминает один курорт в Малайзии, который после открытия провозгласил себя объектом экотуризма только благодаря узкой полоске дождевого тропического леса между зданием отеля и полем для гольфа,

а также то, как несколько «экопоселков» на острове Амбергрис (Белиз) сбрасывали неочищенные сточные воды прямо в окружающую среду. «Во всем мире подлинных объектов экотуризма совсем немного, — говорит Росс Даулинг (Ross Dowling), эксперт по туризму из Университета Эдит Коуэн в Джундалупе (Австралия). — Масса обычных туристических агентств просто шлепают перед своими названиями приставку "эко-", потому что так они звучат "круче" и "сексуальнее"».

Но даже в том случае, если организаторы экотуризма не руководствуются жадностью, а намерения туроператоров чисты и бескорыстны, их

притязания нередко не дотягивают до уровня «эко» и по другим причинам. Так, например, в 1990 г. WWF начал осуществлять экотуристическую программу в национальном заповеднике Дзанга-Санга — потрясающем по красоте дождевом лесу в Центральноафриканской Республике, где обитают слоны, гориллы и многие другие удивительные существа. Но добраться до этого места можно только в результате утомительной 16-часовой поездки на автомобиле или дорогостоящего чартерного авиaperелета. «Иметь по-настоящему интересное для любителей природы место, даже оснащенное всем необходимым для жизни удобствами, — это далеко не все, — говорит Алекс Моуд (Alex Moad), помощник директора по техническому сотрудничеству Лесной службы США. — Успешный экотуризм зависит и от множества других факторов, например надежного транспорта».

Транспортное сообщение с заповедником Дзанга-Санга за несколько лет постепенно улучшилось: за период с 2007 по 2011 г. его ежегодно посещали до 600 туристов. Но когда в 2013 г. в стране началась гражданская война, сотрудники парка были вынуждены приостановить всю туристическую деятельность. Сейчас в Центральноафриканской Республике вновь воцарился мир, и WWF надеется, что приток туристов в заповедник достигнет былого уровня. Разумеется, на это потребуются некоторое время. В 2014 г. парк был открыт вновь, но в нем побывало только 37 туристов.

Долгий путь к успеху

Пока рано говорить о том, как будут развиваться события в Индоджи, но ожидания Момберга отчасти уже воплотились в жизнь. Во-первых, туристы, похоже, и в самом деле хотят увидеть озеро. До 2013 г., когда на сцене появилась организация *Fauna & Flora International*, Индоджи ежегодно посещало всего около 20 иностранных гостей. Сегодня, когда в интернете и путеводителях издательства *Lonely Planet* регулярно появляется его реклама, число посетителей превышает 300 человек в год. За время пребывания на озере каждый турист тратит примерно \$45. Таким образом, только в 2014 г. местная казна пополнилась на \$19 тыс. — значительная прибыль для жителей деревни Лонтон, объединяющей примерно 300 хозяйств, — эпицентра озерного экотуризма,



Грунна туристов в окрестностях озера Инле в центральной части Мьянмы

где средний годовой доход семьи составляет всего \$1 тыс. Деньги, вырученные от экотуризма, пошли на оплату лечения беднейших жителей деревни и школьного обучения их детей. И на всем протяжении постепенного процесса развития экотуризма в Индоджи местное население неизменно оказывает горячую поддержку всем начинаниям его организаторов, и это несмотря на то, что большинство из них никаких денег непосредственно от туристов не получают.

Тем не менее многое еще нуждается в улучшении. Во-первых, качество предлагаемых на Индоджи экотуристических услуг далеко не безупречно. Единственные варианты утилизации неорганических отходов — либо их сжигание, либо закапывание в землю в отдаленных частях заповедника. Отсутствует система очистки сточных вод. Таким образом, вместо сохранения окружающей среды в первозданном виде экотуристы невольно ухудшают ее состояние. Кроме того, периодически вводится запрет на посещение окружающих озеро лесистых гор из-за присутствия здесь бойцов Качинской армии независимости — базирующейся на севере военной группировки. А члены общества «Любители Индоджи» так и не приобрели опыта гидов-проводников, которые смогли бы знакомить туристов с достопримечательностями природы. «Если вы захотите понаблюдать за птицами, кто сможет подсказать вам их название?» — вопрошает один из побывавших в Индоджи экотуристов. — Во многих странах налажена подготовка

местных экскурсоводов-орнитологов, в Мьянме же ничего подобного до сих пор не делается».

Еще одну важную проблему создает инфраструктура местности. От ближайшего аэропорта до озера шесть часов езды по изрытым колдобинами дорогам, доступным лишь для арендованного за большие деньги частного автомобиля. Вот почему большинство путешественников предпочитают добираться до озера более длинным, но менее дорогостоящим путем: из города Мандалая они едут 24 часа на поезде, а затем в кузове пикапа. Интернет и сотовая связь в районе озера недоступны, а электричество в два небольших гостевых домика — единственные строения, где могут легально проживать туристы, — подается всего на два часа в день. Некоторые путешественники воспринимают такие суровые условия существования как возможность отдохнуть от суеты цивилизации. Но для многих других они превращаются в неприятное испытание. «На сегодня Мьянма — это место лишь для выносливых туристов, готовых стерпеть любые невзгоды ради возможности полюбоваться природными красотами страны, — говорит Крис Уэммер (Chris Wemmer), почетный член Калифорнийской академии наук и почетный научный сотрудник Смитсоновского национального зоологического парка. — Хрупким пожилым леги в теннисных тапочках, обожающим наблюдать в бинокль за птичками, здесь делать нечего».

Старший советник по туризму Федерации туризма Мьянмы и соавтор стратегии развития экотуризма в этой стране Ки Ки Айе (Ки Ки Айе) уверена в том, что все проблемы, сдерживающие развитие экотуризма в Индоджи, в конце концов будут преодолены. Но, как отмечает советник, на это требуется время: «Мы хотим сделать Мьянму местом, более пригодным для жизни и путешествий. Но произойдет это не сразу, ведь страна только-только открылась для внешнего мира».

Вопрос в том, успеет ли Мьянма преодолеть все трудности, прежде чем ее природе будет причинен непоправимый ущерб. В Руанде налаживание экотуризма, связанного с посещением местообитаний горных горилл, заняло два десятилетия. Развитие экотуризма в рамках Международной программы по спасению горилл, инициированной коалицией неправительственных организаций, началось в этой стране в 1979 г. Но в 1994 г. геноцид и непрекращающиеся политические волнения приостановили ее осуществление, которое возобновилось лишь в 1999 г., когда ситуация в стране вновь стала стабильной. Инвестиции в реализацию данной программы составили около \$2 млн, затраченных на подготовку сотрудников, улучшение инфраструктуры местности и маркетинг, но с тех пор эти затраты окупили себя многократно: в 2014 г. одни только сборы за вход на территорию парка с гориллами составили \$16 млн.

По мнению Адама Симпсона (Adam Simpson), директора Центра мира и безопасности Университета Южной Австралии, в Мьянме основные трудности успешного развития экотуризма осложнены глубокими социальными проблемами, включая коррупцию и серьезные ограничения демократических свобод. Деятельность государственных служащих сдерживается здесь многолетней политической культурой авторитарного принятия решений военными лидерами, а политическая система вдобавок обременена кумовским капитализмом. «К ключевым факторам, которые будут ограничивать эффективность экотуристической индустрии, относятся и факторы, посягающие на эффективное политическое и экономическое управление Мьянмой в целом, — утверждает Симпсон. — До тех пор пока все эти проблемы не будут решены в масштабе всей страны, вряд ли можно говорить о том, что экотуризм сможет внести сколько-нибудь значительный вклад в охрану окружающей среды».

Но величественный вид Индоджи, купающегося в розовых лучах заходящего солнца, вновь настраивает на оптимистический лад. Сидящие на веранде туристы читают газеты и неспешно пьют чай, а в кресло рядом со мной устало опускается после трудного дня Нгве Лвин (Ngwe Lwin), директор программы по охране лесов Северной Мьянмы. «Пока, наверное, рановато говорить о пользе туризма для местной природы — ведь доходы от туристов совсем небольшие, — признается он. — Но мне кажется, что лет через десять это место станет более мирным, открытым и доступным. Возможно, в каждой местной деревне откроется свой маленький гостевой дом и туристы смогут путешествовать по всему озеру». Не исключено, что безопасность, которую принесет с собой в страну процветающий экотуризм, вначале потребует от волшебной природы Мьянмы некоторых жертв. Но скорее всего такой компромисс получит одобрение даже защитников природы. Как говорит Лвин, «нет худа без добра».

