

БУДУЩЕЕ НАУКИ В XXI ВЕКЕ

Следующие пятьдесят лет

	$\overset{\text{C21}}{\text{N}}_{50}$		$\overset{\text{C21}}{\text{A}}_{50}$	
		$\overset{\text{C21}}{\text{7}}_{20}$	$\overset{\text{C21}}{\text{0}}_{50}$	$\overset{\text{C21}}{\text{E0}}_{10}$
$\overset{\text{C21}}{\text{2}}_{30}$	$\overset{\text{C21}}{\text{A}}_{40}$		$\overset{\text{C21}}{\text{B}}_{20}$	
	$\overset{\text{C21}}{\text{A}}_{20}$	$\overset{\text{C21}}{\text{0}}_{50}$		
		$\overset{\text{C21}}{\text{1}}_{10}$	$\overset{\text{C21}}{\text{0}}_{50}$	

Под редакцией Джона Брокмана

Увеличьте ценность книги. Читайте ее интереснее, чем любую научную фантастику!

«New York Times»

БУДУЩЕЕ НАУКИ В XXI ВЕКЕ

Следующие пятьдесят лет

Под редакцией Джона Брокмана


АССОЦИАЦИЯ
МОСКВА

УДК 001
ББК 2
Б90

THE NEXT FIFTY YEARS
Edited by John Brockman

Перевод с английского Ю.В. Букановой

Компьютерный дизайн Г.В. Смирновой

Печатается с разрешения составителя и литературного агентства
Brockman, Inc.

Подписано в печать 17.04.08. Формат 84x108¹/₃₂.
Усл. печ. л. 13,44. Тираж 3 000 экз. Заказ № 8207.

**Будущее науки в XXI веке. Следующие пятьдесят лет / под ред.
Б90 Джона Брокмана; пер. с англ. Ю.В. Букановой. — М.: АСТ: АСТ
МОСКВА, 2008. — 255, [1] с.**

ISBN 978-5-17-049137-7 (ООО «Издательство АСТ»)

ISBN 978-5-9713-8252-2 (ООО Издательство «АСТ МОСКВА»)

За последние пятьдесят лет наука совершила настоящий прорыв.

Освоение космоса и клонирование, Интернет, нанотехнологии и открытие планет за пределами Солнечной системы уже стали для нас реальностью.

Но мир меняется все стремительнее.

Какие же научные прорывы ожидают нас в ближайшее время?

На этот вопрос в простой и необыкновенно увлекательной форме отвечают знаменитые физики и генетики, математики и кибернетики, биологи и психологи, а также специалисты по проблемам искусственного интеллекта.

УДК 001
ББК 2

© John Brockman, 2002

© Перевод. Ю.В. Буканова, 2008

© ООО Издательство «АСТ МОСКВА», 2008

Моему сыну, Макс Брокману

Содержание

От составителя.....	10
---------------------	----

Часть I. Будущее в теории

Ли Смолин. Будущее Вселенной	15
Мартин Рис. Загадки космологии: одиноки ли мы во Вселенной?	27
Ян Стюарт. Математика 2050 года	37
Брайан Гудвин. В тени культуры	47
Марк Д. Хаузер. Пересаженный разум	55
Элисон Гопник. Чему дети научат ученых.....	63
Пауль Блум. К теории морального развития	73
Джеффри Миллер. Наука о тонкостях.....	81
Михай Чиксентмихайи. Будущее счастья	87
Роберт Сапольски. Будем ли мы через пятьдесят лет так же печальны?.....	95
Стивен Строгац. «Маленькое открытие» Ферми и будущее теории хаоса и сложности	102
Стюарт Кауфман. Что такое жизнь?	112

Часть II. Будущее на практике

Ричард Докинз. Сын закона Мура.....	127
Пол Дэвис. Был ли второй генезис?	139
Джон Х. Холланд. Что произойдет и как это предсказать	148
Родни Брукс. Объединение плоти и машин.....	159
Питер Эткинс. Будущее материи	167
Роджер К. Шенк. Станем ли мы умнее?.....	176

Джерон Ланье. Потолок сложности	184
Дэвид Гелернтер. Стучась в «поток»	195
Джозеф Ледукс. Разум, мозг и личность.....	206
Джудит Рич Харрис. Что делает нас такими, какие мы есть: взгляд из 2050 года.....	215
Сэмюэл Барондес. Лекарства, ДНК и кушетка психоаналитика.....	225
Нэнси Эткофф. Сканирование мозга, мобильные устройства и короткие встречи.....	233
Пол У. Эвальд. Побеждая болезни	244

Благодарности

Марти Ашер, издатель «Винтаж букс», предложил мне составить сборник очерков, посвященных прогнозам ученых на ближайшие пятьдесят лет. Я благодарю его за это предложение и оказанную поддержку. Я также очень благодарен Саре Липпинкотт за помощь в редактировании книги.

От составителя

В 1991 году я опубликовал очерк под названием «Третья культура», в котором написал о том, что «ученые занимают место традиционной интеллигенции, ибо вскрывают глубинные пласты нашей жизни и определяют, кто мы такие и что собой представляем».

Наука — это всегда великие новости, ибо именно ученые ставят великие вопросы. В наше время ученые стали новой общественной силой и породили новую общественную культуру.

Представленные здесь очерки не являются беспочвенными дискуссиями представителей старых интеллектуальных течений. Работы этой группы ученых фокусируются на тех областях, которые влияют на жизнь каждого человека на планете. Вспомните, с какой охотой обсуждаются в прессе такие проблемы, как использование стволовых клеток, клонирование, расшифровка генома человека, создание искусственного интеллекта, квантового компьютера, существование жизни на других планетах. Работа над этими темами неизбежно затрагивает несколько дисциплин. Одной из причин повышенного интереса к научной литературе в последние десять лет является то, что теперь ученые вынуждены писать так, чтобы их понимали коллеги из смежных областей. От этого выигрывают и обычные читатели, интересующиеся актуальными проблемами современности.

В современной культуре ученые отнюдь не занимаются популяризацией научных идей. В первую очередь они стремятся обсудить с коллегами из других областей знания живо интересующие темы, а уж потом просветить всех желающих.

Я вовсе не утверждаю, что авторы очерков предлагают более верные решения насущных проблем, чем какой-нибудь обыватель. Просто есть существенная разница в качестве поднимаемых вопросов.

Предметом и отправной точкой данных очерков являются «следующие пятьдесят лет». Каждый автор пишет о проблемах в своей области. Как научные достижения следующей половины века изменят наш мир? Каково будет место человека в природе? В каком направлении пойдут разные отрасли науки и как это повлияет на смежные дисциплины? Какие из нынешних прогнозов сбудутся и какие возможны сюрпризы?

Помешенные здесь очерки я бы назвал интеллектуальными приключениями. Они написаны специалистами, которые имеют много научных публикаций и не раз выступали со статьями для широкой аудитории. Это биологи Ричард Докинз, Пол У. Эвальд, Брайан Гудвин, Стюарт Кауфман и Роберт Сапольски; химик Питер Эткинс; психологи Пауль Блум, Михай Чиксентмихайи, Нэнси Эткофф, Элисон Гопник, Джудит Рич Харрис и Джеффри Миллер; психолог и кибернетик Джон Х. Холланд; психолог и специалист по искусственному интеллекту Роджер К. Шенк; нейробиологи Сэмюэл Барондес, Марк Д. Хаузер и Джозеф Ледукс; ученые-кибернетики Дэвид Гелернтер и Джерон Ланье; руководитель лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института Родни Брукс; математики Ян Стюарт и Стивен Строгац; астроном Мартин Рис и физики-теоретики Пол Дэвис и Ли Смолин.

Первая часть книги посвящена теоретическим рассуждениям. Среди обсуждаемых тем: достижения в астрономии; использование виртуальных систем для решения математических задач; новые направления в теории сложности. Уче-

ные размышляют над тем, что значит «быть живым», как мы обучаемся, как мы думаем, какова природа нашего сознания, как мы чувствуем и одиноки ли мы во Вселенной.

Вторая часть посвящена конкретным вопросам. Обсуждаются такие темы, как перспективы секвенирования, исследование Марса и поиски внеземной жизни; возможности управлять материей; наши взаимоотношения с машинами, и в частности с компьютерами; будущее виртуального пространства, развитие нейронаук и методы воспитания детей; физическое и психическое благополучие человека.

Мы наблюдаем стремительные изменения в себе и окружающей среде. Мы используем новые, беспрецедентно мощные инструменты, и, как сказал биолог Дж. З. Янг из Оксфорда, сами постепенно превращаемся в них. Чего нам до недавнего времени не хватало, так это культуры, способной трансформироваться так же быстро, как мы сами трансформируемся под влиянием новых технологий.

Настоящая книга участвует в создании такой культуры. Здесь соединяются практика и теория познания, здесь мы начинаем переосмысливать собственную природу и мир, в котором живем. Такой целостный подход присущ авторам этой книги.

*Джон Брокман
Нью-Йорк-Сити,
сентябрь 2001 года*

Часть I
БУДУЩЕЕ В ТЕОРИИ

Ли Смолин*



БУДУЩЕЕ ВСЕЛЕННОЙ

Пятьдесят лет — это большой период, если учесть скорость развития физики и космологии за последние несколько сотен лет. Но на такой период вполне возможно сделать предсказания, которые не покажутся нашим потомкам слишком глупыми. Если мы оглянемся на историю науки, то заметим, что часто важные вопросы разрешались через пятьдесят лет после их возникновения. Язык же обновляется гораздо медленнее, поэтому ученые пользуются теми же терминами, что и их давнишние коллеги.

Давайте вернемся на пятьдесят лет назад и посмотрим, какие важные вопросы были тогда поставлены.

1. Какова природа сильных взаимодействий, удерживающих вместе нуклоны атомного ядра?
2. Какова природа слабых взаимодействий, ответственных за радиоактивный распад?
3. Верна ли стационарная модель Вселенной, или произошел Большой взрыв, как это предполагает Гамов?
4. Имеют ли протоны и нейтроны внутреннюю структуру?

* Ли Смолин — физик-теоретик. Основатель и научный сотрудник Института теоретической физики «Периметр» в Ватерлоо (Онтарио). Автор книг «Жизнь космоса» и «Три дороги к квантовой гравитации».

5. Почему массы протона и нейтрона различаются лишь слегка, в то время как электрон намного их легче? Почему нейтрино не имеет массы? Что собой представляют мюоны и откуда они берутся?
6. Как соотносятся общая теория относительности и квантовая теория?
7. Как следует понимать квантовую теорию?

Сегодня мы знаем ответы на первые четыре вопроса, над решением остальных продолжаем биться. Но и решенные вопросы не забыты — методы, с помощью которых были получены ответы, служат базисом для подготовки современных физиков-теоретиков.

Если вернуться на сто лет назад, то можно обнаружить, что многие проблемы, волновавшие людей, сегодня потеряли актуальность. Я недостаточно силен в истории, чтобы составить список вопросов, решением которых занимались ученые в начале прошлого века, но смею утверждать: физиков гораздо больше интересовали свойства эфира, чем свойства атома. В 1900 году одни физики попросту верили, что молекула неделима, другие, подобно Эрнсту Маху, полагали, что эта проблема не имеет отношения к физике, так как атомы нельзя увидеть. Что же касается астрономии, то в 1900 году считалось, что не существует никаких иных галактик, кроме нашего Млечного Пути, и никто не представлял, почему звезды светятся. Физики, жившие и творившие в начале века, не поняли бы даже терминов, которыми в 1950-х годах обмениваются их коллеги.

Научный прогресс развивается неравномерно. Иногда он идет очень медленно, и угадать, что станет известно через пятьдесят лет, не слишком сложно. А порой открытия следуют одно за другим, и всякие предсказания теряют смысл. Где-то в районе пятидесяти — ста лет имеется некий барьер, за который заглядывать бесполезно, все равно ничего не увидишь.

Давайте обсудим, почему так происходит. Одной из возможных причин является то, что пятьдесят лет примерно соответствуют длительности карьеры ученого, если считать от начала его обучения и до выхода на пенсию. В течение этого времени работу ученого сдерживают консервативные тенденции, присущие научной карьере. Ученый предпочитает заниматься чужими гипотезами и использовать апробированные методики. Он сворачивает с проторенного пути лишь при наличии очень веских причин. Еще один фактор заключается в том, что карьеру молодого ученого частенько контролирует коллега, приближающийся к пенсионному возрасту, отходящий от дел и незнакомый с новыми технологиями. Начинающий исследователь опасается работать над темой, которую не понимает именитый наставник. Поэтому, чтобы представить себе грядущие изменения в физике, я попытаюсь вообразить, о чем будут говорить мои лучшие аспиранты при выходе на пенсию. Думаю, что терминология останется прежней, если только они получают данные, которые заставят их произвести переворот, сравнимый с революцией начала двадцатого века. В таком случае написание этой статьи пойдет им на пользу. Но мне почему-то кажется, что романтически настроенные коллеги скорее будут надеяться на появление чужих идей, чем на подтверждение собственных предположений.

Можно также порассуждать о том, почему социология науки в первой половине двадцатого века сделала мощный рывок. На ум приходит следующее. Во-первых, такие аутсайдеры, как Альберт Эйнштейн и Пауль Эренфест, имели доступ к печати, хотя не преподавали в университетах, во-вторых, поколение, предшествовавшее разработчикам квантовой теории, было уничтожено во время Первой мировой войны, что освободило место для Гейзенберга, Дирака и им подобных.

Но вернемся к фундаментальной физике и космологии. Что они преподнесут нам через пятьдесят лет? Для начала составим список наиболее актуальных вопросов, затем об-

судим, какие изобретения позволят на них ответить. Обсуждать развитие теоретической науки, на мой взгляд, ни к чему. Ответы на все заявленные вопросы уже предложены, через пятьдесят лет нам останется лишь откорректировать свои гипотезы или выдумать новые в соответствии с полученной информацией.

Вот список самых важных вопросов, стоящих сегодня перед фундаментальной физикой и космологией.

1. Верна ли квантовая теория, или ее нужно изменить для более осмысленной физической интерпретации или для объединения с теорией относительности и космологией?
2. Какова квантовая теория гравитаций? Какова структура пространства и времени в масштабах шкалы Планка (10^{-33} см, что в двадцать раз меньше атомного ядра)?
3. Чем объясняются точные значения параметров, определяющих свойства элементарных частиц, включая их массы и силы взаимодействия?
4. Чем объясняется огромное количество элементарных частиц? Почему силы притяжения между двумя протонами в 10^{40} меньше силы их электростатического отталкивания? Почему Вселенная столь велика? Почему она по крайности в 10^{60} превышает фундаментальную шкалу Планка? Почему космологические константы меньше любых других сходных физических параметров?
5. Что собой представлял Большой взрыв? Что определило свойства образовавшейся Вселенной? Положил ли Большой взрыв начало Вселенной, а если нет, то что было до него?
6. Что такое темная материя и темная энергия, на долю которых приходится от 80 до 95 процентов плотности Вселенной?
7. Как сформировались галактики? Что они представляли на ранних этапах развития?

Первые четыре вопроса являются продолжением и углублением вопросов, поставленных пятьдесят лет назад, прочие возникли недавно. Давайте подумаем, удастся ли до 2050 года разработать методики, которые позволят проверить правильность теоретических выкладок.