Перевод: В.В. Свечников

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Таллис П. Спасти Галапагос // ВМН, № 5–6, 2016.
- A New Species of Snub-Nosed Monkey, Genus *Rhinopithecus* Milne-Edwards, 1872 (Primates, Colobinae), from Northern Kachin State, Northeastern Myanmar. Thomas Geissman et al. in *American Journal of Primatology*, Vol. 73, No.1, pages 96–107; January 2011.
- The Economic Value of Forest Ecosystem Services in Myanmar and Options for Sustainable Financing. Lucy Emerton and Yan Min Aung. *International Management Group*, September 2013.

«Бегущий человек»,
который занял второе
место на проходившем
в прошлом году сорев-
новании роботов *DARPA
Robotics Challenge*, «по-
зирует» на гряде шла-
коблоков в Институте
изучения когнитивных
способностей человека
и машин в Пенсаколе,
штат Флорида





РОБОТОТЕХНИКА

ХОДЯЧИЕ РОБОТЫ

Почему так сложно создать шагающего робота?

Джон Павлус

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

■ То, что малыши постигают естественным путем, для роботов остается недоступным: пока никому не удалось создать робота, который мог бы ходить так же эффективно и устойчиво, как человек или другие двуногие живые существа.

■ Однако инженеры продолжают изыскания, поскольку во многих случаях, например при катастрофах и стихийных бедствиях, на пути роботов будут встречаться лестницы, двери и другие препятствия созданного человеком мира.

■ Мотивированные такими соревнованиями, как *DARPA Robotics Challenge*, инженеры и конструкторы апробируют различные подходы и методы для совершенствования способности роботов к ходьбе на двух ногах.

ОБ АВТОРЕ

Джон Павлус (John Pavlus) — писатель и кинематографист, в сферу интересов которого входят вопросы науки и техники. Его статьи публиковались в журналах *Bloomberg Businessweek*, *MIT Technology Review* и др.



жерри Пратт (Jerry Pratt) смотрел на небо на мониторе и понимал, что дело неладно. Загвоздка была не в этом голубом, как обычно, июньском небе южной Калифорнии над городом Помоной, расположенным примерно в 40 км от Лос-Анджелеса. Просто оно могло появиться на мониторе, куда передавалась картинка с видеокамеры, установленной на голове очень дорогого и чрезвычайно сложного человекоподобного робота, только

по одной причине. Робот по прозвищу «Бегущий человек», который должен был уверенно шагать по небольшой груде шлакоблоков, опрокинулся на спину.

Пратт не видел самого падения в отличие от специалистов-робототехников, журналистов и зрителей, собравшихся на крупнейший турнир роботов *DARPA Robotics Challenge (DRC) 2015*. Пратт и его коллеги из Института по изучению когнитивных способностей человека и машин в штате Флорида состязались с 24 другими командами разработчиков за главный приз в \$2 млн. А тем временем «Бегущий человек» лежал неподвижно, его правая нога торчала вверх, и он напоминал шлепнувшегося на зад комедийного актера в ожидании, когда режиссер даст команду «Стоп! Снято!». Затем еще раз возымела действие сила гравитации и туловище робота вместе с конечностями завалилось набок. Его ноги под действием собственного огромного веса медленно опустились на гравий, длинные руки распростились и вывернулись.

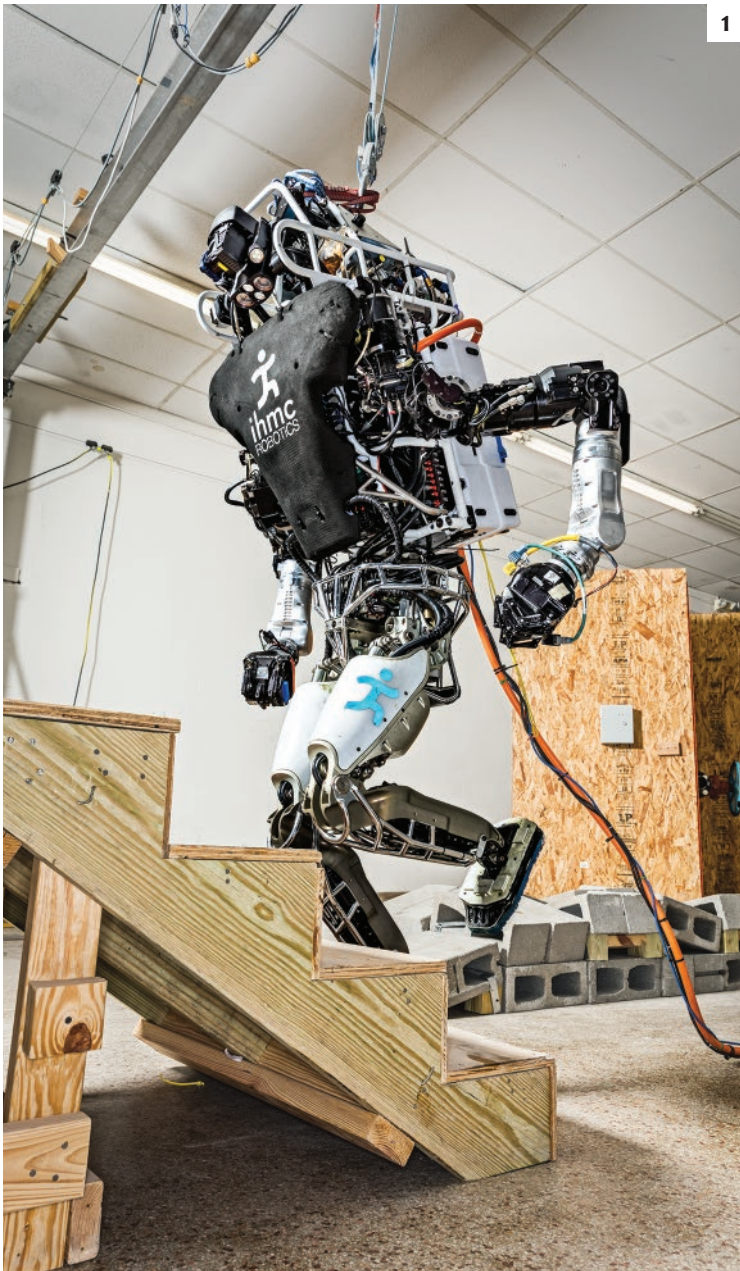
Это совсем не походило на то, к чему стремился Пратт со своими партнерами. Они, как и другие участвующие в соревновании команды, в том числе коллективы из ведущих робототехнических лабораторий: Университета Карнеги — Меллона, Массачусетского технологического института и т.д., — прибыли сюда, желая продемонстрировать, что их детища способны выполнять простые действия, привычные для здорового человека: открывать двери, ездить на автомобиле, пользоваться ручными инструментами и ходить на двух ногах. В течение примерно 60 минут механические участники *DRC* должны были управлять небольшим, похожим на военный джип автомобилем, затем выйти из него, открыть запертую дверь и войти в здание, убрать строительный мусор или пройти по груде шлакоблоков, взять в руки электроинструмент,

например дрель, и просверлить отверстие в листе гипсокартона, повернуть большой металлический вентиль и подняться по короткой лестнице. Многие роботы справились по меньшей мере с некоторыми из этих заданий, но в результате тоже упали. И таких оказалось большинство. На самых впечатляющих кадрах этих соревнований запечатлены идущие неверной походкой, шатающиеся из стороны в сторону роботы, напоминающие подвыпивших студентов; на *YouTube* этот ролик набрал более 1,8 млн просмотров.

Спустя шесть месяцев после этого турнира, вернувшись в свою лабораторию в Пенсаколе, штат Флорида, Пратт воскрешал в памяти его события и готов был успокоить всех, кто опасается возможности восстания человекоподобных роботов. «Ходить — это совсем не просто», — сказал бы он.

Шаги ребенка

Ходить действительно очень трудно. Чтобы убедиться в этом, понаблюдайте за ребенком, не достигшим двух лет, или поговорите с кем-нибудь из прошедших курс реабилитации после травмы. Но почему именно это так непросто? Как-никак в течение сотен тысяч лет представители нашего биологического вида были двуногими; другие двуногие, например страусы, ходят еще на миллион лет дольше. «Кажется, что раз уж маленькие дети умеют ходить, значит это просто, — говорит Энди Руина (Andy Ruina), профессор машиностроения из Корнеллского университета, с 1992 г. занимающийся изучением процесса локомоции и конструированием шагающих роботов. — Однако малыши способны делать множество необъяснимых вещей».



В экспериментальной лаборатории при Институте изучения когнитивных способностей человека и машин, где он был создан, «Бегающий человек» поднимается по лестнице (1) и открывает дверь (2) — обе эти задачи поставлены DRC. Во время соревнований роботом управлял Джон Карфф; здесь он в лаборатории за пультом управления (3).



То, над чем они трудятся, обучившись уверенно ходить, можно назвать выработкой ловкости. Делать шаги, удерживать равновесие, сохранять темп, исправлять ошибки, адаптироваться к местности — все это необходимо, но недостаточно для передвижения на двух ногах. Хотя бы немного ухудшите качество любой из этих составляющих — и твердая походка большинства здоровых людей тут же станет неуклюжей, шаткой и неуверенной.

Врожденной ловкости присущи другие качества. Во-первых, она контролируема: используя свои органы чувств, мы четко и быстро находим надежную точку опоры, то есть место, куда поставить ногу. Во-вторых, она надежна: обычно

мы успеваем отреагировать на неожиданно возникшее затруднение и предотвратить ошибку. В-третьих, ходьба эффективна: мы не сосредоточиваемся на ней целиком, не расходует слишком много энергии, поэтому можем одновременно идти и, например, жевать жвачку, разговаривать, размышлять.

Взрослые справляются с этой триединой задачей с легкостью, отточенной миллионами лет эволюции (не говоря уже о нескольких годах непрерывной практики в детстве). С помощью зрения, осязания и проприоцепции мы контролируем свои движения и сохраняем равновесие. Благодаря рефлекторной реакции не спотыкаемся и не падаем, когда под ноги неожиданно попадаете

Принцип кузнечика

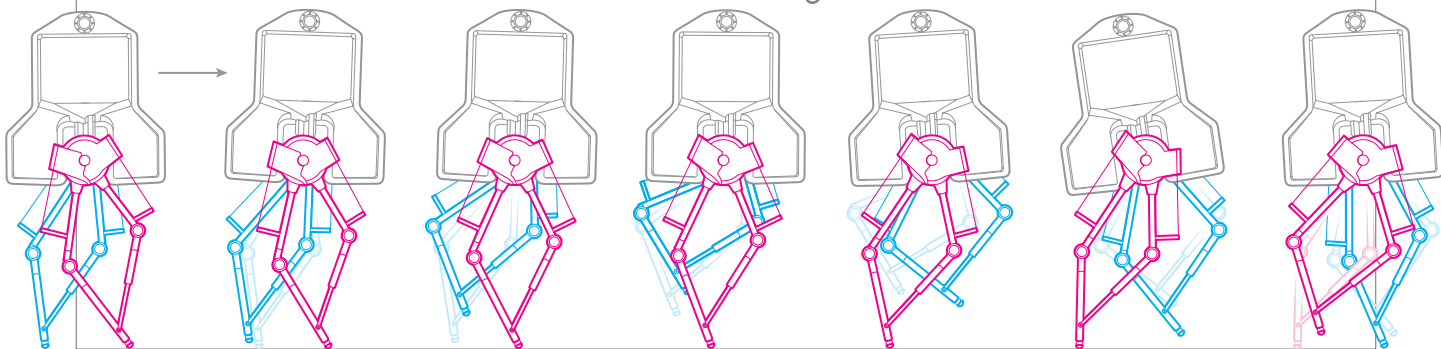
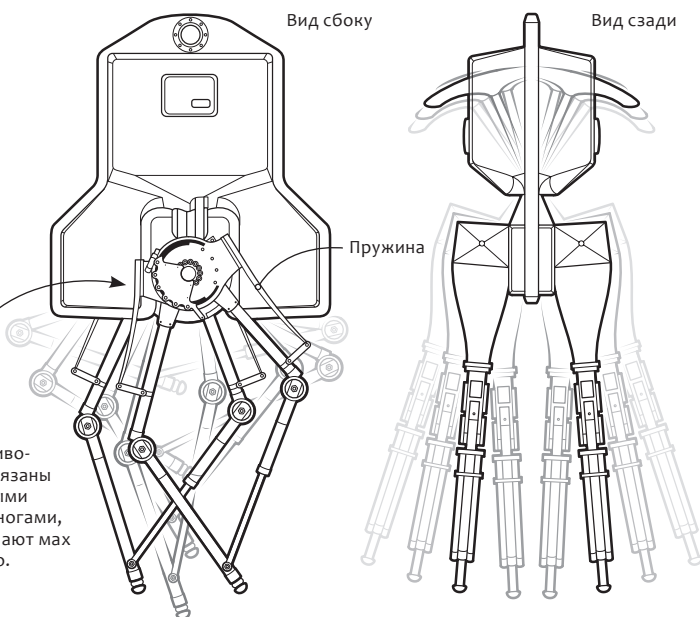
Джонатан Херст со своими аспирантами из Университета штата Орегон создали ATRIAS (от англ. *assume the robot is a sphere* — «предположим, что робот — это сфера») для изучения процесса перемещения на двух ногах. В основе движения робота лежит модель «пружина — масса», которая представляет ходьбу как действие массивного тела, соединенного с невесомой пружинящей ногой. Результат потрясает: ATRIAS может ходить и бегать со скоростью примерно 2 м/с и без труда встает после падения.

Пружинящий шаг

Пружины ног ATRIAS запасают часть энергии каждого отскока от земли и превращают ее в работу, обеспечивая следующий шаг. Суставы ног животных работают примерно так же.

Сила ног

Мощные приводы ATRIAS связаны с оснащенными пружинами ногами, которые делают мах произвольно.



камень, а прочные кости, окруженные эластичными мышцами, выдерживают удары (конечно, если они не чрезмерно сильные). Каждый наш шаг — это результат согласованной работы механической и «вычислительной» систем: наши мышцы и сухожилия могут пассивно поглощать удар и в тот же миг активно генерировать движение, спинной мозг обеспечивает периодичность движения, и наши ноги шагают в нужном направлении, в то время как мозг занят более важными делами.

В необходимости выполнения всех этих условий и кроется причина, по которой так трудно научить робота ходьбе: ни один из созданных до сих пор двуногих роботов не способен так гармонично сочетать в себе контроль, надежность, устойчивость и эффективность, свойственные человеку — и даже цыпленку. Знаменитый робот-андроид ASIMO (от англ. *Advanced Step in Innovative Mobility* — «прогрессивный шаг в инновационную мобильность»), созданный корпорацией Honda, тщательно высчитывает усилие, траекторию и импульс, необходимые для каждого шага. Инженерная компания *Boston Dynamics* представила видеоролики, демонстрирующие новое поколение их

робота-гуманоида *Atlas*, разгуливающего по заснеженному лесу и самостоятельно поднимающегося после падений, акцентируя особое внимание на надежности: быстрое перемещение и сохранение равновесия. «Бегущий человек» и некоторые другие участники DRC представляют собой модификации роботов *Atlas*. Эрон Эймс (Aaron D. Ames), исследователь-робототехник из Технологического института Джорджии, который работает над созданием двуножного робота без рук и без головы под названием *DURUS*, задает все возможные степени свободы тела робота с помощью множества математических уравнений, каждое из которых заняло бы сотни страниц. Джонатан Херст (Jonathan Hurst), инженер-механик из Университета штата Орегон, создал относительно простого робота ATRIAS, основываясь на типовой физической модели, описывающей поведение нелетающих птиц. Несмотря на различие в подходах, обоих специалистов в первую очередь интересует одно и то же — эффективность. Существует также гибридная стратегия. Чтобы совместить управление, как у ASIMO, с устойчивостью, как у аппаратов *Boston Dynamics*, Пратт, чей «Бегущий человек» занял

второе место в *DRC*, использует метод под названием «точка захвата» (*capture point*). Оба подхода имеют свои преимущества, но ни один из них не позволяет создать гуманоида, соперничающего с человеком в совершенстве ходьбы.

Заметим, что инженеры и не должны стремиться к этому. В конце концов, Чжун Хо О (Jun Ho Oh), ведущий специалист-робототехник из Корейского института передовых технологий, завоевал первый приз в *DRC* и получил \$2 млн, не превосходя соперников в способности к передвижению на двух ногах, а напротив — избегая ее, насколько это возможно. (Его робот был оснащен колесами, установленными на коленях и щиколотках, и большую часть пути уверенно катился, стоя на коленях.) Вспомним, что братья Райт, изобретая аэроплан, не стремились к копированию полета птиц.

Однако существуют веские причины к продолжению попыток создать шагающих роботов. Наиболее очевидное их применение старо, как легенда о персонаже еврейской мифологии Големе: выполнение задач, слишком сложных, опасных или утомительных для *Homo sapiens*. Сам по себе конкурс *DARPA Robotics Challenge* был устроен для того, чтобы создать робота, способного функционировать в условиях, приближенных к таковым во время катастрофы на японской АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. Последствия трагедии можно было бы смягчить, если бы на станциях использовались роботы, способные перемещаться по лестничным маршам или заваленным обломками проходам, перекрывать нужные клапаны и выключать рубильники. Работа на месте катастроф — лишь один из аспектов применения таких роботов. Удаленное присутствие в офисе, помощь по домашнему хозяйству, упаковка грузов и их доставка, патрулирование и слежение для обеспечения безопасности, изыскание и добыча полезных ископаемых — все эти виды деятельности можно модернизировать и автоматизировать с помощью человекоподобных роботов. «Мне не известна ни одна биологическая или механическая модель, лучше приспособленная для передвижения на ногах по суше, чем гуманоид», — говорит Пратт.