Конечно, за полвека может быть изобретено что угодно. И все-таки для реального прогноза лучше обратиться к уже существующим технологиям, в том числе к тем, что, по мнению большинства специалистов, начнут применяться в ближайшем периоде. Несомненно, через пятьдесят лет эти технологии будут усовершенствованы настолько, насколько возможно в рамках физических и экономических законов. Обычный микроскоп имеет естественные ограничения, связанные с длиной световой волны, а телескоп — ограничения, связанные со скоростью света во Вселенной. Следовательно, эксперименты, в которых задействованы данные приборы, вряд ли принесут что-либо принципиально новое. Другие технологии сильно зависят от финансовой составляющей. Смею утверждать, что опыты, стоимость которых превышает военный бюджет Соединенных Штатов, проводиться не будут. Спешу добавить, что не являюсь специалистом в экспериментальной физике, поэтому даю самые общие оценки.

Перейдем к области, знакомой мне не понаслышке. В настоящее время разрабатывается методика, позволяющая расширить диапазон экспериментальных режимов для проверки тех положений квантовой теории, которые идут вразрез с классическими представлениями. Я имею в виду создание квантового компьютера — устройства, основанного на принципе суперпозиции и эффекте сцепления, способное производить вычисления, недоступные обычной машине. Для создания подобного компьютера необходимо заставить квантовые эффекты работать на макроскопическом уровне, то есть в электросхемах.

Было доказано, что квантовому компьютеру по силам расшифровать код любой сложности, поэтому на его разработку выделяются большие деньги. Не исключено, что в

ближайшие пятьдесят лет квантовый компьютер из мечты превратится в реальность. Появятся и квантовые коммуникаторы. В том случае, если современная квантовая теория является лишь приближением к действительности, квантовые компьютеры скорее всего это покажут. Таким образом, весьма возможно, что к концу века мы ответим на первый вопрос.

Теперь поговорим о космологии. К середине века мы наверняка получим подробную картину истории Вселенной на основе наблюдений с использованием всего спектра электромагнитных излучений плюс нейтрино, космические лучи и гравитационные волны. Параметры наших современных космологических моделей будут измерены с высокой точностью, и мы узнаем много новых фактов о Вселенной — например, количество черных дыр, распределение в пространстве и времени звезд, галактик, черных дыр, нейтронных звезд, квазаров, гамма-барстеров и других объектов. Мы, вероятно, узнаем больше и о свойствах Вселенной и почувствуем себя в ней поистине как дома.

Новые данные сильно повлияют на наши представления о «детстве» Вселенной, подтвердят или опровергнут гипотезу о ее расширении. Мы выясним, как формируются галактики, галактические кластеры и суперкластеры. Без сомнения, приумножатся версии относительно природы темной материи и темной энергии, даже если по-прежнему прямое наблюдение за этими феноменами будет недоступно.

Вы спросите: «Как насчет теории Большого взрыва?» Чтобы дать ответ, нужно объяснить разницу между двумя трактовками этого события. Первая, которую я называю «космологией расширяющейся Вселенной», утверждает, что вначале Вселенная имела очень большую плотность и очень высокую температуру и что в течение вот уже тринадцати миллиардов лет она непрерывно расширяется. Ключевым моментом в этой истории служит разделение света и материи, когда Вселенная остыла настолько, что атомы стабилизировались. А за миллион лет до того она существовала в

состоянии плазмы, как звезда. После фазового перехода во Вселенной появился чрезвычайно разряженный газ, пропускающий световые волны, и возникли структуры, которые мы сегодня видим, — звезды, планеты, галактики и галактические кластеры. Почти все химические элементы образовались после фазового перехода. Раньше присутствовали только гелий и легкие элементы, вроде дейтерия и лития. Я не думаю, что в ближайшие пятьдесят лет изменятся основные положения этой теории. Тем не менее мы узнаем много нового о процессах формирования звезд, галактик и элементов.

Можно с уверенностью сказать, что мы получим факты, которые позволят уточнить теорию о том, что было задолго до Большого взрыва. Интересно, насколько далеко назад нам удастся заглянуть. К середине века мы, вероятно, сумеем вернуться ко времени Планка — это столь малый период, что если его увеличить в 10^{43} раз, то он уместится всего в 1 секунду. Возьмем, например, гипотезу расширения Вселенной. С определенными разумными допущениями можно проверить прогнозы, вытекающие из этой теории, наблюдая за колебаниями космического фонового излучения. С подобными наблюдениями связаны самые значительные успехи последних лет. Но даже если новые факты подтвердят теорию расширения Вселенной, останется много вопросов. Эта теория довольно проста, поэтому потребуются тщательные измерения, чтобы отделить ее от других объяснений полученных фактов. Кроме того, есть много разных версий расширения, придется каждую пересматривать. Мы очень надеемся уточнить параметры космического фонового излучения не через пятьдесят лет, а уже через пять. Думаю, к середине века теория расширения Вселенной будет подтверждена детальными измерениями и расчетами от настоящего момента до времени Планка.

Но время Планка все же не является началом времен. Существуют гипотезы, сильно отличающиеся от теории космического расширения. Согласно им, Большой взрыв был

абсолютным началом Вселенной. Я называю такого рода гипотезы «теориями начала мира». На мой взгляд, они совместимы с теорией расширения, а значит, и со всеми известными сегодня фактами. Некоторые из этих теорий, в частности волновая функция Вселенной Хартла — Хокинга, предполагают, что Большой взрыв действительно был началом времен. Другие гипотезы утверждают, что новые миры рождаются в результате коллапса черных дыр. Третьи доказывают, что наша Вселенная существовала и до Большого взрыва, что взрыв лишь определил ее свойства. Возможно (но совсем не обязательно), появятся факты, подтверждающие какую-либо из этих теорий. Не исключено, что точку в многолетних спорах поставят гравитационные волны. В начале своего существования Вселенная была непроницаема для всех форм излучения, кроме них. Раздел астрономии, изучающий гравитационные волны, сейчас находится в стадии развития, и пока подобный вид излучения зарегистрировать никому не удалось. Есть предложения использовать космические детекторы гравитационных волн, чтобы воссоздать облик Вселенной во время Планка и решить, какая из теорий о происхождении Вселенной верна. Хочется верить, что соответствующие технологии к середине века будут разработаны.

Теперь давайте обратимся к физике элементарных частиц. Здесь все упирается в экономику. Без революционного прорыва в технологии создание ускорителей, намного превосходящих современные, будет стоить миллиарды долларов, так что их делать никто не станет. Проблема заключается в том, что между энергией и стоимостью имеется логарифмическая зависимость: увеличение энергии в десятки раз требует увеличения бюджета в сотни раз. Поэтому смею полагать, что через пятьдесят лет при отсутствии новых технологий в нашем распоряжении будут ускорители, мало чем отличающиеся от нынешних. Но даже такое скромное достижение приведет к открытию, например, бозона Хиггса. Считается, что эта частица способствует образованию массы

элементарных частиц. Мы также сможем подтвердить или опровергнуть гипотезу о суперсимметрии, ключевую в теории струн. Все это очень важно, однако вряд ли позволит проверить квантовую теорию гравитации. Неужели положение столь безнадежно?

Надеюсь, что нет! Новые технологии сделают возможным изучение шкалы Планка. Некоторые квантовые теории гравитации предполагают, что пространство и время имеют атомную структуру. Тогда это должно сказываться на движении фотона через пространство — вроде того, как световая волна рассеивается и отражается, проходя через воду. Конечно, эффект будет крайне слабым, зато кумулятивным: если фотон пройдет очень большое расстояние, слабые эффекты суммируются. К счастью, мы с легкостью можем наблюдать фотоны, летящие в течение миллиардов световых лет из высокоэнергетических источников, таких как вспышки гамма-лучей. В этом случае, а также в ряде других ситуаций предсказываемые некоторыми теориями эффекты могут быть достаточно большими, чтобы их зарегистрировать. Действительно, некоторые авторы уже утверждают, что при изучении поведения высокоэнергетических космических лучей зарегистрировали такие эффекты, которые могут быть объяснены на основании квантовой структуры пространства согласно шкале Планка.

Учтите, я говорю о наблюдениях, сделанных со спутников, предназначенных для выполнения абсолютно других задач. Если использовать спутники, созданные специально в наших целях, шкала Планка будет достигнута через 10 лет. Необходимы прежде всего более точные детекторы для регистрации высокоэнергетических фотонов, и я не вижу никаких естественных или экономических причин, препятствующих их разработке. Что же касается космических лучей, то здесь существуют финансовые преграды. Космические лучи с очень высокой энергией встречаются очень редко, и для их регистрации требуются мощные, дорогостоящие детекторы. Однако и те, что имеются сейчас, годятся для изу-

чения большого диапазона энергий и, соответственно, проверки разных теорий гравитации. Несомненно, к 2050 году накопится солидный объем информации по этому вопросу.

Теорию струн, которая считается ведущим кандидатом на квантовую теорию гравитации, критикуют за недоказуемость. И все-таки есть факты, способные подтвердить ее. В результате исследований может обнаружиться, что у пространства гладкая структура. Этого требует симметрия теории Лоренц-инвариантности. Другие квантовые теории гравитации предполагают, что под влиянием слабых воздействий симметрия нарушается или изменяется, их тоже, надеюсь, проверят с помощью новых технологий. Вероятно, через несколько лет теория струн или альтернативная ей будет подтверждена фактами.

Таков результат нашего короткого анализа экспериментальных возможностей. Очень вероятно, что у нас будет достаточно информации, чтобы ответить на первые два вопроса относительно квантовой теории и квантовой гравитации, и на последние два вопроса, касающиеся космологии и астрофизики. Будет ли у нас достаточно информации, чтобы проверить теории о происхождении Вселенной, неизвестно. Раздел астрономии, изучающий гравитационные волны, может обнаружить факты, пришедшие из времен до Большого взрыва, если такие времена действительно существовали, но, учитывая настоящее состояние этого раздела науки, такой уверенности нет.

Остаются вопросы 3 и 4. Мы собрали кучу релевантной информации, но все еще не в состоянии ответить на них. Следующее поколение ускорителей поможет нам понять, почему элементарные частицы имеют именно такие параметры масс и взаимодействий. Однако нет никакой уверенности, что изучение величин других порядков прояснит ситуацию.

Можно предположить, что к ответам приведет квантовая теория гравитации, так как именно эти вопросы побудили к созданию теории струн. Но на сегодняшний день этого

сказать нельзя. Существующие аналитические данные показывают, что квантовые теории гравитации, такие как теория струн, вполне допускают широкий диапазон свойств элементарных частиц. Это связано с тем, что интересующие нас ответы скорее зависят от того, какое решение данной теории лучше описывает нашу Вселенную, а не от выбора правильной теории. Каждая теория имеет несколько решений, и каждое из них представляет свой вариант Вселенной.

Некоторые физики допускают, что на самом деле существует множество вселенных. Или, точнее, одна, но состоящая из разных частей. Каждая часть началась с Большого взрыва, затем она расширялась, принимала структуру согласно законам физики и в итоге стала похожа на нашу Вселенную. Приверженцы мультивселенной теории делятся на две группы. Первая группа утверждает, что мир состоит из большого количества вселенных, в которых законы физики, или по крайней мере их параметры, определяются случайным образом. Такую точку зрения обычно называют «антропным принципом». Другая группа доказывает, что новые вселенные образуются в результате формирования черных дыр. Такую точку зрения именуют «космологическим естественным отбором», так как она подразумевает процессы, подобные биологической эволюции. По мнению физиков, относящихся к этой группе, самыми распространенными вселенными являются те, что способны неумолимо себя воспроизводить.

Антропный принцип не поддается проверке. Гипотезу же космологического естественного отбора легко опровергнуть, но трудно доказать — во всяком случае, с помощью современных технологий. Для доказательства необходимо знать, что было до Большого взрыва. Тут требуются гравитационные волны, но, как я уже говорил, зарегистрировать их пока не удалось. Таким образом, теория естественного отбора имеет шанс выдержать все тесты и дожить до 2050 года, но вряд ли она будет доказана.

Конечно, не исключено рождение новых гипотез и технологий, которые драматически изменят ситуацию. Но мы договорились придерживаться консерватизма и обсуждать только то, что есть в наличии сейчас. Поэтому мне кажется, что через пятьдесят лет мы будем знать ответы на пять из семи важнейших вопросов. Что касается перспективы получить ответы на вопросы 3 и 4, она весьма туманна.

Возможно, мы сформулируем квантовую теорию гравитации, поймем природу Большого взрыва, уточним формулировку квантовой теории, но так и не сумеем ответить на простой вопрос, который был поставлен еще в 1930-х годах: почему протон и нейтрон имеют почти одинаковые массы, а нейтрон немного тяжелее?

Мартин Рис*



ЗАГАДКИ КОСМОЛОГИИ: ОДИНОКИ ЛИ МЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ?

Главная научная задача ближайших пятидесяти лет связана не с физическими науками и не с земной биологией. Безусловно, основные усилия будут направлены на подтверждение или опровержение гипотезы о существовании внеземного разума. К 2050 году мы наверняка уже будем знать, как на Земле зародилась жизнь. Тогда, даже не будучи способными воочию проверить, есть ли жизнь на других планетах, мы сумеем оценить вероятность ее возникновения там. И сразу встанет новый вопрос, который может оказаться весьма сложным: если на планете возникли простые формы жизни, то разовьются ли они во что-то, похожее на разумные существа?

* Сэр Мартин Рис — профессор астрономии и экспериментальной философии Кембриджского университета. Член Королевского научного общества. Разработчик космологических гипотез (например, первый предположил, что ядро квазара питается энергией черных дыр). В течение последних двадцати лет руководит разными исследовательскими программами в Кембриджском институте астрономии. Автор книг «Фатальное притяжение гравитации» (совместно с Митчеллом Бегельманом), «Новые перспективы в астрофизической астрономии», «Перед началом: наша и другие вселенные», «Только шесть цифр: глубинные силы, формирующие Вселенную» и «Наша космическая родина», опубликованной недавно.

В следующем десятилетии к Марсу полетит огромное количество спутников, они исследуют его поверхность и привезут образцы на Землю. В перспективе намечается исследование всей Солнечной системы с помощью непилотируемых космических кораблей, например, изучение атмосферы Титана, гигантского спутника Сатурна, и заледенелой Европы, спутника Юпитера. Если в результате этих экспериментов обнаружатся хотя бы простейшие формы жизни, то можно будет сделать вывод: жизнь на примитивном уровне широко распространена в нашей Галактике и за ее пределами.

Сегодня сложилось устойчивое мнение, что «продвинутых» форм жизни в Солнечной системе нет. Но это не повод для отчаяния. Наше Солнце — всего лишь одна из звезд, которых только в Млечном Пути насчитываются миллиарды. Возможно ли на планетах, летающих вокруг других звезд, найти интересующие нас виды материи? Могут ли там жить особи, разумные с нашей точки зрения? Даже если окажется, что примитивные формы жизни широко распространены во Вселенной, не факт, что где-то обитают создания, подобные человеку. Думаю, в этом вопросе следует придерживаться агностицизма. Мы недостаточно знаем о происхождении жизни на Земле — и гораздо меньше о том, является ли естественный отбор «конвергентным». Поэтому вряд ли стоит выдвигать предположения о наличии внеземного разума, да еще с жаром их аргументировать.

Попытки поймать сигналы инопланетных цивилизаций сталкиваются с проблемой финансирования — государственные органы относятся к ним как к фильмам о НЛО и зеленых человечках. По счастью, частные спонсоры поддерживают усилия калифорнийского института, упорно ведущего поиск внеземного разума.

Я очень увлечен этими исследованиями и продолжал бы их, невзирая ни на какие доводы против. Поступление любого искусственного сигнала из космоса крайне важно. Конечно, мы не узнаем, послан сигнал разумным существом

или аппаратом давно вымершей цивилизации. Но подобный контакт показал бы, что концепции логики и физики существуют не только в человеческом мозге. Мы бы по-новому взглянули на звезды, удостоверившись, что есть такая, во-круг которой летает планета со сложной, как у Земли, биосферой.

Конечно, поиски иных миров не застрахованы от провала. Однако неудача отнюдь не будет означать, что мы одиноки во Вселенной. Возможно, разумные существа на других планетах занимаются самосозерцанием и не желают себя обнаруживать. А если выяснится, что крошечная Земля действительно является единственным местом обитания разумных существ, то и это не конец истории. Перед нами встанет амбициозная задача распространить жизнь по всему космосу. Впереди у нас много времени. Солнечная Галактика простирается на сотни тысяч световых лет. Для того чтобы расцвести, ей понадобится меньше времени, чем когда-то Земле. Солнце погаснет через пять миллиардов лет. Наша биосфера благодаря естественному отбору развилась из первых многоклеточных организмов за срок в пять раз короче. Распространение жизни может пойти ударными темпами, так как будет направляться искусственно. Сложно сказать, как это отразится на ней самой. Не исключено, что она качественно изменится. Сие предположение лежит в области научной фантастики, но вовсе не является абсурдным.

От других миров к другим вселенным?

Сто лет назад никто не знал, почему звезды светятся. Более того, мы не имели ни малейшего представления о том, что лежит за пределами Млечного Пути, который считался статичной системой. За последние три десятилетия благо-

даря зондам мы получили картину всех планет нашей Солнечной системы и благодаря гигантским телескопам смогли заглянуть в глубину Вселенной, за исключением черных дыр. Сегодня доступная нашему зрению панорама космоса простирается в миллионы раз дальше самых отдаленных видимых звезд — до галактик, которые лежат в десятках миллиардов световых лет от нас. Вселенная открылась перед нами до самых первых секунд своего образования. Неизвестным остается лишь начало ее расширения.

Успехи астрономии породили предположение, что наша Вселенная, образованная Большим взрывом, не является единственной и неповторимой. Теоретики заподозрили существование множества миров. Андрей Линде, Алекс Вилленкин и другие создали на компьютере «вечную» инфляционную модель, демонстрирующую, как многочисленные вселенные рождаются вследствие Больших взрывов, происходящих в разное время и в разных местах. Алан Гат и Ли Смолин выдвинули идею, что новые вселенные образуются из черных дыр и, расширяясь, уходят в недоступные для нас области пространства и времени. А Лиза Рэндэл и Роман Сандрам даже допустили, что некоторые вселенные находятся в другом измерении и взаимодействуют посредством гравитации или вовсе не оказывают друг на друга никакого влияния. Чтобы уяснить эту идею, вообразите, что поверхность шара — двумерная вселенная, существующая в нашем трехмерном мире, а другие вселенные — поверхности других шаров. Жуки, ползающие по шарам и не имеющие представления о третьем измерении, не будут знать ни о нас, ни о соседях. Их места обитания будут отдельными областями пространства и времени. Мы тоже не будем знать о них, потому что у нас иные критерии и понятия.

Алан Гат и Эдвард Гаррисон предположили, что вселенную можно создать в лабораторных условиях, взорвав кусочек вещества и образовав небольшую черную дыру. «Может быть, наш мир получился в результате подобного эксперимента, проведенного в другой вселенной?» — задумались

они. Ли Смолин заявил, что в таком случае дочерняя вселенная должна подчиняться законам физики, сходным с теми, которые действуют в родительской вселенной. Если эти ученые правы, то теологические аргументы могут обрести вторую жизнь. Грань между естественным и «сверхъестественным» сотрется.

Гипотеза о параллельных мирах позволяет объяснить некоторые парадоксы квантовой механики. А вообще-то теория «множества миров» была разработана Хью Эвереттом и Джоном Уилером в 1950-х годах. Еще раньше сложный космос, созданный Творцом звезд, описал в научно-фантастическом романе Олаф Стэпледон:

«Когда существо сталкивалось с необходимостью выбора, оно выбирало все возможности сразу, создавая множество... разных историй космоса. Так как в ходе каждой эволюции космос был заселен большим количеством существ и каждое из них постоянно сталкивалось с необходимостью выбора, комбинация всех их путей была неисчислима, и в каждый момент космического времени возникало бесконечно много отдельных вселенных».

Упомянутые мной теории взяты не из воздуха, каждая имеет серьезное теоретическое обоснование. Однако правильной в лучшем случае окажется одна. Вполне возможно, что все они ошибочны. Имеются и альтернативные гипотезы, отрицающие множество миров.

Чтобы подтвердить какую-либо из этих теорий, необходимо описать физическое состояние нашей Вселенной, когда она была сжата настолько, что ее сотрясали квантовые флуктуации. Другими словами, необходимо объединить теорию гравитации Эйнштейна (*общую теорию относительности*) с квантовыми принципами, управляющими микромиром субатомных частиц.

Последние тридцать лет жизни Эйнштейн сам безуспешно пытался найти такую объединительную теорию. Злые языки говорят, что с таким же успехом он мог бы посвятить вторую половину жизни рыбалке. Теперь ясно, что его поиски были преждевременными, потому что он не знал о строении ядра и слабых взаимодействиях.

Разработка объединительной теории в двадцать первом веке может стать вполне реальной задачей, так как для этого будет достаточно предпосылок. Но искомая теория должна быть не только логичной. Нужно будет убедиться, что она не является чисто математической конструкцией, а подходит для описания реальной действительности. Эта теория должна объяснять факты, которые иначе объяснить невозможно. Например, она должна увязать ядерные, электрические и гравитационные силы или растолковать, откуда взялись три вида нейтрино. Вполне возможно, что в течение ближайших десятилетий физики разработают такую теорию. Это положит конец поискам, начатым предшественниками Ньютона и продолженным Максвеллом, Эйнштейном и их последователями. Но меня больше волнует объяснение того, почему наша Вселенная обладает рядом удивительных свойств.

Наша сферическая биофильная Вселенная

Если в космосе у нас есть братья по разуму, то они воспринимают реальность по-своему, не так, как мы. Но они, подобно нам, состоят из атомов и подчиняются физическим законам. И они наверняка, как и мы, ведут начало мира от Большого взрыва, произошедшего тринадцать миллиардов лет назад.

Мы все зависим от нашей сферической Вселенной. Она «биофильна», то есть благоприятна для рождения жизни. Похоже, это связано с определенными ее свойствами.

Предпосылки, необходимые для развития любой формы жизни — стабильно горящие звезды, атомы (углерод, кислород и кремний), способные к образованию сложных молекул, и прочее, — зависят от законов физики, а также от размера, скорости расширения и содержания Вселенной. Если бы во время Большого взрыва условия были хоть немного иными, нас бы не было. Другие условия привели бы к появлению вселенных без атомов, химических процессов и планет, или к образованию недолговечных сгустков материи, или к рождению миров абсолютно бесплодных. То, что все произошло именно так, как произошло, кажется непостижимой загадкой.

Главный вопрос, волновавший Эйнштейна, был следующий: «Имел ли Господь выбор при создании мира?» Эйнштейн интересовало, чем определены законы, управляющие нашей Вселенной, являются ли они по математическим причинам уникальными, при какой ситуации они могли бы оказаться совершенно другими. Если у Бога не было вариантов, то биофильность нашей Вселенной следует считать бесспорным фактом. В противном случае придется признать, что законы физики более пластичны, нежели принято думать, и тогда существование разнокачественных миров становится допустимым. Вся совокупность вселенных подчинялась бы одинаковым фундаментальным принципам, а то, что мы называем законами природы, у каждой были бы свои и зависели от конкретных условий, сложившихся после конкретного Большого взрыва.

Для примера рассмотрим снежинки. Для них характерна гексагональная симметрия, обусловленная формой молекул воды. Но попробуйте найти идентичные снежинки. Узор каждой зависит от условий ее возникновения — от того, как изменялись температура и давление по мере того, как она летела из облака, где зародилась. Некоторые свойства нашей Вселенной тоже могут быть результатом случайной сцепки событий — того, как именно она остывала после Большого взрыва. Вот снова пример: раскаленный докрасна кусок же-

леза по мере остывания намагничивается, но ориентация поля зависит от побочных факторов.

Этот сценарий, возможно, не является общим для всех миров. Если физики сумеют выстроить убедительную теорию, то мы узнаем, какие именно аспекты природы являются следствием фундаментальных принципов, а какие привнесены обстоятельствами.

Если бы действительно существовало множество вселенных, то большинство из них было бы стерильно. Они бы подчинялись законам, исключаям сложные структуры, или были бы крохотными или недостаточно долговечными для того, чтобы эволюция успела создать на них сложные формы. Мы (и наши братья по разуму) оказались бы в компактной и необычной подсистеме, управляемой законами, благоприятствующими сложной эволюции. Черты нашей Вселенной удивляли бы нас не сильнее, чем ее положение в Галактике. Не нужно слишком доверять принципу Коперника. Мы живем на небесном теле, окруженном атмосферой, летающем по орбите на определенном расстоянии от звезды. Это очень определенное и нетипичное положение. Оно наводит на мысль о заданности. Случайное положение было бы где-нибудь на расстоянии миллионов световых лет от ближайшей Галактики. Если существует много вселенных, большая часть которых необитаема, то нам не следует удивляться, что мы живем в обитаемой.

Возможно, однажды появится убедительная теория, которая подтвердит или опровергнет существование множества вселенных и покажет, что так называемые законы природы являются всего лишь нашими местными нормами. Но даже до появления такой теории мы можем проверить вероятность «выбора», проанализировав, насколько наша Вселенная типична для подсистемы, в которой мы будто бы возникли. Если окажется, что она является атипичным представителем даже этой подсистемы, то нам придется отвергнуть гипотезу о множестве вселенных.

Другой способ проверить гипотезу о существовании множества вселенных — рассмотреть предположение Смолина о том, что новые вселенные рождаются из черных дыр и что законы физики в «дочерних» вселенных похожи на законы, действующие в «родительских», этакая космическая наследственность. Если Смолин прав, то вселенные, образующие больше черных дыр, имеют перед маломощными репродуктивное преимущество, которое передается следующим поколениям. Если наша Вселенная появилась таким образом, то ее предрасположенность к образованию черных дыр должна быть близка к оптимальной и любое изменение законов физики или констант снижает эту способность. Теория Смолина пока не нашла никаких подтверждений, кроме того, она не объясняет, как физическая информация переходит от одной вселенной к другой. Лично я слабо верю в живучесть этой гипотезы. Однако Смолин заслуживает благодарности, ибо продемонстрировал, что несостоятельность теории о множественности вселенных доказуема.

Да, разные предположения относительно нашей Вселенной могут быть отвергнуты, как и любые научные версии. И рано утверждать, что было много Больших взрывов, мы слишком мало знаем о зарождении нашей собственной Вселенной. Мы также не знаем, насколько универсальны законы природы. Решить эти проблемы предстоит физикам в ближайшие пятьдесят лет. Но если окажется, что законы физики и впрямь являются эластичными, что они позволяют создать вселенные с разными свойствами, то возникновение нашей Вселенной можно будет объяснить с помощью так называемого антропного принципа. На самом деле это будет единственное возможное объяснение некоторых важных свойств нашей Вселенной. Определенные части космологии будут напоминать эволюционную биологию.

То, что мы традиционно называем Вселенной, может оказаться результатом одного из Больших взрывов, так же как наша Солнечная система — всего лишь одной из планетарных систем Галактики. Узор кристаллов льда на пруду

зависит от окружающих условий, а не от фундаментальных свойств воды. Так и кажущееся постоянство природы может быть следствием игры случая, а не проявлением каких-то фундаментальных принципов. Тогда поиск точных формул физических констант может оказаться таким же бесполезным, как и поиск Кеплером точных количественных описаний планетарных орбит. Не исключено, что ученых начнут интересовать другие вселенные, ведь на протяжении веков людей занимали «другие миры». Тем не менее (и здесь ученый с радостью уступит трибуну философу) вопрос о том, почему вообще что-то существует, останется в сфере метафизики и всегда будет открытым.

Ян Стюарт*



МАТЕМАТИКА 2050 ГОДА

Среди всех наук математика, вероятно, имеет самую длинную историю, в этом с ней может соперничать только астрономия. Обе науки уходят корнями во времена Вавилонии, и сделанные тогда открытия не потеряли свое значение и по сей день. Хотя астрономы наблюдают за реальным миром, а математики оперируют теоретическими структурами, именно теория является движущей силой астрономии, а математика развивается из попыток выстроить модель реального мира.

В астрономии случались великие потрясения. Старые гипотезы опровергались и заменялись совершенно новыми. Например, в 1877 году итальянский астроном Джованни Скиапарелли увидел на Марсе сеть тонких прямых линий и назвал их «*canali*». Это слово означает «канал, пролив, протока, канава». Почему-то закрепилось первое значение, что

* Ян Стюарт в 1995 году получил медаль Королевского общества имени Майкла Фарадея за выдающийся вклад в популяризацию науки. Написал много статей по математике для таких известных журналов, как «Дискавер», «Нью сайентист» и «Сайнс». Вот уже десять лет он ведет колонку в журнале «Сайентифик американ» и является консультантом по математике в «Нью сайентист». Автор книг «Играет ли Бог в кости?», «Пугающая симметрия», «Отсюда до бесконечности», «Природные числа», «Другие секреты жизни», «Плоская земля», «Конец хаоса» и «Вымыслы реальности» (последние две написаны совместно с Джеком Козном).

привело к широкому распространению мнения, будто Марс населен разумными существами. Сейчас мы стали умнее, и знаем, что на Марсе жизни нет. Часто говорят, что в математике революции невозможны, так как природа математической точности не изменяется. Но изменяется человеческое отношение, и самой значительной революцией в математике стал пересмотр концепции «математической точности». Благодаря Курту Гёделю и Алану Тьюрингу мы теперь понимаем, что математическая точность не является абсолютной.

В ближайшие пятьдесят лет в математике произойдет несколько больших перемен. Некоторые из них уже происходят — усиление влияния компьютера и новые проблемы, которые ставят биологические науки и финансовый сектор. Будут и другие, но самое точное предсказание — это то, что большинство прорывов будут неожиданными.

Многие авторы предсказывают изменение самого понятия доказательства, что является центральной концепцией математики. Некоторые считают, что компьютер позволит пересмотреть концепцию доказательств, другие думают, что сама эта концепция полностью отомрет. Оба взгляда основываются на фундаментальном непонимании текущих тенденций. В математике доказательство заменяет наблюдения и эксперименты в других областях науки. С помощью доказательств математики убеждаются, что их изыскания действительно верны, что желаемое не выдается за действительное. Использование компьютера никак не влияет на необходимость в доказательствах, так же как изобретение микроскопа никак не повлияло на необходимость постановки экспериментов в биологии. Продолжая эту аналогию, можно сказать, что компьютер позволил модифицировать и улучшить технологию доказательств, но философия от этого никак не изменилась. Доказательство — цепочка логических умозаключений, выводящая новую теорию из уже существующих, верность новой теории должны тщательно проверить специалисты. Концепция доказательства, а так-

же убежденность в его необходимости для математики останется в целостности и сохранности и через пятьдесят лет.

Математика черпает идеи из двух источников. Первым является реальный мир. Как показали Кеплер, Галилей, Ньютон и другие, все во Вселенной подчиняется простым математическим правилам — «законам природы». Иногда физики пересматривают формулировки этих законов. Классическая механика Ньютона уступила дорогу квантовой механике и теории относительности, квантовая гравитация и суперструны показывают дорогу в будущее. Загадки реального мира побуждают к поиску новых теорий, и математика не утрачивает своей значимости, даже если исходные теории изменились.