Есть и косвенные преимущества создания двуногих роботов. Эймс утверждает, что разработка роботизированных систем, охватывающих весь спектр способов перемещения человека, поможет понять природу локомоции. «Если нам удастся создать роботов, шагающих, как человек, мы поможем многим людям, лишенным этой способности», — говорит он.

Будущее двуногих человекоподобных роботов сходно с будущим искусственного интеллекта (ИИ) — их объединяет безграничная многофункциональность. Если ИИ — это совершенная мыслящая машина, то гуманоид — совершенная автономная машина, универсальный метаинструмент,



Встречайте создателей бегущего человека: Даг Стивен (Doug Stephen) (слева), исследователь из Института изучения когнитивных способностей человека и машин, и Джерри Пратт (справа), руководитель отдела робототехники этого института

который может находиться и функционировать в непредсказуемой обстановке, обладая преимуществами всех когда-либо созданных человеком машин и механизмов. Как говорит О, «двуногие роботы — это не инструмент повсеместной необходимости. Но кое-где они будут абсолютно незаменимыми. И мы готовим их к этому».

Полный контроль

Лаборатория робототехники Пратта в Институте изучения когнитивных способностей человека и машин напоминает студию звукозаписи альтернативной рок-музыки, дополненную небольшим недавно организованным предприятием по созданию программного обеспечения. Два молодых исследователя катаются на роллерсерфах вокруг нескольких составленных вместе письменных столов, стреляя друг в друга из *Nerf*-бластеров. Рабочее пространство представляет собой точную копию ландшафта, где проходят соревнования *DRC*, с большим металлическим помостом. С помоста, как тряпка, свисает «Бегущий человек»: конечности безжизненно болтаются, плоские, похожие на плиты ступни повисли, слегка касаясь пальцами бетонного пола. Джон Карфф (John Carff), самый опытный в лаборатории оператор-робототехник,

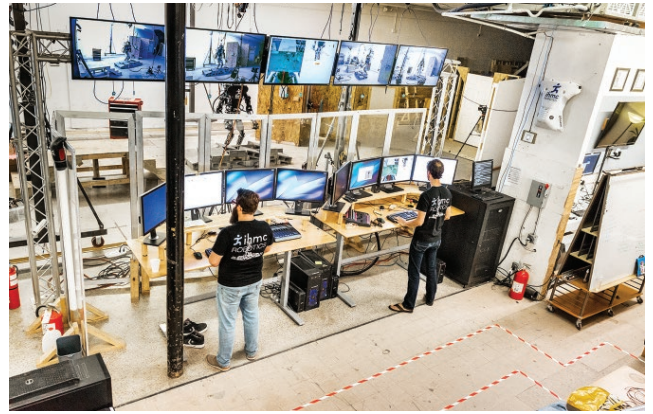
запускает обычный процесс поверки. Все еще свешиваясь, робот начинает поднимать руки и ноги, ставя их в правильные позиции, подобно витрувианскому человеку Леонардо да Винчи.

К опоре помоста прислонена длинная белая труба с прикрепленной к одному ее концу красной боксерской перчаткой. Она помечает минимальную безопасную дистанцию, на которой надо держаться от «Бегающего человека», когда он находится в действии. «Это у нас специальный трехметровый шест», — объясняет Пратт, пока моторизованный блок спускает ноги «Бегающего человека» на пол. По толстому электрическому кабелю к 174-килограммовым гидравлическим приводам гуманоида подается электроэнергия мощностью 10 кВт. «По его "венам" течет энергия в 12 лошадиных сил, — говорит Пратт. — Если что-то пойдет не так и он ударит вас по лицу, вам не поздоровится».

Пратт и Карфф заставляют «Бегающего человека» произвести некоторые из операций, которые он делал на DRC; правда, балансирование на одной ноге, несколько шагов по направлению к шлакоблокам, подъем и спуск с них выглядят хотя и внушительно, но не очень уверенно. Его массивное туловище в округлом металлическом кожухе, балансирующее на сужающихся книзу и согнутых в коленях ногах, придает роботу вид человека, обремененного непосильным грузом. Сейчас он еще не оснащен модернизированной программой противодействия толчкам, которая обеспечивает сохранение равновесия, поэтому хороший пинок может его опрокинуть (впрочем, этому воспрепятствуют прикрепленные к помосту ремни безопасности). Он идет неторопливой шаркающей походкой пожилого человека. Но его шаги безошибочны: ремни безопасности заметно ослабевают, когда «Бегающий человек» взгромождается на вершину груды шлакоблоков.

Метод под названием «точка захвата», который Пратт использует для расчета шагов «Бегающего человека», позволяет находить места на поверхности, куда робот должен поставить ступню, чтобы не упасть. Во время быстрой ходьбы или бега определять точку захвата для каждого шага нет необходимости, поскольку двуногий ходок или бегун почти не балансирует, удерживая равновесие, прежде чем сделать следующий шаг. Но когда человек идет медленно или шагает по неровной дороге, «правильная постановка ступни становится существенным фактором, — объясняет Пратт. — Если вы ошибетесь на несколько сантиметров, вас сразу же поведет в сторону».

Подумайте, как бы вы переходили через ручей по камням, стараясь не упасть в воду. Один способ — это ринуться вперед, быстро и не задумываясь перескакивая с камня на камень, почти не выбирая места, куда ступить, чтобы удержать равновесие и сохранить направление движения. Другой



Испытательный полигон: Стивен (слева) и Карфф (справа) за пультом управления в лаборатории; Карфф управляет «Бегающим человеком», в то время как Стивен просматривает данные на нескольких мониторах

подход — двигаться медленно и осторожно, аккуратно ставя ногу на намеченное место и перенося вес тела с одной ноги на другую при каждом шаге.

Пратт утверждает, что способность «Бегающего человека» в режиме реального времени оценивать свое положение в пространстве (для этого у него есть инерционное измерительное устройство, располагающееся в области таза, и программное обеспечение, которое перерасчитывает балансировку и ориентацию 1 тыс. раз в секунду) гораздо лучше, чем у человека. Но людей отличают от «Бегающего человека» небольшой вес и упругие конечности, способные быстро скорректировать ошибки или нарушение равновесия во время прыжка. Пратт описывает игру, в которую он играл со своими сыновьями и которая помогла ему разобраться в этом вопросе. «Мы идем по улице, я неожиданно выкрикиваю: "Берегись!" и толкаю их», — поясняет он. Если Пратт проделает такую же штуку с «Бегающим человеком», то скорее всего, несмотря на заложенную в нем сложную программу противодействия толчкам и гидравлические приводы мощностью 12 л.с., робот просто рухнет на землю.

Еще одна особенность человека, не свойственная роботам, — его способность вставать после падения или по крайней мере не рассыпаться на части.

Если шагающие двуногие роботы, участники соревнования DRC, больше походили на трясущихся немощных старичков, чем на грозных Терминаторов с уверенной походкой, то виной тому была конструкция их тела. «Узкое место в устройстве двуногих роботов, которое не просчитано совсем, — это арматура, — говорит Пратт. — Если нам удастся создать робота, имеющего нечто, похожее по своим свойствам на мышцы, — небольшой вес, энергетически эффективный привод, способный работать одновременно как мощный двигатель и как пассивная пружина, — я думаю, дело пойдет на лад».

Модель «пружина — масса»

Созданный Херстом шагающий робот *ATRIAS* слеп как летучая мышь и нем как скала. У него даже нет головы — вместо нее просто металлический стержень, торчащий из квадратной черной грудной клетки, которую Херст со своими аспирантами используют, чтобы направлять робота, когда он с важным видом ходит по территории Университета штата Орегон, как механический безголовый цыпленок. Однако, несмотря на очевидные несуразности, *ATRIAS* может выполнять сногшибательный акробатический трюк, который не по силам ни одному из участников соревнований *DARPA*, с траекторией, заданной методом «точка захвата»: он переваливает через неожиданное препятствие и идет дальше как ни в чем не бывало. По сравнению с большинством двуногих гуманоидов с их неуверенной походкой *ATRIAS* — это Джин Келли в «Поющих под дождем».

«Мы создали этого робота как научный инструмент с одной целью: установить фундаментальные принципы локомоции», — говорит Херст. Другими словами, не ожидайте, что *ATRIAS* поведет себя как страус в случае опасности. Но если представление Херста о механизме ходьбы на двух ногах правильно, то нам не нужны никакие искусственные мышцы, чтобы он мог двигаться так же уверенно, как любое животное.

В основе конструкции *ATRIAS* лежит идея, что робот — это сфера, в соответствии с распространенной среди физиков шуткой «Будь проще, дружок!». Его поведение базируется на давней теории перемещения на двух ногах, названной моделью «пружина — масса». Согласно этой модели, все переменные, описывающие пешехода, который состоит из костей, мышц и сухожилий, можно свести к двум параметрам: массе тела и связанной с ней в одной точке не имеющей массы (в реальности — как можно более легкой) ноге-пружине.