Второй источник математических идей — человеческое воображение. Порой математические изыскания проводятся ради развития самой науки. Путь от реального мира к полностью завершенной математической модели весьма сложен. Здесь требуется проведение определенных разработок, причем часто отважные группы исследователей отклоняются от общего пути в поисках своего видения проблемы и находят гораздо более правдоподобную теорию. Для таких пионеров ценность их исследований очевидна, это то, что их побуждает, им не нужно никаких наград, кроме удовлетворения собственного интереса.

Исходя из поставленных задач математику делят на прикладную и теоретическую. Названия не слишком точно отражают суть. Многие области прикладной математики на самом деле не имеют никакого реального приложения, а достижения теоретической математики, наоборот, частенько находят практическое применение. Тем не менее названия разделов указывают на то, что математическая наука соединяет требования окружающего мира с человеческим воображением. Двусторонний поток идей является движущей силой математики. Для достижения прогресса необходимы оба течения в математике, и бесполезно гадать, какое из них важнее.

Сто лет назад большинство математиков измеряли континуум. Пятьдесят лет спустя континуум стал слишком большой, и математики начали специализироваться, что привело к разделению дисциплины. Специалисты в теоретической и прикладной математике разделились на два лагеря, у каждого появились своя философия, свои взгляды на фундаментальные принципы, на необходимость доказательств, на методы исследования. Все это напоминало раскол единой церкви на враждующие секты. К началу нового тысячелетия саморазрушительная тенденция начала угасать. Методы теоретической математики вдохнули новую жизнь в прикладную, а проблемы, возникающие в прикладных областях, стимулировали развитие теоретической науки. Границы, более относящиеся к идеологии, чем к реальности, стали стираться. В течение ближайших пятидесяти лет тенденции к объединению окрепнут, и математика возродится во всей красе, без всяких наименований и сектантских раздоров. Конечно, специализация сохранится, но абстрактная логика и концептуальность будут использоваться для решения конкретных задач. Все математики будут работать на благо человечества, каждый будет решать свои задачи, уважая труд коллег и внося посильный вклад в общее дело.

Можно с уверенностью сказать, что через пятьдесят лет будут достигнуты огромные успехи. Золотая эра математики отнюдь не закончилась с древними греками или Ньютоном, она идет сейчас. И через пятьдесят лет она все еще будет продолжаться. Новые идеи и подходы позволят решить застарелые проблемы. Взять, к примеру, доказательство последней теоремы Ферма. В 1640 году Пьер де Ферма написал на полях «Арифметики» Диофанта, что два точных куба невозможно сложить с образованием точного куба, что также справедливо для четвертой степени и выше. Эту теорему удалось доказать лишь в 1994 году. Справился с ней Эндрю Уайлс. Для решения он использовал новый метод: придал утверждению Ферма гораздо более широкое толкование с использованием «эллиптических кривых», относящихся к

совершенно другой области знания, к теории чисел, а затем с помощью всех возможных современных подходов решил получившуюся задачу.

На сегодня самой знаменитой нерешенной проблемой является гипотеза, впервые сформулированная Георгом Бернхардом Риманом. Это довольно технический вопрос комплексного анализа, решение которого прольет свет на простые числа, алгебраическую теорию чисел, алгебраическую геометрию и даже динамику. В последние годы были прослежены интересные связи этой теории с квантовой физикой. Рискну предположить, что к 2050 году гипотеза Римана будет доказана. Предполагаемое решение окажется верным, и в доказательстве сыграют большую роль связи с физикой. Но не определяющую. Я думаю, что окончательное решение будет основываться на связях, которые обнаружатся в будущем.

В 1900 году Дэвид Гилберт, ведущий математик своего времени, составил список двадцати трех проблем, подлежащих решению. С тех пор список сильно сократился, но гипотеза Римана по-прежнему маячит в нем.

В 2000 году Институт математики Клея в Кембридже (Массачусетс) предложил награду в один миллион долларов за решение каждой из семи проблем, оставшихся в списке Гилберта. Кроме гипотезы Римана там значатся гипотеза Пуанкаре — топологическая характеристика трехмерной сферы; проблема равенства классов P/NP из теоретической кибернетики, доказывающая, что сложные вычислительные процессы действительно существуют; гипотезы Ходжа и Бёрча — Свиннертона — Дайера из алгебраической геометрии; решение или доказательство его отсутствия для уравнения Навье — Стокса, описывающего динамику вязких жидкостей, и доказательство гипотезы щели в спектре масс из квантовой теории поля. Надеюсь, что к 2050 году список сократится. Думаю, что гипотеза Пуанкаре останется недоказанной, проблема равенства классов P/NP будет признана неразрешимой, гипотеза Ходжа будет опровергнута, а гипо-

теза Бёрча — Свиннертона — Дайера — доказана. Будет показано, что уравнение Навье — Стокса в определенных условиях не имеет решения, а гипотеза щели в спектре масс просто перестанет физиков интересовать.

Предложенные институтом Клея семь миллионов долларов не понудят математиков свернуть с пути. Математиков в отличие от молекулярных биологов не очень привлекают денежные награды. Тем не менее я приветствую учреждение подобных наград. Они демонстрируют миру важность как данных вопросов, так и математики в целом. Хочется, чтобы правительственные организации наконец осознали: миллиарды долларов, потраченные на математику, способны оказать гораздо более позитивное влияние на существование человечества, чем аналогичная сумма, отпущенная на создание нового атомного или биологического оружия. Хочется, но мало верится в такое счастье.

Проблема равенства классов P/NP касается компьютеров, но решена будет не компьютером. Для ее решения требуется, как в старые добрые времена, хорошая идея. Машина не поможет даже в проверке решения. Компьютер сыграет другую важную роль. С его помощью родятся гипотезы, которые математики станут пытаться доказать.

При наличии хороших программ компьютер представляет собой значительно более мощное устройство, чем арифмометр 1960-х. Его с успехом используют для логически точных доказательств теорем. Лучшим примером является доказательство Кеннетом Appelом и Вольфгангом Хакеном в 1976 году теоремы о четырех красках. Эта теорема была впервые сформулирована Фрэнсисом Гутри в 1852 году. Он предположил, что любая плоская карта может быть раскрашена четырьмя цветами так, что никакие две смежные области не будут окрашены одинаково. Концептуальной частью доказательства оказалось сведение теоремы к рутинной проверке того, действительно ли две тысячи специальных карт, взятых наобум, имеют определенные математические свой-

ства. Затем с помощью компьютера были проведены необходимые вычисления.

Некоторые философы считают, что доказательства, найденные с помощью компьютера, качественно отличаются от традиционных, так как произведенные вычисления не могут быть проверены человеком. Однако непонятно, почему столь существенна проверка именно человеком. Ведь главное — что, а не кто. В прошлом проверку осуществляли люди, потому что не было альтернативы, а в будущем эту работу вполне могут делать машины. Критерием здесь должно являться одно — надежность результатов. До тех пор пока соблюдается это условие, вычисления, произведенные машиной, будут столь же убедительны, что и произведенные человеком.

Большинство математиков считают, что при рутинных, скучных вычислениях машина реже ошибается, чем человек. Действительно, история доказательства теоремы о четырех красках богата ошибками. При использовании компьютера имеет значение логика программы и собственное убеждение в том, что машина исправно функционирует. Если нет ни того ни другого, тогда, конечно, лучше проводить вычисления вручную. И в любом случае за человеком остается обязанность придать проблеме такую форму, чтобы решение свелось к рутинным расчетам. После этого использование машинных программ в принципе ничем не отличается от использования математических таблиц на бумажных носителях.

К 2050 году компьютер станет незаменимым инструментом математики. Появятся системы, позволяющие математикам «посетить» такие абстрактные концептуальные структуры, как неевклидова геометрия или множество гигантских чисел, и произвольно ими манипулировать — это будет так же просто, как крутить ручку арифмометра. Ингредиенты для такой «виртуальной нереальности» уже подготавливаются и вскоре будут собраны. Потребности программистов способствуют новым разработкам в комбинаторике — «ко-

нечной математике». Сегодняшние сложные и редкие отношения между комбинаторикой и геометрией перерастут в тесное содружество, основанное на связях между схемами сети и логическими функциями.

Во времена Ньютона основными источниками математических задач были астрономия и механика — физические науки. К 2050 году круг поставщиков расширится. Одной из них будет квантовая физика. Уже сегодня прослеживаются удивительные связи между квантовой теорией поля, геометрией, топологией и алгеброй. В будущем таких связей будет гораздо больше. В ближайшие пятьдесят лет структуры, предсказанные, например, квантовой теорией поля и суперструнами, приведут к появлению совершенно новых областей алгебры и топологии. Математики девятнадцатого века объединяли традиционные «действительные» числа в «комплексные», из «-1» можно было извлечь квадратный корень, и это оказалась очень плодотворная идея. Очень быстро разрослись все области математики. Был найден комплексный аналог старой математики действительных чисел. В двадцать первом веке аналогом такого усложнения будет квантование, мы будем заниматься квантовой алгеброй, квантовой топологией и квантовой теорией чисел.

Еще более влиятельной и радикальной будет математика, вдохновленная биологическими науками, — биоматематика. После триумфальной расшифровки человеческого генома и осмысления полученных результатов стало ясно, что последовательность ДНК сама по себе не обеспечивает глубокого понимания организма и лечения недугов. Между нашим пониманием генома и работы организма лежит глубокая пропасть. Расшифрованный геном ничего не говорит о том, как управлять экосистемами вроде коралловых рифов и дождевых тропических лесов. Предположение о том, что геном человека состоит из сотен тысяч генов, не подтвердилось, их оказалось лишь тридцать четыре тысячи. Картировать гены, отвечающие за синтез определенных белков, не удалось. Возможно, такой «карты» не существует вообще. Гены

являются частью системы динамического контроля, определяющей не только синтез белков и их модификацию, но и нахождение в нужном месте в нужный момент. Для понимания этого процесса требуется нечто большее, чем простой перечень кодов ДНК. Тут не обойтись без математики. Ее новая область — биоматематика — будет представлять собой жуткую смесь комбинаторики, анализа, геометрии и информатики. И конечно, биологии.

Показательно быстрое развитие наук, изучающих системы, образуемые большим количеством относительно простых компонентов, взаимодействующих между собой простыми способами. Как выяснилось, простота обманчива: в результате взаимодействия нервных клеток мозга человека возникает сознание. К 2050 году у нас будет точная математическая теория, описывающая взаимодействия и динамику высшего уровня сложных систем. Это приведет не только к выдвиганию абсолютно новых концепций, но и к новому пониманию ограничений, которые имеет математическое моделирование в науке. Сегодня сложные системы изучаются в основном в биологии и финансах. Например, на рынке действует множество агентов, взаимодействующих путем покупок и продаж. Эти взаимодействия образуют финансовый мир. Математика финансов и коммерции претерпит значительные изменения, отбросив текущие «линейные» модели и перейдя к математическим структурам, более точно описывающим реальный мир.

Еще более значительным будет проникновение математики в совершенно новые области человеческой деятельности, такие как социальные науки, искусство и даже политика. Однако здесь математика будет использоваться не так, как в физике. В физике математика помогает сформулировать количественные законы, при этом предположения относительно реального мира часто являются результатом сложных расчетов, связь между законами и формулами бывает сложно проследить. Например, спираль урагана моделируется путем составления уравнения движения миллиардов кро-

шечных участков теплого влажного воздуха, а затем производится огромное количество расчетов для решения уравнений. Сейчас разрабатывается альтернативный подход, который предполагает выведение спиральной формы из общей структуры уравнений, например, их симметрии. Бесконечная манипуляция числами будет заменена «вычислением спирали». Можно надеяться на развитие качественной, контекстуальной теории формирования динамических конфигураций.

Наконец, математика поможет нам понять структуру Вселенной, причем именно в терминологии реального мира, а не через миллиарды пляшущих цифр, из которых каким-то чудом появляется какая-то структура.

Брайан Гудвин*



В ТЕНИ КУЛЬТУРЫ

Сегодня заглянуть в будущее так же сложно, как в 1600 год. В те времена феодальная система западного мира практически распалась, хотя по-прежнему существовали монархии. Режим Священной Римской империи разрушался под объединенным натиском государств, входящих в ее состав, и протестантских сект. Надвигалась Тридцатилетняя война, чтобы вновь погрузить Европу в пучину обскурантизма. Шекспир в пьесах описывал сложность и разнообразие человеческой природы. Его герои еще принадлежали эпохе Ренессанса, в которой небесная гармония познавалась через музыку сфер и миром правила любовь. Галилей экспериментировал с цилиндрами, стараясь понять движение лун вокруг Юпитера. Скоро церковь обвинит его в поддержке идей Коперника, утверждавшего, что Земля — не центр Вселенной, и он будет вынужден отречься от своих трудов.

Фрэнсис Бэкон восхищался подходами Галилея к познанию мира, но толку от этого было мало. Доминирующее

* Брайан Гудвин — профессор биологии в колледже Шумахера (Дартингтон, Девон, Великобритания) и член Института Санта-Фе. Автор книг «Преходящая организация клеток», «Аналитическая физиология клеток и развивающихся организмов», «Как леопард поменял свои пятна: эволюция сложности», «Формы и трансформации: принцип размножения и родства в биологии» (совместно с Гэрри Вебстером) и «Признаки жизни: как биология пропитана сложностью» (совместно с Ричардом Соле).

представление о природе вещей и месте человека во Вселенной диктовалось учениями отцов церкви. Кто бы тогда мог предположить, что спустя пятьдесят лет именно наука станет основой для нового культурного рывка и приведет к тому, что мы называем современностью? Методики Галилея, его наблюдения, измерения и математические расчеты, а также труды Ньютона позволили получить надежную информацию о законах природы.

Учитывая непредсказуемость развития культуры, любые рассуждения насчет того, что случится через пятьдесят лет, кажутся бессмысленными. Однако можно подготовиться к неожиданностям, чтобы встретить их достойно. Для этого следует поступить прямо противоположно тому, что предлагает составитель сборника, — не гадать о будущем, а по возможности полно обсудить современность, особенно те ее аспекты, которые скрываются в тени или только начинают выходить на свет.

Очевидное

Что сегодня совершенно ясно, так это мощный альянс науки и бизнеса, породивший глобальную культуру, главными принципами которой являются предсказуемость, контроль, инновации, управление и экспансия. В основе этих принципов лежит рациональность и сила, которые, по мнению Фрэнсиса Бэкона, открывают дорогу к пониманию природы и освобождению из-под ее власти. И действительно, сегодня мы можем избавить человечество от голода и нищеты благодаря производству товаров с применением научных знаний и проникновению капитализма в самые отдаленные уголки планеты. Однако не все получается так, как хотелось бы. Большая (и растущая) часть населения по-прежнему живет в голоде и нищете; плодородные почвы истощаются;

загрязнение земли, воды и воздуха неблагоприятно влияет на обитателей Земли. В результате глобального потепления атмосфера становится все более турбулентной, и многие виды животного и растительного мира вымирают с такой скоростью, какой не бывало со времен пермского — конца мелового периода. Способность государств защищать своих граждан уменьшается по мере активизации транснациональных организаций, осуществляющих беспорядочную торговлю товарами и услугами. Экстраординарное распространение информационных технологий привело к тому, что чье-то решение об инвестициях или перемещение капитала способно обрушить мировые рынки и даже смести правительство. Растущий хаос в природе сопровождается политическим хаосом. О стабильности и надежности не может быть и речи, а ведь именно они должны были стать результатом научно-технического прогресса. Мы неожиданно оказались на пороге мрачного века, гораздо более опасного, чем Средневековье, ибо дезинтеграция носит глобальный характер.

Впрочем, в мою задачу не входит пугать читателей, суля неизбежный апокалипсис, или обнадеживать их, рисуя поворот к светлому будущему. Я хочу выявить аспекты нынешней ситуации, обсудить тенденции, которые могут в какой-то степени определить наше будущее.

Подспудное

Я ученый, поэтому сосредоточусь на тех веяниях, которые существуют в научной среде. Моя первая история напоминает историю Галилея, когда церковь вынудила его признать, что Земля вращается вокруг Солнца.

В 1960-х годах ученый-изобретатель Джеймс Ловелок, работающий на НАСА и занимающийся проблемами внеземной жизни, высказал предположение, что Земля по со-

ставу атмосферы отличается от других планет Солнечной системы и может многое рассказать о взаимоотношениях между живыми организмами и неорганической природой. Он опубликовал статью в научном журнале «Нэйчер», в которой заявил, что жизнь не только приспосабливается к окружающим условиям, но и переделывает их под себя. Он сослался на исследования Линн Маргулис, в ходе которых обнаружилось, что микробы способны изменять состав атмосферы (CO_2 , CH_4 , NH_3 , O_2) и тем самым держать температурные колебания в приемлемых рамках.

В 1974 году Ловелок и Маргулис обнародовали через журнал «Теллус» так называемую гипотезу Геи. Согласно ей, наша планета является саморегулируемой системой. Как же к этому отнеслась научная общественность? Она попросту отбросила новую идею. Почему? Да потому, что Ловелок и Маргулис нарушили сразу два постулата ортодоксальной науки. Во-первых, они предположили существование базовых принципов эволюции, не подчиняющихся дарвиновским. Во-вторых, использовали в названии гипотезы имя древнегреческой богини, из чего вытекало, что Земля — это в некотором роде единый живой организм, а не случайный набор всякой всячины. В отличие от твердолобых ученых идею Ловелока и Маргулис подхватили экологи и те, кого приводит в уныние разграбление природных ресурсов и загрязнение почвы, воды и воздуха.

В наказание за «еретическую» гипотезу Ловелок был отлучен от храма науки. Он пробовал защищаться, доказывая, что естественный отбор — всего лишь один из механизмов эволюции, что жизнь сама способна изменять условия на Земле, так же как и приспосабливаться к ним. Тщетно. Ортодоксы заставили Ловелока отречься от смелой идеи.

Сегодня «гипотеза Геи» признана всеми. Ученые используют термин «наука о Земле» для описания полной картины земной эволюции.

Живое или неживое?

Взгляды Ловелока являлись разновидностью анимизма, который утверждает, что все сущее на свете в каком-то смысле живое. Анимизм по-прежнему отвергается наукой. Мало того, его не приемлет и наша культура. Недавно в разговоре с флейтисткой из оперного оркестра Санта-Фе я поведал о беседе с другим флейтистом, по происхождению навахо. Этот музыкант брал с собой семь флейт, когда шел на выступление. Он продемонстрировал мне, как звучит каждая флейта, и я показал на ту, чей голос мне особенно понравился. Он поиграл на ней снова и вежливо объяснил, что навахо полагают неприличным указывать на флейту, точно так же как у нас считается грубостью тыкать пальцем в человека. Он попросил обращаться к флейте по имени и представил мне ее. По сути, инструменты для него были живыми существами. Флейтистка посмотрела на меня с недоверием: «Он говорил это серьезно?» Женщина очень любила свою флейту, но ни в коей мере не воспринимала ее как живое существо.

Почему анимизм так противен западной культуре? Есть ли какие-нибудь признаки того, что с развитием науки он обретет у нас сторонников? Если да, то каковы будут последствия?

Наука утверждает, что энергия и вещество, из которых состоит космос, являются мертвыми. Никакого намека на чувства. Галилео усвоил этот урок у греческих атомистов, полагавших, что существуют только атомы и пустота. Подобный подход позволил нам познать многочисленные аспекты окружающего мира и далеко продвинуться в изучении процессов, происходящих в живой и мертвой природе. Это дало нам также возможность изобрести огромное количество разных приборов. Так что атомистический принцип работает вполне надежно. Он гласит: объективны только те знания о мире, которые можно выразить с помощью математических формул. Давая качественные, а не количественные характе-

ристики, например, отмечая, как весело резвится выдра, как прекрасен пейзаж или как деятелен друг, мы выражаем собственное мнение, обусловленное преходящим моментом. Веселье, радость, красота, деятельность — все эти качества нельзя измерить, поэтому они не годятся для строгого научного описания феномена, хотя вполне возможно, что у них есть количественные аспекты. С точки зрения материалистов, утверждение, будто флейта способна обидеться, если на нее показать пальцем, абсолютно лишено смысла. Оно имеет право на существование исключительно как метафора. Флейта неживая, ей несвойственны сантименты.

Откуда берется сознание?

Сегодня науку интересует происхождение и природа сознания, которое состоит из чувств и мыслей. Благодаря чувствам мы узнаем, что происходит с нами или в окружающем мире. Например, мы испытываем боль, поранив ногу, и жалость, глядя на засыхающее дерево. Поэтому прежде чем спрашивать, откуда взялось сознание, нужно решить, откуда берутся чувства. Наука полагает, что они появляются вследствие определенной динамической организации бесчувственной материи. Иными словами, наши чувства являются свойствами чего-то, напрочь лишенного каких бы то ни было способностей к ощущениям и восприятию. И здесь возникают проблемы.

Многочисленные примеры показывают, что эмерджентные свойства систем опираются на сходные свойства составляющих. Например, ритмическое поведение муравьев, ухаживающих за самкой и личинками в муравейнике, в некотором роде является эмерджентным свойством. Такое упорядоченное поведение невозможно предсказать, следя за мельтешением муравьев на лесной поляне. Тем не менее

ритмическое поведение реально наблюдается в муравьиной колонии и воссоздается в виде компьютерных моделей. Оно возникает вследствие динамически организующихся систем.

На чем же основывается коллективный ритм муравьев в улье? На активности или пассивности отдельных особей. В техническом смысле их поведение и впрямь хаотично, оно не подчиняется точной периодичности. Однако этот хаос состоит из сложных комбинаций ритмических компонентов, поэтому на компьютере легко воспроизвести жизнь муравейника. Здесь нет никакого чуда, при котором что-то возникает из ничего. Природа последовательна. Увидев происходящее, мы можем описать феномен в терминах поведения частей системы и характера их взаимодействий. Это применимо к многочисленным примерам эмерджентного поведения, наблюдаемого и в физике твердых тел и в биологии.

Однако если чувства появляются из того, что лишено какого бы то ни было подобия чувств, то мы действительно наблюдаем возникновение чего-то из ничего. Для меня это сродни чуду. Как ученый я предпочитаю согласиться с тем, что элементы системы все-таки имеют некоторые признаки чувств, которые усиливаются при определенной организации системы. Эта точка зрения широко обсуждалась в работах таких философов, как Альфред Норт Уайтхед («Процесс и реальность», 1929), Чарльз Хартшорн («Философия Уайтхеда», 1972) и Дэвид Рей Гриффин («Распутывая мировой узел: сознание, свобода и проблема души и тела», 1998).

Наука о качестве

Можно видеть, к чему все идет. Коли допускается, что материя способна к чувствам, тут и до анимизма рукой подать. Но есть обстоятельство, которое грозит сильнее изме-

нить наши представления об окружающем мире. Я имею в виду статус качества. Существует мнение, что, смотря на животное и делая заключение о его состоянии, мы не просто проецируем на него наши собственные чувства, мы узнаем о его истинных ощущениях. Это утверждает ученый-биохевиорист Франсуаза Уемелсфелдер и ее коллеги. Они выяснили, что оценки разных людей, наблюдавших за одним и тем же животным, во многом близки. Наука как раз и основывается на такой согласованности — совпадение отзывов позволяет заключить, что событие является реальным фактом. На наших глазах начинает развиваться «наука о качестве» — метод, который раньше не принимался учеными всерьез.

Наука, основанная на количественных параметрах, позволяет произвести столько товаров, чтобы удовлетворить потребности всех жителей планеты, однако она не гарантирует, что качество жизни при этом улучшится. Наука, основанная на иных критериях, может восполнить этот пробел, ведь в обыденной жизни качество не менее важно, чем количество. Такое восстановление справедливости вместе с признанием того, что чувства свойственны не только нам, но и всем остальным существующим на планете, откроет невиданные просторы перед наукой, техникой и бизнесом.

Расширение научных горизонтов не происходит за одну ночь. Потребуется принципиально новые формы образования, объединяющие науку и искусство. Новые специалисты сумеют дать целостную картину мира. Тогда властные структуры будут принимать важные решения в интересах всех членов общества и с учетом всех добытых знаний. Тогда сегодняшнее время покажется нашим потомкам настоящим Средневековьем, в котором семена перемен таились в тени Земли, оберегаемые Геей.

Марк Д. Хаузер*



ПЕРЕСАЖЕННЫЙ РАЗУМ

Если курице пересадить кусочек мозга перепелки, то она начнет «кланяться» как перепелка. Но если семидесятилетнему человеку, прикованному к инвалидному креслу болезнью Паркинсона, пересадить кусочек мозга свиньи, то он быстро пойдет на поправку и, мало того, со временем сможет весело играть в гольф, ничем не обнаруживая сходства со свиньей. Это вовсе не научная фантастика в духе Дугласа Адамса. Это научный факт. Сегодня мы можем пересаживать ткань мозга не только между представителями одного вида, но и между видами. Через пятьдесят лет такие тонкие нейробиологические технологии перевернут наше понимание мозга — того, как он развивается и как эволюционирует. И по мере изучения мозга мы начнем лучше понимать, что значит быть не человеком, а другим видом животных. Научные и этические последствия такой революции в нашем сознании еще предстоит оценить.

Каково же быть другим организмом? Этот вопрос, впервые сформулированный философом Томасом Нагелем в зна-

* Марк Д. Хаузер — профессор физиологии и программ по нейронаукам в Гарвардском университете. Входит в инициативную группу «Разум — мозг — поведение». Занимается исследованием когнитивных процессов. Автор книг «Эволюция коммуникаций», «Структура коммуникаций животных» (совместно с М. Кониши) и «Дикий разум: о чем на самом деле думают животные».

менитой работе «Что значит быть летучей мышью?» («Философический ревью II, т. 83, октябрь, 1974, с. 435—450), в основном касается психической жизни животных и особенно их субъективных переживаний, их чувств. Некоторые считают, что получить об этом представление попросту невозможно, по крайней мере сегодня. Другие полагают, что это сложная проблема, но ее возможно решить научными методами. Так как обсуждать такие вопросы проще на примере, позвольте один привести.

В середине 1960-х годов две группы ученых начали эксперименты на макаках-резусах с целью выяснить, как они будут реагировать, если увидят, что другая макака получила электрошок. Приблизительно в это же время социопсихолог Стэнли Милгрэм начал эксперименты на людях с целью изучить их отношение к авторитетам, а именно: подчинятся ли они требованию руководителя ударить электрошоком другого человека. В одном из экспериментов с макаками обезьяну обучили тянуть за рычаг, чтобы получить еду. Когда обезьяна поняла задачу, в соседнюю клетку посадили другую обезьяну. Теперь, когда первая макака тянула за рычаг, другая получала сильный удар током. Удивительно: первая не только переставала тянуть за рычаг, но и воздерживалась от этого в течение нескольких дней, хотя и не получала пищи. Обезьяна голодала, но не причиняла страданий соплеменнице. При этом изучаемая макака чаще отказывалась тянуть за рычаг, если в соседней клетке сидела знакомая ей обезьяна, и немного реже — если незнакомая макака или животное другого вида, например кролик. Наконец, та обезьяна, которая сама посидела в соседней клетке и испытала электрошок, дольше отказывалась тянуть за рычаг, чем та, которая такого опыта еще не получила.

Результаты этих экспериментов особенно удивительны в свете диаметрально противоположных результатов, полученных Милгрэмом в опытах на людях, которые он описал в 1983 году в книге «Подчинение авторитету». Когда авторитетная фигура, такая как экспериментатор в белом халате,

приказывала испытуемому тянуть за рычаг, чтобы ударить током другого человека, испытуемый покорно подчинялся и многократно тянул за рычаг, даже если жертва (актер, которого реально, конечно, током не били) каждый раз болезненно реагировала на шок. Если бы на Землю прилетел марсианин, он бы мог заключить на основании этих экспериментов, что макаки способны понять чужую боль, а люди — нет. В отличие от марсианина мы знаем, что люди способны к состраданию. Вот выразительный отрывок из романа Джорджа Элиота «Адам Бид»:

«...сердце [Адама] радостно забилося. Раньше Хетти никогда так не краснела при виде его. «Я напугал вас», — сказал он, полный убеждения, что слова сейчас не имеют значения, так как Хетти чувствует то же самое».

Конечно, макака-резус сочувствует ближним и волнуется об их благополучии, что подтверждается экспериментами. Но возможна и другая интерпретация результатов. Допустим, обезьяне, которая должна была тянуть за рычаг, не нравилась реакция соседней макаки на шок, и она отказывалась от возможности получить банан, лишь бы избежать неприятных эмоций. Или она опасалась, что соседка отомстит ей за боль, когда они окажутся в одной клетке. В таком случае макака руководствовалась не состраданием, а собственным интересом. Но при любой интерпретации эти эксперименты показывают особую социальную чувствительность обезьян, подтверждают, что макаки имеют эмоции и цели, которым способны следовать. Такая информация помогает ученым изыскивать средства для обеспечения благополучия животных.

Есть ли более гуманные способы узнать о потребностях, желаниях и целях братьев наших меньших? Разговаривать с ними, как доктор Дулиттл, сочиненный Хью Лофтингом, мы не можем. Однако в нашем распоряжении имеются ме-

тодики наблюдения за поведением животных. Эти методики позволяют выяснять, чем конкретная особь готова заплатить за получение желаемого. Рассмотрим недавние эксперименты, проводимые над норками, живущими в питомнике.

Зоотехники, разводящие норок, считали, что их подопечные живут в хороших условиях. Под «хорошими условиями» они подразумевали наличие всего необходимого для здоровой жизни. Но ученые из Кембриджского университета считали, что для «здоровой жизни» требуется кое-что еще, помимо пищи и воды. Джорджия Мэйсон и его коллеги соорудили семь разных клеток: в одной был бассейн, в другой — платформа, в третьей — груда камешков, в четвертой — добавочный домик, в пятой — туннель, в шестой — игрушка, в седьмой — ничего, кроме домика и контейнеров для воды и корма. Рассудив, что все животные ищут комфорта, ученые решили предложить норкам сделать выбор, где жить. А чтобы доступ к клеткам был не слишком прост, они утяжелили дверцы. Эксперимент имитировал замкнутую экономику, при которой каждый должен за все платить. Мэйсон с коллегами предполагали, что каждая норка будет рваться в облюбованную клетку, потому что находящиеся там вещи ей жизненно необходимы.

К их удивлению, все норки сосредоточились в клетке с бассейном. Ученые увеличили вес дверцы. Тот же результат. Тогда исследователи убрали бассейн. В ответ у норок поднялся уровень гормона стресса (кортизола). Что хотели норки? Бассейн. Почему? Потому что на воле они много времени проводят в реке или ручье, охотясь за раками и лягушками. Вывод: чтобы норкам создать на фермах условия для «здоровой жизни», нужно потратиться на небольшие бассейны. Без водоема норки ощущают такой же стресс, как и без пищи. Спрашивается, с какой стати зоотехники лишали зверьков бассейна? Здесь нет никаких ни экономических, ни этических обоснований. Обыкновенное невежество, которое рассеяли ученые из Кембриджского университета.