Модель «пружина — масса» немногим отличается от управляемого компьютером кузнечика с грузом на макушке. Но эта модель десятилетиями была незаменимым подспорьем при симулировании ходьбы роботов, прежде всего в знаменитой *Leg Lab* в Массачусетском технологическом институте, где ее основатель и ведущий исследователь Марк Рейберт (Marc Raibert) провел в конце 1980-х — начале 1990-х гг. свое революционное исследование по созданию прыгающих и бегающих роботов, перед тем как покинуть академию наук и основать компанию *Boston Dynamics* (Херст и Пратт тоже работали в *Leg Lab*, прежде чем создать собственные лаборатории по конструированию шагающих роботов).

Модель «пружина — масса» воплотила одну из важных особенностей ходьбы — динамическую устойчивость. Динамически устойчивый шагающий робот сохраняет равновесие таким же

способом, как это делает человек: с каждым шагом нарушая и восстанавливая его. Если неисправность или ошибка прерывает эту ходьбу и ходок не может вовремя скорректировать свой шаг, чтобы поддержать центр масс, он падает. «Центр масс человека находится на высоте примерно метра от земли, а это значит, что вы должны переставить свою ногу на новое место менее чем за треть секунды, чтобы не упасть», — объясняет Пратт.

Статическое равновесие требует противоположного подхода: вместо того чтобы поддерживать состояние управляемого падения, оно трактуется ходьбу «как некое возмущение состояния покоя», говорит Руина. Длина шага и количество движения при каждом шаге должны быть заданы заранее с высокой точностью, так чтобы центр масс робота во время ходьбы не утрачивал равновесия. В случае первых двуногих гуманоидов статически стабильная ходьба использовалась для того, чтобы облегчить регулирование движения негнущихся конечностей и позволить — по крайней мере теоретически — останавливать «полушаг» в любой точке и не падать. В современных человекоподобных роботах, в частности тех, которые участвуют в соревнованиях *DRC*, до сих пор используется одна из версий этого подхода — квазистатическое равновесие, при котором для сохранения равновесия необходимо совершать неторопливые шаги с опорой на полную ступню.

Для поддержания устойчивой походки на полусогнутых ногах квазистатическому двуногому шагающему роботу необходимы множество энергозатратных приводов и соответствующее ПО — и тем не менее он остается чрезвычайно чувствительным к малейшим внешним воздействиям. А у динамически устойчивого шагающего робота, такого как *ATRIAS*, созданного по принципу «пружина — масса», все сводится к естественным физическим взаимодействиям между ногами и землей. «Шагая по каменистой дороге, вы выбрасываете ногу вперед, затем опускаете ее — и она автоматически ступает так, как ей удобно, куда бы вы ее ни поставили», — поясняет Пратт, который использовал преимущество аналогичной динамики, работая над созданием двуногих роботов в *Leg Lab* в конце 1990-х гг.

В сочетании с мощными приводами тазобедренного сустава и ногами, которые могут пассивно (без всякого привода) сгибаться и разгибаться в колене, робот «пружина — масса» может сохранять на удивление устойчивую походку, несмотря на внешние воздействия. Применительно к комбинации «энергозатратность и ловкость», свойственной походке *ATRIAS*, Херст использует словосочетание «звериная поступь». И в самом деле: когда он отследил шаг за шагом движения робота и построил график, полученная кривая была очень близка к таковой для человека и некоторых видов нелетающих птиц.

По словам Херста, это соответствие подразумевает, что те физические подходы, которые он использовал при разработке конструкции и поведения *ATRIAS*, скорее всего идентичны некоторым принципам природного прямохождения. «Мы не собираемся заниматься биомимикрией, совершенствуя *ATRIAS*, — заявляет он. — Его ноги не имеют ничего общего с ногами курицы или человека. Но ходят они примерно одинаково. Это означает, что мы на правильном пути и, возможно, нам не понадобятся более мощные приводы и дополнительное программное обеспечение».

Безостановочное совершенствование

Первый приз на конкурсе *DARPA Robotics Challenge 2015* завоевал робот *DRC-Hubo+*, созданный корейской командой во главе с Чжун Хо О, но посетив его лабораторию, вы понимаете, что путь к успеху был долгим. Находящаяся в покоем на бункер здании в кампусе Корейского института передовых технологий в Тэджоне *Hubo-Lab* украшена роботами-гуманоидами предыдущих поколений, над которыми Чжун Хо О трудился последние 15 лет, находясь на самообеспечении.

Они подвешены в рамках, как вышедшие из моды костюмы: самая первая конструкция *Hubo*, фотография робота *ASIMO* размером с ребенка, которого О смастерил в 2004 г., используя остатки бюджета своих коллег, после того как правительство Южной Кореи отказалось финансировать его исследования; одна из версий, которая все-таки получила финансирование после успешных испытаний прототипа: его серый кожух снят, а металлическая начинка подобна экспонату анатомической выставки «Мир тела»; черный прототип *Hubo* без головы, который О создал для испытаний на прочность своих последних разработок, предназначенных для участия в соревнованиях *DARPA*, имитирующих условия техногенных и других катастроф. Сам *DRC-Hubo+* больше похож на игрушечного робота *GoBot* в натуральную величину, с блестящими красными и синими вставками, украшающими его изящное, покрытое алюминиевой краской «тело». И так же, как у игрушки, «секретным оружием» *Hubo* была способность трансформироваться самым невероятным образом.

Чжун Хо О создает вокруг себя жизнерадостную, в чем-то эксцентричную атмосферу. Ему нравится разыгрывать небольшие шоу — особенно с тех пор, как он получил чек на \$2 млн от *DARPA*. Однажды в начале февраля О со своими аспирантами продемонстрировал *Hubo* делегации французских инженеров и ученых, президенту Корейского института передовых технологий и военному руководству Южной Кореи. Неделий раньше он отправился вместе с *Hubo* на Всемирный экономический форум в Давосе.

Учитывая все награды и почести, которых удостоился *Hubo*, можно было бы подумать, что О

безгранично верит в способность своего робота к передвижению на двух ногах. Вместо этого он с усмешкой вспоминает, как часто *Hubo* падал на пути к *DRC* («примерно раз в месяц, но большинство повреждений не были серьезными»), и открыто говорит, что его победная стратегия состояла в отказе от перемещения на двух ногах везде, где это было возможно. «Если в лабораторных условиях ходьба завершается успехом в 99% случаев, то оставшийся 1% — это огромная проблема», — говорит О.

В итоге он стремился, чтобы *Hubo* прошел такую же трассу, как и «Бегущий человек». Но после многочисленных проблем во время тестирования Жунхо Ли (Jungho Lee), специалист в области робототехники и сооснователь *Rainbow*, одного из дочерних предприятий *Hubo-Lab*, которое занимается коммерциализацией роботов и связанных с их созданием технологий, убедил О пойти более привычным путем. Вместо того чтобы уповать на сомнительные шансы на успех *Hubo* с его несовершенной ходьбой, он предложил решение под названием «мультимодальное движение».

По существу, О превратил *Hubo* в трансформер. Робот мог вставать на колени и ехать в заданном направлении с помощью колес, установленных на коленях и щиколотках. Торс *Hubo* поворачивался независимо от таза, что позволяло роботу складываться в положения, при которых он мог перемещаться оптимальным образом. Например, когда на пути *Hubo* попадались завалы, он не разгребал их руками стоя, рискуя упасть, — он опускался на колеса, поворачивая верхнюю часть тела на 180°, и использовал ступни, которые теперь стояли вертикально, как отвал бульдозера; медленно перемещаясь вперед на колесах, он расчищал путь.

О мастерски сконструировал человекоподобного робота, в котором удачно сочетались точность, устойчивость и эффективность в соответствии со всеми требованиями соревнований *DRC*. Но в чем его изюминка? Ответ зависит от того, какого робототехника вы спрашиваете. «Мне это не нравится», — говорит Эймс из Технологического института Джорджии, имея в виду трансформации *Hubo*. (Его гуманоид *DURUS* не участвовал в финальных соревнованиях *DRC*, зато стал победителем *Robot Endurance Test*, дополнительно соревнования на выявление самого лучшего «ходака».)

У Тони Стенца (Tony Stentz) из Университета Карнеги — Меллона, чей занявший третье место робот *CHIMP* перемещался на четырех ногах, оснащенных гусеницами, другое мнение. «Чтобы решить проблему, нужно найти лучший дизайн, рассмотреть все аспекты, — говорит он. — Если вы выходите на соревнования *DRC* и считаете, что ваш робот должен быть двуногим, то вы существенно сужаете свои возможности — и не исключено, что никогда не найдете оптимального решения».

О согласен с этим, хотя и уверен в востребованности двуногих роботов как никто другой на *DRC*. «Если бы ходьба двуногих гуманоидов была безупречной, никакого мультимодельного движения нам не понадобилось бы», — говорит он. О разделяет мнение Пратта в отношении того, что развитию гуманоидов препятствуют конструктивные факторы; он собирается посвятить следующие два года тому, чтобы разобраться с приводами с нуля. Однако О не собирается ждать появления совершенно новых движителей и для усовершенствования *Hubo* по-прежнему намерен иметь дело с электромоторами, гидравлическими и пневматическими приводами. И если для устранения препятствий хождению гуманоидов на двух ногах потребуется встать на уши, значит так тому и быть.

Почти человек

В феврале инженерная компания *Boston Dynamics* выпустила видеоролик о своем новом роботе, который мог выполнять почти все действия, что и роботы — участники *DRC*. Это усовершенствованная версия гуманоида *Atlas*: робот мог подойти к двери, открыть ее и войти внутрь быстрым шагом, как человек. Он спускался по неровному склону и сохранял равновесие, даже когда его ноги скользили по снегу. Он уверенно поднимался на ноги из положения полуприседа, поднимая вес в 4,5 кг. Он падал вниз лицом со всего маху, но в отличие от другого, менее удачливого участника *DRC 2015*, у которого порвались гидравлические «вены» и из них вытекла жидкость, с ним ничего такого не случилось, он самостоятельно подтянул ноги и поднялся.

Этот эпизод поразил сообщество любителей человекоподобных роботов не меньше, чем победа шахматного суперкомпьютера *DeepBlue* над чемпионом мира Гарри Каспаровым. Руина назвал его «переходом на первый уровень». Эймс и Херст выразили свое мнение словами «Впечатляюще!» и «Здорово!». Пратт отозвался о нем как о «феноменальном прорыве в передвижении», особенно в том, что касается позы полуприседа. «У меня бы это ни за что не получилось», — добавил он. Тем не менее никто из них не считает, что проблема устойчивой ходьбы решена, и не только потому, что *Boston Dynamics* отказалась поделиться научными и конструктивными деталями своих созданий. «Это новая ступень в робототехнике, — считает Эймс. — То, что они сделали, — настоящий прорыв, несомненно лучшее из всего, что удалось сделать другим. Но это не окончательное решение». (*Boston Dynamics* не ответила на неоднократные просьбы *Scientific American* об интервью.)

Такие же вопросы стоят и перед упомянутыми выше исследователями. Каким образом механические приводы могут создать достаточно мощный крутящий момент и в то же время использовать пассивную динамику? Какие управляющие

алгоритмы позволят роботу уловить разницу между осторожным подъемом на цыпочках по лестнице и преодолением одним махом груды шлакоблоков? Каким образом совместить повышение эффективности и удешевление? «Здесь никакой закон Мура не действует», — говорит Пратт.

Таким образом, работа по совершенствованию ходьбы двуногих роботов продолжается. Херст трудится над созданием следующего поколения *ATRIAS*, который уже может бегать, ходить, управлять автомобилем и подниматься с земли. Эймс полагает, что к 2017 г. он научит *DURUS* делать нечто большее, чем выполнять монотонную механическую работу и прогуливаться вокруг кампуса Технологического института Джорджии. Эймс и Пратт участвуют в проекте *NASA* под названием «Валькирия» с целью усовершенствования человекоподобного робота, чтобы отправить его вместе с астронавтами на Марс. Тем временем Руина работает над созданием двуногого робота под названием *Tik-Tok*, который будет функционировать почти как человек и состоять из недорогих, уже имеющихся в наличии компонентов.

«Мы собирались снять в течение года-двух такой же видеоролик, как и у *Boston Dynamics*, но они нас опередили, — признается Руина. — Сначала я подумал: "Черт, а чем же я буду заниматься всю оставшуюся жизнь?" Но потом вспомнил о братьях Райт. С их изобретением авиация не закончилась, это было только начало. Позднее появились теоретические основы динамики полета самолета. *Atlas* — безусловно самый впечатляющий из созданных до сих пор двуногих роботов. Но означает ли это, что он — само совершенство? Конечно же нет! Он открывает безграничный простор для творчества».

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Capture Point: A Step toward Humanoid Recovery. Jerry Pratt et al. Presented at the 6th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Genoa, Italy, December 4–6, 2006. www.ihmc.us/users/jpratt/publications/2006_Humanoids_CapturePoint_Pratt.pdf
- Bio-inspired Swing Leg Control for Spring-Mass Robots Running on Ground with Unexpected Height Disturbance. H. R. Vejdani et al. in *Bioinspiration & Biomimetics*, Vol. 8, No. 4, Article No. 046006; December 2013.
- First Steps toward Formal Controller Synthesis for Bipedal Robots. Aaron D. Ames et al. in *Proceedings of the 18th International Conference on Hybrid Systems: Computation and Control*, pages 209–218; 2015.
- Jonathan Hurst's seminar on "Designing Robots to Walk and Run": www.youtube.com/watch?v=2NVFymqa8qY
- Видеоролик о шагающих роботах см. по адресу: ScientificAmerican.com/jul2016/robots

Привет, роботакси!

Самоуправляющиеся автомобили не останутся без дела: они могут стать, например, недорогим общественным транспортом

Несомненно, самоуправляющиеся автомобили — прекрасная идея. Уже сегодня многие автогиганты — *Honda, Volvo, GM, Ford, Audi, Mercedes, Tesla* и другие — автоматизировали некоторые аспекты управления автомобилем. Они предлагают умный адаптивный круиз-контроль, который действует всю поездку вплоть до полной остановки, то есть он управляет машиной в автономном режиме от начала и до конца движения, нажимая на газ или тормоз, без малейшего риска создания аварийной обстановки или дорожно-транспортного происшествия. Он может вести автомобиль по одной полосе или перестраивать его из ряда в ряд. Специальные электронные помощники сами осуществляют параллельную или перпендикулярную парковку вашего авто. Единственное, чего пока эти устройства не могут делать, — это самостоятельно поворачивать.

Примером самоуправляющихся машин служит беспилотный автомобиль *Google*. После более чем 1,5 млн км дорог общего пользования, пройденных этими автомобилями, единственной аварией, произошедшей по вине беспилотника, стало боковое столкновение на небольшой скорости с автобусом при перестроении на соседнюю полосу. Причиной ДТП оказалась ошибка бортового компьютера; в результате у автомобиля были повреждены крыло и один из датчиков движения. (Кроме того, на его счету 17 незначительных столкновений, но все они произошли по вине управляемых водителями автомобилей: например, однажды такая машина задела сзади остановившийся перед стоп-линией автомобиль *Google*.)

И вот что очень важно: теоретически самоуправляющиеся автомобили могли бы свести к нулю

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Поуг (David Pogue) — колумнист сайта *Yahoo Tech*, ведущий научно-популярного документального телесериала *NOVA* на телеканале *PBS*.



число аварий, в которых ежегодно по всему миру погибает около 1,2 млн человек. Это позволит сэкономить триллионы долларов, затрачиваемых на лечение пострадавших в больницах и страховые выплаты. В выигрыше окажется и окружающая среда, поскольку беспилотные автомобили будут двигаться по оптимальному маршруту, способствовать уменьшению пробок на дорогах, а кроме того, их невозможно будет угнать. Но самое интересное начнется потом: использование самоуправляющихся машин, которые вам не принадлежат. Роботизированные автомобили, которые вы сможете вызвать в любой момент.

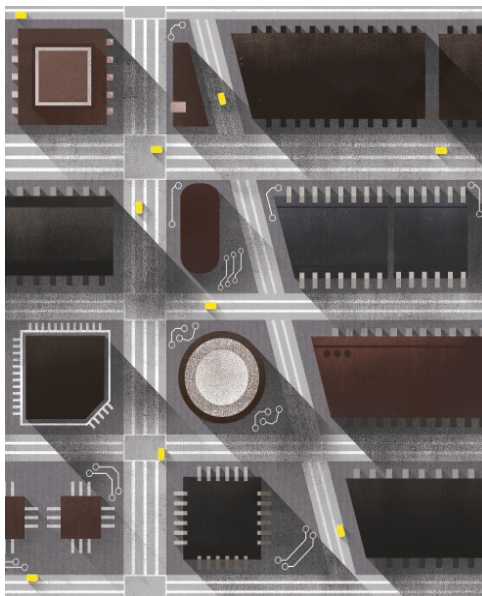
Некоторые крупнейшие корпорации вкладывают колоссальные средства в воплощение этой мечты. В феврале 2015 г. международная компания *Uber* «совершила налет» на высокотехнологичный отдел робототехники Университета Карнеги — Меллона, пригласив на работу 40 ведущих его специалистов.