Опыты с макаками-резусами и норками показывают, как научные методы позволяют определить, что чувствуют и

хотят животные и какое практическое применение находят полученные результаты. Но описанные опыты довольно примитивны по сравнению с экспериментами генетиков и нейрохирургов. Теперь, когда мы можем изменять клеточную структуру животного, удаляя определенные гены или вводя новые, а также можем удалять или пересаживать куски мозговой ткани, диапазон решаемых вопросов сильно расширился. Но расширился и диапазон потенциальных этических проблем. Возьмем недавно выведенную «умную» мышь, названную в честь шустрого телегероя Дуджи Хаузера. Эта мышь была получена с помощью методик генной инженерии. Дуджи ввели дополнительную копию гена NR2B, играющего важную роль в формировании памяти, и она оказалась сообразительнее контрольных экземпляров. Дуджи быстрее их различала объекты, отвечала на негативные раздражители и находила трап. Равноценна ли сообразительность интеллекту — вопрос спорный, но результаты эксперимента явно указывают на последствия генных манипуляций. Для того, кто интересуется влиянием генетики на когнитивные функции, эти результаты выглядят просто ошеломительными. Они не только говорят об эффективности генных технологий, но и позволяют предполагать, что генная инженерия способна помочь в решении некоторых практических проблем, особенно в лечении определенных заболеваний. Например, увеличив количество связанных с памятью рецепторов в мозге, теоретически можно предотвратить потерю памяти у людей, страдающих болезнью Альцгеймера.

Но воодушевление, вызванное экспериментами над мышами, вскоре несколько померкло. Другие эксперименты выявили угрозу, которую таят манипуляции с генами и мозгом. Через два года после создания Дуджи ученые узнали о побочном эффекте искусственной «гениальности». Это хорошо описывается присказкой: «За все нужно платить». По сравнению с контрольными мышами очередная Дуджи имела повышенную болевую чувствительность. Генетик Ричард Левонтин в работе «Тройная спираль: гены, организм и ок-

ружающая среда», раскритиковав проект «Геном человека», заявил, что преждевременно делать заключение о влиянии генов на поведение организма, если мы не понимаем сложную взаимосвязь клеток и среды, в которой они функционируют. По его мнению, мы блуждаем в «генетических джунглях». Убирая какой-то ген, заменяя другим или удваивая, мы можем лишь строить статистические догадки относительно последствий. Это вовсе не значит, что манипуляции на генах или мозге следует прекратить. Наоборот, их необходимо продолжать, ибо они прокладывают дорогу к новым открытиям. Однако при этом нужно быть готовыми ко всякого рода осложнениям и трудностям.

Я часто спрашиваю у студентов: «Если бы у вас была возможность на время получить часть мозга какого-нибудь животного (с его согласия), что вы хотели бы себе пересадить и от какого существа?» В течение многих лет лидируют следующие ответы: «Обонятельную луковицу собаки, слуховую кору летучей мыши и зрительную систему орла». В этом мысленном эксперименте таится ловушка. Хотя современные технологии позволяют пересаживать некоторые части коры головного мозга человеку, для того чтобы нюхать, как собака, слышать, как летучая мышь, и видеть, как орел, пришлось бы обзавестись кое-чем еще. А именно системой обработки информации и такими периферическими органами, как собачий нос, похожие на радар уши летучей мыши и двойная центральная ямка сетчатки орла. Человек не только потерял бы характерную внешность, но и стал бы глубоко несчастным. Например, с пересаженной обонятельной системой собаки он чуял бы миллимоли мочи за сотни метров и содрогался от чудовищно резкого запаха. Собака же интерпретировала бы аромат как повод для развлечения или охоты.

Я хочу подчеркнуть важность переработки информации нашим мозгом, потому что об этом аспекте порой забывают. Для наглядности рассуждений обратимся к философскому парадоксу и фильму ужасов. В логике есть теория идентичности, согласно которой для двух объектов x и y , каждый из

которых состоит из множества частей, $x = y$ в том случае, если каждая часть множества « x » является частью множества « y » и наоборот. Классическим парадоксом для этого определения идентичности является корабль Тесея и афинских моряков. Когда греки отправились в плавание, корабль был новый. Со временем корабельные снасти выходили из строя, и моряки заменяли их новыми. К концу путешествия все исходные части корабля были заменены. Как по-вашему, является ли корабль, закончивший путешествие, тем же кораблем, который его начал? Это по-прежнему еще корабль Тесея? Прежде чем ответить, вспомните фильм Романа Полански «Жилец», в котором режиссер играет тихого канцелярского служащего, обитающего в парижской квартире. Прежний жилец покончил жизнь самоубийством, это сводит клерка с ума, и в бреду он произносит следующий монолог: «Если я отрежу себе руку, то скажу «я и моя рука», но если я отрежу себе голову, нужно ли будет говорить «я и моя голова» или «я и мое тело»?» Приведенные примеры демонстрируют сложности, связанные с интерпретацией. Если мы заменим обонятельную систему человека на обонятельную систему собаки или даже другого человека, мы изменим не личность человека, а только то, как он ощущает запахи (особенно если пересадим систему собаки). Человек, которому сделают такую пересадку, будет интерпретировать запах по-своему. Однако если дело касается других областей мозга, мы должны в каждом случае думать, не изменится ли личность. Нейробиолог Антонио Дамазо в недавней работе «Ощущение происходящего» высказал предположение, что разные части мозга по-разному влияют на восприятие человека. Пересадка некоторых областей мозга может привести к драматическим изменениям личности, как это случилось с Финиасом Гейджем. Рабочий Гейдж получил травму лобной доли и из добропорядочного гражданина превратился в абсолютно аморального типа.

Для дальнейшего обсуждения проблемы пересадки мозга давайте проведем еще один мысленный эксперимент,

основанный на достижениях нейронаук. Нейробиологу Мигелю Николелису и его коллегам удалось зарегистрировать электрическую активность сотен нейронов мозга трехполосного дурукули и с помощью этих сигналов создать управляемую механическую руку. Это доказывает, что на определенном уровне мы можем расшифровать нервный код и понять, как он управляет поведением. Теперь представьте, что вы записали нейронные сигналы любого животного и составили каталог его мыслей в разных ситуациях. Вы будете читать мысли животного, когда оно ест, спит, приводит себя в порядок, занимается сексом и общается с сородичами. Как по-вашему, вы поймете, что значит быть животным? Думаю, да. Сопоставив излучения мозга человека и животных, мы достигнем неизвестной ранее гармонии с окружающим миром.

В ближайшие пятьдесят лет появится много новых технологий. Вряд ли кто-нибудь будет их использовать таким образом. Но как бы их ни использовали, главное — это моральные последствия экспериментов. Если начнут пересаживать части мозга и включать и выключать гены, кто будет отвечать за последствия? Ученый? Врач? Животное, часть мозга которого использовали для улучшения жизни человека? Если одобряют эксперименты со стволовыми клетками и разные части мозга научатся выращивать в культуре, можно ли будет их пересаживать людям? Чтобы наука могла пользоваться творческой энергией ученых, интеллектуальный климат должен поддерживать радикальные и даже рискованные исследования, но ученые должны также осознавать потенциальные этические последствия своих действий, включая и исследования на животных. По словам Бернарда Шоу (пьеса «Майор Барбара»), вопрос о том, что «правильно» и «неправильно», «смущал философов, ставил в тупик юристов, сбивал с пути всех бизнесменов и разорял большинство художников». Шоу мог бы добавить и ученых, которые продолжают бороться с разницей между результатами работ и их последствиями.

Элисон Гопник*



ЧЕМУ ДЕТИ НАУЧАТ УЧЕНЫХ

В 1997 году ученые НАСА предложили определить, была ли когда-нибудь на Марсе вода, посредством анализа света, отраженного от гор. Если вода была, то она оставила на горной поверхности следы углекислой соли, что влияет на спектр отраженного света. В тот же год четырехлетний мальчик Кевин тоже сделал открытие. Он понял, как работает его новая игрушка. Если на нее положить кубики, раздается музыка. Кевин проследил, какая именно комбинация кубиков заставляет шкатулку играть, и с помощью этого открытия стал ее заводить. Через пятьдесят лет мы сумеем понять, каким образом Кевин и ученые НАСА смогли прийти к своим открытиям. Ответ на этот вопрос изменит наше представление о науке, детстве, мозге и, может, даже генах.

Люди знают очень многое об окружающем мире. Мы знаем о скалах, волнах и тостерах, кроликах, пальмах и пятнистой петунии, о родителях, детях и стоматологах — об огромном количестве предметов, планет, животных и людей. В общем и целом, наши знания весьма точны: мы хорошо

* Элисон Гопник — профессор психологии в Калифорнийском университете. Ведущий специалист в области детского обучения, она одна из первых показала, как психология развития может помочь решить старые философские проблемы. Автор книг «Мир, мысли и теории» (в соавторстве с Эндрю Мельцов) и «Ученый в колыбели: разум, мозг и как дети обучаются» (в соавторстве с Патрисией Кул и Эндрю Мельцов).

понимаем, как работает тостер, как растет петуния и в чем задача стоматолога, и мы ежедневно используем эти знания, когда нажимаем кнопки на тостере или договариваемся о встрече. Мы не рождаемся с этими знаниями, мы приобретаем их в процессе жизни.

Мы также знаем о том, что выходит за рамки повседневности, — о марсианских горах, вирусах и нейронах. И эти знания тоже довольно точны, ибо позволяют бороться с такими древними проблемами, как оспа и депрессия, не говоря уж об облысении, импотенции и мигрени.

Но каким образом мы получаем все эти знания? В конце концов, единственным источником информации об окружающем мире для нас являются крошечные фотоны, попадающие в сетчатку, и воздушные вибрации, ударяющие в барабанную перепонку. Как из такого ограниченного и несвязанного набора стимулов можно извлечь информацию, позволяющую узнать правду об окружающей действительности? Слово «правда» может звучать несколько метафизически, но все мы знаем много правдивых фактов: высокая температура позволяет выпекать хлеб; растениям необходима вода; если записаться на прием к стоматологу и не прийти, то он рассердится. С психологической точки зрения наши знания обо всем этом не менее удивительны, чем знания из области теоретической физики или астрономии. Каким образом взаимодействие между физическими объектами приводит к тому, что один объект узнает что-то о другом?

За последние пятьдесят лет развития психологии этот вопрос усложнился. Новые технологии позволили лучше понять развитие разума. Младенцы и маленькие дети, как выяснилось, знают и усваивают гораздо больше, чем мы когда-либо предполагали. К трем-четырем годам они уже знают фундаментальные основы того, как устроен мир. Теория познания должна объяснить, как очень маленькие дети, не умеющие читать, писать и даже как следует говорить, могут так быстро и так много выучить. Наша способность к обучению не может быть связана только с образованием или

тренингами, или социальными институтами — скорее, она является неотъемлемой частью человеческой природы.

За последние пятьдесят лет когнитивная наука объяснила, что представляют собой наши знания об окружающем мире, как мы эти знания используем и как эти знания закодированы в нашем мозге. Наука о развитии мозга сильно продвинулась в понимании того, как изменяются наши знания по мере нашего взросления. Но мы все еще не понимаем, откуда берутся эти знания и каким образом они дают нам истинную картину окружающего мира. Обучение так и остается в разряде «неразгаданные тайны», где-то рядом с сознанием и романтической любовью. Сомневаюсь, что за ближайшие пятьдесят лет мы лучше поймем сознание или романтическую любовь. Но я думаю, что мы сильно продвинемся в научном понимании обучения.

Возвратимся к другому предмету изучения когнитивной науки, к человеческому зрению. Как происходит превращение комбинации попадающих в глаза световых лучей в информацию об объектах и их передвижениях в пространстве? Откуда нам известно, что попадающий на сетчатку свет является двумерной проекцией трехмерного мира? Ведь нам не кажется, что мы живем в плоском мире, хотя логически могло бы. Похоже, бессознательная коррекция изображения увиденного является нашей врожденной чертой: даже очень маленькие дети отклоняются от приближающегося объекта.

Но самое интересное не то, что мы знаем эти факты о своем зрении, а то, что они позволяют нам узнавать огромное количество других фактов. Я интуитивно считаю, что изображение на сетчатке является двумерной проекцией трехмерного объекта. Это позволяет мне заключить, что определенное изображение на сетчатке в данный момент должно прийти от двух дисков, соединенных толстым стержнем и лежащих на полу под определенным углом. Это, в свою очередь, помогает мне найти очки.

Конечно, существует обман зрения, особенно если психолог демонстрирует зрительные иллюзии. Но гораздо чаще

зрение поставляет верную информацию, благодаря чему мы делаем правильные заключения об окружающем мире.

Но как мозг делает такие заключения? Возможно, в ответ на определенные импульсы клеток сетчатки активируются определенные нейроны, которые передают информацию дальше. Нейробиологи могут зарегистрировать активность определенных клеток зрительной коры, когда животное на что-то смотрит, и таким образом построить что-то вроде схемы коммутаций. Результаты подобных работ показывают, как это все работает на практике и как мозг проводит необходимые вычисления.

В изучение зрения внесли свою лепту разные дисциплины. Психологи объясняют, какие изображения предметов из какой зрительной информации возникают и что мы ощущаем, когда в наши глаза попадает определенная комбинация световых лучей. Это определяет существо проблемы. Математики демонстрируют, как можно решить эту проблему путем принятия некоторых общих допущений относительно связи объектов и световых лучей. Кибернетики показывают, как эти решения могут применяться в работе реальных физических машин. И нейробиологи объясняют, как эти решения могут использоваться в работе физической машины, заключенной в черепную коробку.

Подобная стратегия в состоянии помочь понять процесс обучения. Сначала нужно определить существо проблемы, затем математически выработать ее возможные решения при определенных допущениях и посмотреть, применимы ли эти решения к работе нашего головного мозга. Последнее время уже наблюдается подобная конвергенция новых подходов к изучению этой проблемы со стороны разных дисциплин, например философии науки, статистики и психологии развития. В ближайшие пятьдесят лет это приведет к формулировке законченной научной теории, объясняющей процесс обучения.

Теперь поговорим о том, как мы узнаем о причинной связи вещей — о том, как одно событие вызывает другое. Это

весьма важная проблема, особенно для маленьких детей. Психологи показали, что дети хорошо понимают причинно-следственные связи. К трем-четырем годам ребенок уже знает базовые факты о тостере и петунии, которые знают и взрослые люди. Кроме того, к пяти годам они узнают больше, чем знали в три года, а к семи — еще больше. Как и ученые, ребенок, похоже, хорошо понимает причинно-следственные связи.

Но знание о причинно-следственных связях — хороший пример разрыва между тем, что мы ощущаем, и тем, что мы узнаем. Впервые эту проблему сформулировал философ Дэвид Хум. Все, что мы видим; — это череда событий. Один тип событий может всегда следовать за другим, но откуда мы знаем, что первое событие вызывает второе? В реальной жизни причинно-следственные связи редко включают только два события. Десятки разных явлений могут быть сложным образом взаимосвязаны. В реальной жизни очень редко одно событие всегда следует за другим, более того, мы не всегда знаем, какое из них случилось первым. Неуверенность и запутанность делают сложными даже причинно-следственные связи между обычными явлениями. Это тостер задымился и сжег хлеб или хлебные крошки вызвали поломку устройства? Или мы запрограммировали слишком высокую температуру и соответственно сожгли хлеб и спалили тостер? Мы видим лишь сиюминутную путаницу.

Как ее распутать? На ум приходят два способа. Первый — поставить серию экспериментов. Например, запрограммировать высокую температуру, не кладя хлеб в тостер, или посыпать хлебные крошки на нагревательный элемент при низкой температуре. Второй — понаблюдать, в каких случаях элемент дымит, а в каких — нет. Тостер дымит только при высокой температуре независимо от наличия хлеба? Или он дымит только когда в нем лежит уже сгоревший хлеб? Или он дымит при любой температуре?

Ставя эксперименты или проводя наблюдения, мы делаем предположения относительно взаимосвязи между про-

исходящими событиями, так же как мы делаем предположения относительно того, как двухмерные образы соотносятся с трехмерными объектами. Так же как мы никогда не думаем, что живем в плоском мире, мы никогда не думаем, что живем в мире без причинно-следственных связей. Конечно, как и в случае зрения, демоны могут нарушать связи, чтобы нас одурачить. Но мы не учитываем этих демонов и движемся вперед. Как сказал Эйнштейн, «Бог изощрен, но не злонамерен».

Группа философов под руководством Кларка Глимура из Университета Карнеги — Меллона и кибернетик Джудеа Перл с коллегами из Лос-Анджелесского университета, штат Калифорния, начали разработку математической модели, которая бы позволила выйти за границы интуиции и представить причинно-следственные связи в виде прямого ациклического графа (байесовской сети). Разработка основывается на предположении, что если одно событие вызывает другое, то изменение одной переменной с большой вероятностью вызовет изменение другой. Если хлебные крошки вызывают задымление, то их наличие повышает вероятность появления дыма. Эту причинно-следственную связь можно представить в виде стрелок, соединяющих переменные. Байесовская сеть делает некоторые простые и общие допущения относительно того, как комбинация причинно-следственных связей (комбинация стрелок) соотносится с комбинацией переменных. Вот три схемы взаимосвязи между кнопкой регулировки температуры, подгоревшим хлебом и дымящимся элементом, соответствующие трем описанным гипотезам причинно-следственных связей:

- А. Регулятор температур > горящий хлеб > дымящийся элемент (Терморегулятор приводит к подгоранию хлеба, что вызывает задымление элемента);
- В. Регулятор температур > дымящийся элемент > горящий хлеб (Терморегулятор приводит к задымлению элемента, что вызывает подгорание хлеба);

С. Дымящийся элемент < регулятор температур > подгоревший хлеб (Терморегулятор независимым образом вызывает задымление элемента и подгорание хлеба).

Каждая из этих схем по-разному объясняет взаимосвязь между переменными с учетом базовых предположений относительно причинно-следственных связей. Это позволяет сделать верное заключение на основании результатов экспериментов и наблюдений. Например, если из схемы «А» убрать подгоревший хлеб, то больше не должно быть связи между регулятором температур и нагревающим элементом, а если убрать хлеб из схем «Б» и «В», то связь должна сохраниться. Если мы уменьшим температуру или каким-то другим способом подпалим хлеб, то элемент задымится только в том случае, если верна схема «А». Если мы увеличим температуру, но предотвратим задымление элемента, то хлеб подгорит, только если верна схема «А» или «С». Разные схемы причинно-следственной связи будут соответствовать разным взаимоотношениям между переменными, даже если мы не будем реально проводить эксперименты. Математика позволяет подробно описать все эти связи между причинными факторами и вероятностью происхождения событий с помощью гораздо более сложных структур, чем те, которые я использовала.

Математика предлагает некоторую причинно-следственную логику. Классическая дедукция отталкивается от нескольких базовых допущений и логических выводов, превращая их в математический метод выведения истинных заключений из истинных предпосылок. Новая причинно-следственная логика делает несколько базовых допущений относительно причинно-следственной связи, а затем предлагает систематический метод выведения истинных заключений из результатов наблюдений и экспериментов.

Кибернетики начали превращать абстрактные математические формулы в компьютерные программы, которые способны реально изучать мир. Одно из основных различий

между компьютером и человеком в том, что компьютерные программы могут делать только то, что вы им сказали. Тест Тьюринга, позволяющий сравнить компьютер и человека, требует не только того, чтобы компьютер мог делать то же, что взрослый человек, но чтобы он также обучался этому на основе опыта, соотносимого с опытом ребенка.

Кибернетики переводят математические допущения в подобие причинно-следственных графиков, которые выдает компьютер на основании определенных комбинаций данных. С помощью этих подходов ученые, работающие на НАСА, создали программу, благодаря которой робот смог определить состав камней на Марсе на основании данных спектрометра, не консультируясь с экспертами на Земле.

Все эти рассуждения, возможно, кажутся не связанными с вопросом, с которого мы начали: мы хотим знать, как обучаются обычные люди — и особенно обычные дети, — а не только оснащенные технологиями ученые, статисты и компьютеры. Но появляются свидетельства того, что в процессе обучения все используют одни и те же математические допущения относительно взаимосвязи между вероятностью происхождения события и причинной связью. Психологи, изучающие то, как взрослые люди определяют причинные связи, приходят к тем же математическим моделям, что и ученые-философы.

Психологи полагают, что дети в возрасте двух лет неосознанно используют математическую логику. Мы можем дать ребенку эквивалент тостера — машину, способную производить разные сложные действия, или снабдить его указаниями относительно того, как работает эта машина, или позволить ему самому догадаться о принципе действия и посмотреть, что будет дальше. Удивительно, но ребенок довольно быстро находит правильное решение исходя из имеющейся в его распоряжении информации. Маленькие дети действительно не уступают в находчивости ученым. Конечно, в отличие от ученых, дети совершенно не понимают, как именно приходят к своим заключениям.

В ближайшие пятьдесят лет мы сумеем заглянуть в работу мозга, чтобы понять, как человек приходит к тому или иному решению. По мере развития методик визуализации мы начнем понимать, как устроен мозг и как функционирует. Ответы на эти вопросы скорее всего будут связаны с грандиозным прорывом в нейронауках. Самая важная черта мозга — способность реагировать на получаемую из внешнего мира информацию, но именно этот аспект наименее изучен. Такая ситуация равносильна тому, как если бы мы узнали все об анатомии мертвого сердца. Кроме всего прочего, мозг способен обучаться, и если мы узнаем больше о механизмах обучения, то получим важную информацию о работе мозга.

В ближайшие годы вопрос о том, как обучается мозг, может оказаться частью более общего вопроса, касающегося морфологического развития вещества, заключенного в черепной коробке. Другая актуальная проблема двадцать первого тысячелетия — каким образом что-то настолько простое, как оплодотворенная яйцеклетка, превращается во что-то настолько сложное, как новорожденный ребенок. Один из уроков генетических исследований последних лет заключается в том, что геном нельзя рассматривать как подробную инструкцию для построения организма, он не является точным планом. Но тогда как он работает? Похоже, работа генов сводится не к выполнению точных указаний механизма наследования, а к инициации каскада взаимосвязанных процессов внутри клетки, которые и оказывают на нее вполне предсказуемое влияние. Например, гены, отвечающие за половые признаки, вызывают выработку тестостерона, который воздействует на организм очень сложным образом. Иногда условия складываются не так, как «ожидают» гены, и система дает сбой. Однако в большинстве случаев условия вполне предсказуемы, и геном этим пользуется, создавая сложный организм.

Инструкции ДНК можно представить как код, в котором зашифрованы общие допущения относительно взаимодей-

ствий между клетками, а также между клетками и окружающим миром (что в большинстве случаев подразумевает другие клетки) до рождения организма и после него. Зашифрованные допущения относительно наших взаимосвязей с окружающим миром позволяют нам хорошо приспособиться к окружающей среде. Во всяком случае, этот общий подход вполне применим в биологии.

Самым значительным достижением унифицированной теории познания будет демонстрация того, что самый гениальный ученый и самый посредственный ребенок занимаются в принципе одним и тем же. В конце прошлого века знания начали становиться самой ценной валютой, подобно земле в феодальную эпоху или капиталу в эпоху капитализма. Когнитивные науки докажут, что знания — это не просто приз, который можно выиграть в отчаянной борьбе, это результат процесса познания, изначально присущего человеку.

Пауль Блум*



К ТЕОРИИ МОРАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Студенты, начинающие изучать общий курс психологии, часто удивляются, насколько это скучная наука. Они приходят в аудиторию, надеясь узнать о том, как работает разум и получить какое-то представление о таких вещах, как сон, сознание, зло, сумасшествие и любовь. Закончив семестр, они разбредаются по городам и весям, смутно вспоминая об ингибиторных синапсах, павловских собаках и скиннерских крысах, а также о забавных и странных социопсихологических экспериментах и последней систематике психических заболеваний. Но вопросы, которые их интересовали, остались без ответа, и что еще хуже — у них появилось ощущение, что эти вопросы никто не изучает.

Сегодня ситуация несколько улучшилась по сравнению с тем, что было десять лет назад, и есть признаки того, что к середине двадцать первого века психология станет менее скучной. Она будет охватывать широкий круг проблем и выдавать на-гора массу теоретических разработок. Она обогатится методами и идеями из таких областей знаний, как

* Пауль Блум — профессор психологии в Йельском университете, всемирно признанный специалист по проблемам развития языка. В соавторстве со Стивеном Пинкером написал одну из основополагающих работ в этой области. Автор более пятидесяти статей по психологии, лингвистике, когнитивным наукам и нейронаукам, а также книг «Как дети узнают значение слов» и «Тела и души», готовящейся к публикации.

эволюционная биология, культурная антропология и философия разума. Другими словами, через пятьдесят лет она мало чем будет отличаться от себя самой столетней давности.

Перенесемся в девятнадцатый век. В конце 1859 года Чарлз Дарвин опубликовал труд «Происхождение видов». Там он предсказал: «В будущем откроется новое важное поле для исследования. Психология будет прочно стоять на новом фундаменте, а именно на необходимости приобретения каждого умственного качества и способности постепенным путем». А за двадцать лет до этого в своем дневнике он записал: «Тот, кто поймет бабуина, сделает больше для развития метафизики, чем Локк». В следующих книгах «Происхождение человека и половой отбор» и «Выражение эмоций у людей и животных» он попытался объяснить психологическую разницу между человеком и другими представителями животного мира.

В 1890 году Уильям Джеймс напечатал «Принципы психологии» — обобщающий труд о разуме. В то же время вышла другая книга. Она принадлежала перу Зигмунда Фрейда. Хотя влияние Фрейда сохраняется до сих пор, в современной психологии к его идеям относятся очень неоднозначно, так как и клинические и экспериментальные данные не подтверждают их. Сегодня труды Фрейда имеют скорее исторический интерес, чем практический, и часто оказываются предметом насмешек, хотя Фрейд обладал экстраординарным интеллектом, энтузиазмом и амбициозностью. Например, вот с чего начинается его «Толкование сновидений», опубликованное в 1899 году: «На следующих страницах я покажу, что существует методика, позволяющая интерпретировать сновидения, при ее применении каждый сон превратится в смысловую психическую формацию, которая имеет определенное место в процессах, происходящих внутри нас, когда мы бодрствуем». Дух широкой исследовательской программы Фрейда, его стремление объединить науки о разуме на основе интерпретаций бессознательных процессов были очень созвучны работам Дарвина и Джеймса.

В следующие сто лет психология, стремясь обрести самостоятельность, отделилась от таких дисциплин, как философия и эволюционная биология. Одним из результатов этого стало развитие бихевиоризма, который утвердился в американской психологии двадцатого века. Бихевиоризм, отрицая положение Джеймса о том, что психология — это «наука о психической жизни», основывается на том, что можно объективно изучать лишь наблюдаемое явление, что любое поведение есть результат обучения и что нет принципиальной разницы между процессами обучения разных видов (например, человека или крысы).

Сегодня бихевиоризм — абсолютно отмершее течение, потому что все его постулаты оказались ложными. И хотя благодаря бихевиористическим исследованиям родилась новая методика (технология тестирования способностей у не умеющих говорить животных и младенцев), с ними связано очень мало открытий, касающихся изучения человеческой природы. Сегодня доминирующее течение в психологии — когнитивное, опирающееся на вычислительный анализ психической жизни, при этом все больше говорят о динамике параллельной обработки данных или о работе нервных сетей. Однако возможности когнитивной психологии ограничены, то, что нельзя смоделировать на компьютере, ей недоступно. Она занимается исследованиями игры в шахматы, дедуктивным мышлением, распознаванием объектов и языка, а также различными формами памяти. Эмоции, половое влечение, мотивации, личность и тому подобное изучают прикладные науки, такие как клиническая психология.

И все-таки благодаря растущему взаимодействию с другими областями знания положение дел меняется. Вполне закономерно, что некоторые идеи пришли в психологию из других наук — философии (Дэниел Деннетт и Джерри Фодор), теории эволюции (Уильям Гамильтон и Роберт Трайверс), экономики, антропологии и лингвистики. Одним из самых влиятельных специалистов в области психологии стал

лингвист Ноам Чомски, чьи нападки на книгу Б.Ф. Скиннера «Вербальное поведение» добились бихевиоризм.

Весьма продуктивной оказалась связь психологии с эволюционной биологией. В последние несколько лет отмечается растущий интерес к положению Дарвина о том, что мозг, как и все остальные органы, развивался по закону естественного отбора, поэтому умственные способности можно толковать как адаптации и побочные продукты. Исследователи, изучающие зрительное восприятие, никогда не сомневались в том, что глаз эволюционировал именно как орган зрения. Но в других областях психологии разговоры об эволюции все еще считаются наивными и даже похакивающими политикой. Вышедшая в 1975 году книга Э.О. Уилсона «Социобиология» не получила должного признания из-за того, что в ней была сделана попытка применить эволюционные подходы к рассмотрению таких явлений, как агрессия, половое влечение и альтруизм. Тем не менее усилиями Леды Космидес и Джона Туби из Калифорнийского университета в психологии возникло новое направление — эволюционная психология. Она объединяет когнитивную психологию науки и эволюционную биологию. Многие ее положения кажутся весьма противоречивыми, но программа исследований вызывает большой интерес. Это особенно важно, так как в виде самостоятельной ветви психологии она вряд ли доживет до 2050 года. Думается, сам термин «эволюционная психология» станет анахронизмом. Он предполагает наличие разделов психологии, которые не занимаются процессами отбора, адаптации и т.д. Конечно, всегда найдутся психологи, пренебрегающие эволюцией и, наоборот, увлеченные механизмами развития, но ценность данных, предоставляемых эволюционной психологией, не вызывает сомнения.

Взаимодействие с разными дисциплинами будет для психологии очень плодотворно. Традиционно психология изучала две популяции: студентов первых курсов и белых крыс. В последнее время круг исследуемых объектов расширился,

и отнюдь не вследствие наивного убеждения, что разум у всех одинаковый, но потому, что изучение разных видов позволяет оценить эволюцию психических систем. Кроме того, можно рассматривать разные аспекты жизни и оценивать лежащие в их основе психические процессы. Сегодня множество методик активно используется при изучении памяти и восприятия, скоро это станет нормой и для социальной психологии и для психологии личности.