В январе корпорация *General Motors* выделила \$0,5 млрд частной компании *Lyft*, конкуренту *Uber*, на разработку ее собственных беспилотных автомобилей «по вызову», а два месяца спустя — еще более крупную сумму в \$1 млрд на покупку небольшой стартап-компании *Cruise Automation*, специализирующейся на разработке систем автономного вождения. *Ford* и *Google* планируют создать совместное предприятие с аналогичными целями.

Появление самоуправляющихся автомобилей — это настоящая революция в автоиндустрии. А что можно сказать о беспилотных авто

по вызову? Связанные с ними изменения будут настолько масштабными, быстрыми и всеохватными, что об обычном транспорте, который практически не изменится, во всяком случае в лучшую сторону, говорить станет неинтересно.

С появлением возможности совершать за небольшие деньги поездки на робокарах по существу отпадет необходимость в личных автомобилях. Вам просто незачем покупать собственную машину, обслуживать ее и заправлять. Вы больше никуда



не опоздаете, поскольку вам не придется очищать ветровое стекло от снега или махать лопатой, чтобы выехать со двора.

Сев в робокар, вам не нужно будет ждать, пока он прогреется зимой или в салоне станет прохладно жарким летом. Не нужно будет заботиться о месте для парковки; вы просто выйдете из машины у места назначения, и она сама уедет.

Все инструкции, направленные на предотвращение нарушений правил дорожного движения, — ограничения скорости, штрафы за ее превышение, ограждения на разделительных полосах, даже автостраховка — могут оказаться лишними.

Точно так же отпадет необходимость в автошколах и водительских правах. Двенадцатилетние подростки смогут самостоятельно добираться домой с вечеринки, где иначе им пришлось бы остаться до утра. И станет не так важно, что вы (или ваши родители) слишком стары или просто устали и не в состоянии сесть за руль; миллионы прикованных к дому больных американцев в одночасье получают возможность ездить, куда захотят.

Вождение в пьяном виде? Это больше не проблема: если вы не собираетесь вести машину, пейте сколько влезет! Чувствуете, что вас клонит ко сну

в долгой дороге? Ваш робокар будет мчать вас хоть днем, хоть ночью, пока вы дремлете.

Конечно, остается множество вопросов и тонкостей, которые еще придется урегулировать (см. статью Стивена Шлэдовера «Правда о "самоходных" автомобилях» на с. 32). Некоторые из них технического порядка: большинство нынешних беспилотных автомобилей «сбивает с толку» снегопад, а еще они не понимают жестов регулировщика движения. Другие, менее актуальные сегодня, тоже очень важны: например, смогут ли роботакси противостоять атакам хакеров? Если они станут причиной ДТП, кто понесет ответственность — владелец, автопроизводитель или компания, разработавшая программное обеспечение?

Если вам больше нравится водить машину самому, можете спокойно продолжать это делать. Некоторые эксперты прогнозируют, что в ближайшие пять лет самоуправляющиеся автомобили в том или ином виде станут основным видом транспорта на дорогах общего пользования. Пора готовиться к новой эре — эре автомобилей-беспилотников, и свернуть с этого пути уже слишком поздно. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

К 90-летию академика Д.Г. Кнорре:

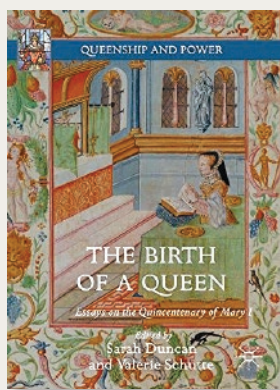
«В лаборатории Кнорре считалось хорошим тоном приходиться на работу в выходные дни. Я и сейчас продолжаю эту традицию и знаю, что, когда в очередной раз приду в институт в воскресенье, то, как обычно, встречу там Дмитрия Георгиевича» (чл.-кор. О. И. Лаврик)

Причиной крупнейших в истории Земли суперизвержений стала глубинная миграция воды

В местах выхода потоков флюидов нефти и газа на дне Байкала обитают микроорганизмы-пришельцы, чей необычный метаболизм сформировался в многокилометровой толще осадков озера в условиях высоких температур, давления и практически полного отсутствия кислорода

Установленная в лабораторных условиях способность микроорганизмов осадочной толщи Байкала синтезировать ретен, ранее считавшийся исключительно биомаркером хвойных растений, добавила этот ароматический углеводород к списку биомаркеров «молодой» байкальской нефти

www.scfh.ru



**Сара Дункан и Вале-
ри Шутте. Рождение ко-
ролевы. К 500-летию
со дня рождения Марии I
Тюдор (Sarah Duncan,
Valerie Schutte. *The Birth
of a Queen. Essays on the
Quincentenary of Mary I*)**

Книга профессора Акрон-ского университета Вале-ри Шутте и доцента Колледжа Спринг-Хилл

Сары Дункан, вышедшая в рамках серии «Королевы и власть», посвящена Марии I Тюдор (18.02.1516–17.11.1558), старшей дочери Генриха VIII, первой королевой Англии. На родине ей не поставили ни одного памятника, ее имя стало символом борьбы против Реформации. День ее смерти (и одновременно восшествия на престол ее сестры Елизаветы I) отмечали в стране как национальный праздник. Посвятив свою работу 500-летию со дня ее рождения, авторы стремятся пересмотреть устоявшиеся стереотипы, показать, что Мария — первая царствующая королева Англии — прошла нелегкий путь становления, успехов и неудач. После правления Генриха VIII, объявившего себя главой англиканской церкви и отлученного папой римским от католичества, в стране было разрушено больше половины католических храмов и монастырей. Вдобавок его приближенные разворовали казну, так что на долю Марии выпала сложная задача. Ей досталась бедная страна, которую необходимо было возрождать из нищеты. Понимая, что в одиночку она бессильна, Мария прилизила к себе тех, кто был в состоянии помочь ей в управлении страной. Однако она начала восстановление непопулярной в народе католической веры, реконструкцию монастырей. Чтобы подавить недовольство, ей пришлось перейти к силовым мерам. Вот почему на период ее правления пришлось так много казней протестантов.

Летом 1554 г. Мария вышла замуж за Филиппа, сына Карла V. Он был на 12 лет моложе своей жены. По брачному договору Филипп не имел права вмешиваться в управление государством, но дети, рожденные от этого брака, становились наследниками

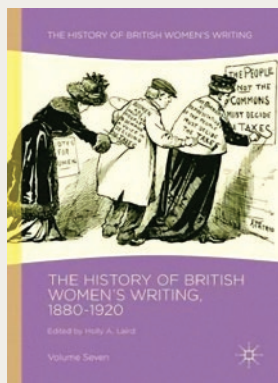
английского трона. Именно в это время Мария смогла собрать группу единомышленников и начала свои преобразования. Но детей у нее не было. К тому же осенью 1558 г. Мария заболела смертельной лихорадкой. Понимая, что ее дни сочтены, она подписала завещание, в котором, озабоченная интересами страны, передала трон своей сестре Елизавете. Авторы эссе не стремятся ни обелить, ни приукрасить прошлое, их метод — преподнести факты, а выводы пусть делает читатель.



**Елена Вудакар и Кэри
Флейнер. Добродетель-
ная мать или негодяйка?
Образ королевы-матери
от начала Средневековья
до раннего Нового
времени (Carey Fleiner,
Elena Woodacre. *Virtuous
or Villainess? The Image of
the Royal Mother from the
Early Medieval to the Early
Modern Era*)**

Книга профессора Уинчестерского университета Кэри Флейнер и ее аспирантки Елены Вудакар посвящена одному из наиболее интересных и неоднозначных образов европейской истории — королеве-матери. Каждая глава представляет собой законченное эссе, рассказывающее об определенном историческом персонаже. Авторы не перегружают текст историческими подробностями, считая, что их читатель достаточно искушен, чтобы уловить главную сюжетную мысль и понять смысл аллюзий. Они показывают, что во все времена королева-мать должна была противостоять многочисленным предрассудкам и опровергать устоявшиеся стереотипы. Важно, что во всех эссе авторы опираются на мемуарную литературу, которой отдают явное предпочтение перед сочинениями историков. Такой подход позволяет продемонстрировать, что и в Средние века, и в последующие эпохи общественным сознанием владело представление о королеве исключительно как о «тени своего мужа». Именно этот образ и опровергало подавляющее большинство тех, кто силой обстоятельств должен был носить титул «королева-

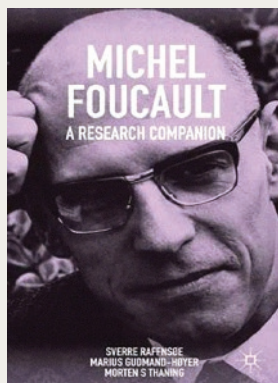
мать». Не вступая в соперничество со своими правящими детьми, они играли уникальную, часто важную и сложную роль как внутри монархии, так и в круговороте европейской истории.



Холли Лейрд. История англоязычной женской литературы. Т. 7. 1880–1920 гг. (Holly Laird. *The History of British Women's Writing, 1880–1920. Vol. 7*)

Книга профессора, руководителя программы гендерных исследований Университета Талсы (США) продолжает се-

рию трудов, которая более десяти лет выходит в издательстве *Palgrave Macmillan*. Настоящий том посвящен периоду, в который произошли значительные преобразования литературных жанров в прозе и поэзии. Проявления новизны, отразившиеся в названиях глав: «Новые женщины», «Новое профсоюзное движение», «Новый империализм», «Новая этика», «Новые критики», «Новая журналистика», «Новый человек», — определяют лицо этого процесса. Авторы разделов показывают новые социальные явления периода и отслеживают их проявления в литературе, например в становлении современных способов письма. В 21 эссе охвачен материал не только Британии и стран Содружества, но и США. Интересны главы об англоязычной литературе Канады, а также прослеженные авторами связи между викторианской и современной литературой, культурой и теорией.

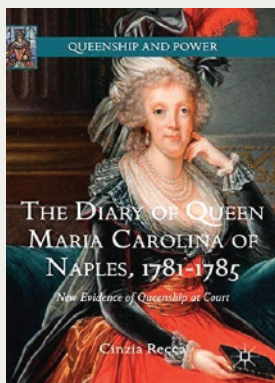


Мариус Гудманд-Хойер, Сверре Раффнсе и Мортен Таннинг. Мишель Фуко: справочник исследователя (Sverre Raffnsøe, Morten Thanning, Marius Gudmand-Hoyer. *Michel Foucault: A Research Companion*)

Эта книга — не биография ученого и не анализ его главнейших трудов,

а своеобразный гид по творчеству Мишеля Фуко (1926–1984). Поводом к ее написанию стала недавняя публикация лекций, которые Фуко читал студентам Коллеж де Франс, открывшая наконец двери во внутренний мир ученого и позволившая осмыслить его наследие как единое целое, несмотря на то что области, в которых он работал, достаточ-

но разнообразны — от социологии до истории медицины. Основная часть посвящена научному аппарату, которым пользовался исследователь, и тем понятиям, которые он ввел в научный оборот. Поскольку теперь уже мало кто сомневается, что Мишель Фуко — один из самых влиятельных умов XX в. в пределах гуманитарных и общественных наук, книга будет полезна всем гуманитариям. К осмыслению научного аппарата авторы справочника добавили характеристику ключевых работ ученого с точки зрения их преемственности. Они стремились не столько показать своеобразие каждой его книги, сколько раскрыть их внутренние взаимосвязи. Именно этот аспект предложил сам Фуко в своих лекциях. Он понимал, что разнообразие материала требует особого подхода, ибо результатом его работы всегда оставались философские проблемы.



Чинция Рекка. Дневники Марии Каролины, королевы неаполитанской, 1781–1785 гг. (Cinzia Recca. *The Diary of Queen Maria Carolina of Naples, 1781–1785*)

Доцент Катанийского университета Чинция Рекка предлагает читателю комментированное издание дневников и до-

кументальный рассказ о четырех важнейших годах в жизни Марии Каролины, королевы неаполитанской (1752–1814), сестры французской королевы Марии Антуанетты. В период революционных и наполеоновских войн она отстранила своего супруга Фердинанда IV от управления страной.

В соответствии с замыслом серии «Королевы и власть» работа Рекки предлагает новый взгляд на королеву неаполитанскую как на женщину со своими слабостями и устремлениями. Опираясь на многочисленные воспоминания и письма участников событий, она анализирует действия Марии Каролины и показывает ее повседневные заботы. Она отдает должное ее личным качествам, в первую очередь аналитическому уму, не скрывает промахов и удач. Рекка применяет интересный прием — монтаж дневника и писем разных лиц, составляющих своего рода диалоги, а иногда и полилог. Она прослеживает, как постепенно шаг за шагом королева усиливала свое политическое влияние. Еще один план — сопоставление с работами позднейших историков, которые нередко были склонны дискредитировать суверена по личным, а не политическим причинам. ■

Подготовила Татьяна Колядич

Оформить подписку/заказ на журнал «В мире науки» через редакцию

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.
2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.
3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:
 - по адресу: 119991, г. Москва, ГСП-1 Ленинские горы, д. 1, к. 46, офис 138, редакция журнала «В мире науки»;
 - по электронной почте: podpiska@sciam.ru, info@sciam.ru;
 - по факсу: +7 (495) 939-42-66

Стоимость подписки на первое полугодие 2016 г. составит:

Для физических лиц: **1380 руб.** — доставка заказной бандеролью*.

Для юридических лиц: **1500 руб.**

Стоимость одного номера журнала: за 2014 г. — **100 руб.**, за 2015 г. — **120 руб.**, за 2016 г. — **130 руб.**

(без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **100 руб.** заказной бандеролью, **70 руб.** — простым письмом.

Бланк подписки на журнал размещен на сайте www.sciam.ru.

Уважаемые подписчики! После подтверждения платежа вы будете получать журнал ежемесячно с доставкой в отделение почтовой связи.

* Если ваша заявка о подписке получена до 10-го числа месяца, то начиная со следующего месяца с почты вам начнут приходить уведомления о заказной бандероли. Такая система доставки журналов гарантирует 100%-ное получение. За доставку простой бандеролью редакция ответственности не несет.

Бланк заказа номеров журнала

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016 г.	объединенный выпуск				объединенный выпуск			объединенный выпуск				
2015 г.					объединенный выпуск			объединенный выпуск				
2014 г.								объединенный выпуск				

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют.

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Платательщик _____

Платательщик _____

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Платательщик _____

Платательщик _____

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

В почтовых отделениях по каталогам:

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

Подписка по РФ и странам СНГ:

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

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

Senior Vice President and Editor in Chief:

Mariette DiChristina

Executive Editor:

Fred Guterl

Managing Editor:

Ricki L. Rusting

Managing Editor, Online:

Philip M. Yam

Design Director:

Michael Mrak

News Editor:

Robin Lloyd

Senior Editors:

Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment,
Michael Moyer, George Musser, Gary Stix, Kate Wong

Associate Editors:

David Biello, Larry Greenemeier, Katherine Harmon,
Ferris Jabr, John Matson

Podcast Editor:

Steve Mirsky

Contributing editors:

Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi,
Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna,
John Rennie, Sarah Simpson

Art director:

Ian Brown

President:

Steven Inchcoombe

Executive Vice President:

Michael Florek

Vice President and Associate Publisher,

Marketing and Business Development:

Michael Voss

Vice President, Digital Solutions:

Wendy Elman

Adviser, Publishing and Business Development:

Bruce Brandfon

© 2016 by Scientific American, Inc.

Читайте в следующем номере:

Самое пустое место в космосе

В космическом микроволновом фоновом излучении — реликтовом свете, равномерно заполняющем Вселенную, — обнаружено странное «холодное пятно», где фотоны излучения значительно менее теплы, чем в среднем. Одно из возможных объяснений этого феномена — теоретически существующее в том же месте, где и «холодное пятно», огромное пустое (то есть содержащее крайне мало материи) пространство. Недавно астрономы действительно обнаружили там суперпустоту, простирающуюся на 1,8 млрд световых лет. Для того чтобы определить, она ли ответственна за «похолодание» в реликтовом излучении, необходимо больше данных.

Проверка здоровья человечества

Разрабатывается глобальная и подробная суперкомпьютерная модель состояния здоровья людей по всему миру. Ее создание поможет достичь большего прогресса в решении множества проблем здравоохранения.

Специальный репортаж: образование

Программное заявление

Призыв посвятить себя информатике, обращенный к учащимся, звучит все громче отовсюду — от Кремниевой долины до Белого дома. Должны ли американские школы работать под девизом «Программирование для всех?»

Семь лет пути за 60 граммами астероида

Межпланетная станция OSIRIS-REx в своем путешествии к астероиду Бенну прольет новый свет и на глубокое прошлое, и на далекое будущее.

Секрет скорости

Новые прорывы в исследовании биомеханики спринтерской скорости могут помочь атлетам значительно улучшить свои олимпийские достижения.

Нейробиология зомбирования

Ученые выяснили, каким образом яд, впрыснутый маленькой осой, делает таракана ее марионеткой — и прекрасным запасом продовольствия для ее потомства.



Парадокс Хантингтона

Ген, становящийся причиной тяжелого нейродегенеративного заболевания, возможно, сыграл когда-то важную роль в эволюции человека. Исследователи восстановили его историю и обнаружили, что он появился более миллиарда лет назад и участвовал в развитии нервной системы.

РОБОТОТЕХНИКА

Как научить
робота ходить?

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Нефть, газ
и землетрясения

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Слежка
за тигром

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

8/9 2016

12+



Польза мозгу от игры

Стрельба в зомби —
не бездумная забава, а полезное
упражнение для нашего ума