Рассмотрим в качестве примера изучение моральных норм. В «Происхождении человека» Дарвин пытался объяснить человеческую мораль в терминах общего совершенствования человеческого интеллекта. Он хотел возвести эмоциональные реакции наших предков в ранг этических норм. Моральный код можно было бы использовать в качестве объективной оценки. Джеймс с Дарвином не согласился. В книге «Принципы» он заявил, что уникальный аспект человеческой природы является просто результатом дополнительных социальных инстинктов, таких как застенчивость и скрытность, которые отсутствуют у других животных. Современник Дарвина Альфред Рассел Уоллес высказал собственную точку зрения. По его мнению, человеческий альтруизм настолько загадочен, что само его существование свидетельствует о неприменимости теории естественного отбора к человеческому разуму. В итоге проблема альтруизма и морали, ранее рассматриваемая только философами и теологами, стала центральной в эволюционной психологии.

На вводных курсах психологии о морали не говорят. Там посвящают несколько часов изучению крыс и анатомии нервной системы приматов. Лично я специализируюсь на психологии развития, и меня удивляет, почему учебники уделяют больше внимания изучению языка, чем моральному развитию. Неужели не важно, как у ребенка формируются понятия о том, что такое «хорошо» и что такое «плохо», и как они влияют на детское поведение?

Злого умысла здесь нет, скудность информации связана не с отсутствием интереса к вопросу, а с тем, что мы слишком

мало знаем о психологии развития. А ведь изучение данного аспекта жизнедеятельности имеет большое практическое значение. Родители и государственные деятели хотят знать, как воспитать из детей порядочных людей и достойных граждан. Такое желание можно считать универсальным, хотя каждый по-своему понимает что хорошо, а что плохо. Мы стремимся получить ответы на конкретные вопросы: можно ли шлепать детей; как влияет насилие в кино и видеоиграх на формирование ребенка; имеет ли ребенок, растущий в полной семье, преимущество перед своим ровесником из неполной семьи; как влияет детский сад на ребячий темперамент и умение соперничать.

Несмотря на то что говорят по телевизору и пишут в газетах, точных ответов на эти вопросы нет. Есть лишь догадки. Однако мы смеем утверждать, что дети хороших родителей имеют больше шансов стать хорошими людьми, чем дети плохих родителей. При этом не важно, что подразумевается под словом «плохих»: жестокое обращение, алкоголизм, шизофрения или наплевательское отношение к беременности. Грехи родителей часто отзываются на детях. Почему так происходит, мы не знаем. Возможно, это эффект воспитания: агрессивность ребенка стимулируется агрессивностью родителей. А может быть, здесь играет роль генетическая предрасположенность, и связь между агрессивностью родителя и ребенка проявилась бы даже в том случае, если бы они никогда не встретились. Можно предположить и влияние ребенка на родителей: агрессивный ребенок с большей вероятностью вызывает гнев и жестокость у взрослых. Существуют и другие объяснения. Вероятно, здесь играют роль многие взаимосвязанные факторы.

Недавно вышла монография, содержащая результаты изучения влияния телевидения на подростков. В контрольную группу входило пятьсот семьдесят человек. Когда им было по пять лет, их протестировали на телевизионные предпочтения. Десять лет спустя ученые проверили их успеваемость и поведение. Выяснилось, что те дети, которые до

школы смотрели много образовательных программ, лучше учатся и отличаются меньшей агрессивностью по сравнению с теми, которые, сидя на горшках, смотрели видеофильмы, переполненные насилием. Результаты исследования согласуются со здравым смыслом: образовательные программы на экране — это хорошо, а насилие там же — это плохо.

Однако авторы монографии идут дальше банальных выводов. Они утверждают, что среди детей одни более склонны к агрессии, другие менее. Пятилетние малыши сами выбирали, что смотреть: «Улицу Сезам» или «Улицу Вязов». Значит, результаты исследования всего лишь показывают, что агрессивные дошкольники становятся хулиганами, а тихие дети — «ботаниками». И значит, телевидение не играет в воспитании никакой роли.

Не знаю, правы ли авторы монографии. Может, телевидение и оказывает какое-то влияние на подрастающее поколение. Нам нужно не только больше исследований, нам нужна теория морального развития, опирающаяся на разные дисциплины, включая когнитивную психологию и эволюционную теорию. Нам нужна такая четкая теория морального развития, которая не уступала бы теориям развития языка и восприятия. Только тогда мы сможем осмысленно изучать проблемы причинности и профилактики.

Появится ли такая теория в ближайшие пятьдесят лет? Пока я настроен оптимистично: я верю, что психология станет интереснее, границы между разными дисциплинами сотрутся, диапазон исследований расширится и т.д. Что же касается прогресса в понимании глубоких проблем, таких как мораль или сознание, то здесь я бы присоединился к Ноаму Чомски и философу Колину Макгинну. В конце концов, мы люди, а не ангелы, и могут быть вещи, которые мы просто не в состоянии понять. Возможно, природа морали или сознания лежит за пределами человеческого разума. Возможно, в этом мы напоминаем собак, старающихся понять математику.

Психологам остается лишь двигаться вперед, надеясь, что мы с Чомски и Макгинном ошибаемся. Однако отсут-

ствии заметного прогресса должно привести их к некоторой скромности, особенно в отношении формирования социальной политики. Именно из-за отсутствия прогресса в психологии я не говорил о ее практической ценности. Разве не следует ожидать, что психология будущего сможет исцелять психические заболевания, что она одолеет несчастье, предубеждения и невежество, научит растить добродетельных, счастливых и независимых людей и сделает еще много добрых дел? «Конечно, следует», — отвечают статьи в глянцево-журналах и труды психологов, уверенных в своих силах и жаждущих получить гранты и политическое влияние.

На самом деле, практическая польза от психологии минимальна. Советы психологов насчет управления обществом, борьбы с криминалом, образования и воспитания детей — в лучшем случае всего лишь проявление здравого смысла. Меня умиляет распространенное убеждение в том, что ребенка нужно окружать социальными и когнитивными стимулами в первые три года жизни, иначе контакта с ним не установить никогда. Родителям предлагают давать младенцам слушать музыку Моцарта, не водить своих чад в детские сады и, главное, не разлучать мать с ребенком в первые часы его жизни. Единственная позитивная сторона подобных рекомендаций — это их недолговечность. Если вам не нравятся ученые советы по поводу того, как воспитывать детей, чему их учить, как с ними обращаться, подождите, через пару лет психологи начнут говорить что-нибудь другое.

Оптимизм диктует, что через пятьдесят лет психология станет более зрелой наукой. Она будет использовать методы, апробированные в смежных отраслях знания. Она вплотную займется природой морали. Мы приблизились к пониманию работы разума, чтобы осознать всю сложность поставленной задачи и то, насколько нам далеко до ее разрешения.

Джеффри Миллер*



НАУКА О ТОНКОСТЯХ

Когда речь заходит о человеке как об эмоциональном существе, многие из нас становятся ограниченными материалистами, которые полагают, что субъективный опыт нельзя считать реальным, если он не связан с определенными областями мозга, нейротрансмиттерами или экспрессией генов. Иными словами, если нам известно, что за восприятие определенного вида боли отвечает определенная область мозга, то такую боль мы признаем научно доказанной, но если до сих пор не обнаружено, какой отдел мозга отвечает, например, за ревность или страх, то к этим эмоциям мы относимся скептически; если при шизофрении описан дефицит определенных нейротрансмиттеров, значит, это истинное заболевание, но если ничего такого не зафиксировано, значит, это не настоящее заболевание, а просто проявление вздорного характера или дурных манер.

Ограниченные материалисты не только не уверены в собственном сознании, но и в прогрессе своей доктрины. Они извращают суть нейронаук, стремясь найти в них подтверждение всем субъективным вещам. Подобный взгляд на человеческую природу можно назвать инфантильным, он представляет людей в сильно упрощенном виде.

* Джеффри Миллер — профессор психологии в Университете Нью-Мексико. Автор книги «Спаривающийся разум: как половой выбор определил эволюцию человеческой природы».

Знаменитые материалисты Чарлз Дарвин и Уильям Джеймс имели совсем другую точку зрения. Они утверждали, что все нюансы мыслей и чувств обусловлены мозговой активностью. Не поступаясь своими убеждениями, они признавали за человеком право на сложную духовную жизнь. Я думаю, что через пятьдесят лет психологи согласятся с Дарвином и Джеймсом. Способность человека на тончайшие переживания станет бесспорным фактом, что благотворно скажется на состоянии нашего общества. Ограниченные материалисты склонны считать, что люди, эгоистичные и надменные, недалеко ушли от животных. Они игнорируют качества, которые мы приобрели недавно, — креативность, доброту, юмор и воображение. Более гибкий подход к изучению человеческой природы поможет нам лучше понять друг друга, в результате мы станем более отзывчивыми и скромными, ибо осознаем, что каждый из нас обладает богатым внутренним миром.

Для правдоподобного описания человеческой природы требуются новые технологии картирования нейронной активности и работы генов в головном мозге. В ходе экспериментов испытуемый должен не только решать простые задачи, которые не вызывают у него особых эмоций, но и вступать в сложные отношения с другими людьми, отношения, связанные со всем спектром свойственных нам чувств. Это даст в какой-то степени реальную картину психической деятельности человека и позволит выявить действительные, а не мнимые различия между отдельными личностями.

Сто лет назад подробный и красочный портрет человеческого сознания можно было составить на основе чтения романов Генри Джеймса. Современная массовая культура не представляет такой возможности — «Виаком» и «Дисней» считают изображение тонких движений души малоприбыльным. Образовавшуюся пустоту придется заполнять науке.

В девятнадцатом веке психологией в основном занимались мужчины, принадлежащие к западной буржуазной интеллигенции. Они изучали себе подобных, полагая женщин,

детей, необразованных людей, представителей иных культур, а также животных умственно неполноценными. Как ни странно, сегрегация сослужила добрую службу. Изучение психологически сходных объектов позволило ученым разработать методики описания разных сторон душевной жизни. Интеллигенты, в свою очередь, увлеклись психологией, о чем свидетельствует переписка между братьями Джеймс Уильям и Генри активно предавались самоанализу, стараясь проникнуть в глубину сознания. Психологией занимались и естествоиспытатель Чарлз Дарвин, и антрополог Фрэнсис Гальтон, и невропатолог Зигмунд Фрейд, и философ Франц Brentano, и социолог Джеймс Марк Болдуин, и физиолог Вильгельм Вундт. Они не боялись размышлять о природе эмоций, эстетики, любви, семейной жизни и даже измененного сознания.

В двадцатом веке с демократизацией культуры и усилением тенденций редуционизма и позитивизма сегрегация в психологии исчезла. Однако, расширив круг изучаемых объектов, психология сузила сферу своих интересов. Ведущим направлением в первой половине столетия стал бихевиоризм. Его адепты, например Джон Уотсон и Б.Ф. Скиннер, рассматривали субъективные переживания как иллюзорные. Они концентрировались на вопросах обучения, которое считали основой поведения, полагая, что мышление, чувствования и социальные взаимосвязи никакого отношения к психической деятельности не имеют.

В 1960-х годах в психологии произошла когнитивная революция. Ученые начали воспринимать психические процессы как познавательные операции. Это позволило получить компьютерные модели восприятия, осмысления и разговора. А социальные, половые, семейные взаимоотношения, романтическая любовь, родительская гордость или профессиональная ревность опять остались за бортом. Позитивизм, эмпиризм и редуционизм переложили ношу доказательств на тех, кто стремился описать человеческое сознание языком цифр. Любое состояние, не поддающееся

измерению, рассматривалось как нереальное. В итоге большая часть субъективной человеческой жизни выпала из поля зрения психологии.

Короче говоря, в двадцатом веке западная культура и западная психология «американизировались». Они стали более доступными — и менее глубокими; более объективными в методологии — и менее точными в результатах; более политизированными — и менее гуманными. Они сфокусировались на отдельных людях как на инопланетянах, состоящих из разных компонентов и напрочь лишенных социальных, половых и семейных связей. Наконец, они научились описывать простые рефлексы и использовать их в целях рекламы и пропаганды, но потеряли интерес к сколько-нибудь сложным проявлениям человеческой природы вроде двойственности, воображения, сострадания.

Думаю, через пятьдесят лет подобное положение дел сочтут неприемлемым. Новые технологии позволят изучать гораздо больший диапазон субъективных переживаний человека. Появится более правдивая модель человеческой природы благодаря тому, что ученые станут исследовать реальные мысли и чувства в контексте социальных взаимоотношений.

Например, методы визуализации головного мозга смогут показать, какие его отделы активны при выполнении определенных умственных задач. До сих пор большинство таких задач представляют собой стандартные тесты на восприятие или познавательные способности, испытуемого они не волнуют. Студентом я побывал в шкуре подопытного кролика. В течение шести часов я среди прочих сравнивал простые геометрические фигуры в лаборатории Медицинской школы (штат Колумбия). Я был привязан к койке, на мою голову были направлены двадцать счетчиков Гейгера, на лице у меня лежала маска, через которую поступала смесь кислорода и радиоактивного ксенона. Я усердно рассматривал фигуры, но попутно был занят совсем другим. Я переживал из-за недавней ссоры с девушкой, припоминал сюжет филь-

ма Пазолини, обдумывал разговоры по поводу явного угасания президента Рейгана. Экспериментатор, сочтя мои мысли «шумом», усреднил полученные данные и тем удовлетворился.

Сегодняшние технологии визуализации мозга не позволяют изучать сложные мысли и чувства, необходимо разработать новые. В какой-то степени поможет усовершенствование используемых инструментов. Если удастся зафиксировать, какой кубический миллиметр мозга активен в ту или иную миллисекунду, то тонкие психологические процессы станут нам понятнее. Не исключено, что придется вернуться к практике девятнадцатого века, когда опыты ставили на себе. Думаю, будет полезно совместить самоанализ с визуализацией собственного мозга, чтобы понять, какие именно области вещества задействованы в данном случае. Впрочем, такой подход будет иметь поведенческие ограничения. Невозможно уделять внимание экспериментальным данным о своем мозге и одновременно участвовать в социальных взаимоотношениях, которые обычно требуют полного нашего внимания, например, флиртовать, торговаться, спорить, кормить ребенка.

Большим подспорьем при изучении человеческого сознания может стать картирование геной экспрессии. Каждая клетка мозга имеет полный набор генов, но в каждый момент времени лишь некоторые клетки экспрессируются (переводят свою информацию в РНК, а затем в нужный белок). Более того, области мозга различаются по рисунку геной экспрессии, а тот меняется и в процессе нашего развития, и в зависимости от того, в какую ситуацию мы попадаем. Существует обратная связь между социальной обстановкой, нейрофизиологией, экспрессией генов и поведением. Нет никаких сомнений, что картина геной экспрессии изменяется, когда мы влюбляемся, когда умирает наш друг или когда мы получаем продвижение по службе. Почти любое состояние души, длящееся несколько часов, вызывает изменение экспрессии генов. Ученые лишь начинают отслеживать эту связь.

С развитием технологий и появлением возможности отслеживать генную экспрессию в реальном времени перед нами откроется дорога к новой психологии. Нам удастся проследить связи между современными социальными ситуациями и генетически запрограммированными моделями поведения, которые они вызывают. Мы сумеем пойти дальше путаных заявлений, что природа и питание «неразделимы», и составить более четкую картину, как определенные ситуации, мысли и чувства активируют определенные гены и наоборот. Эволюционную биологию перестанут считать набором «историй». Мы увидим генетические следы эволюции повсюду в нашем мозге.

Новые методики визуализации мозга и картирование генной экспрессии значительно обогатят наш опыт. Если найдутся объективные нейронные и генетические маркеры, то те состояния сознания, которые сегодня кажутся эфемерными или уникальными, будут на полном основании считаться неотъемлемыми частями человеческой природы.

Психологи девятнадцатого века исследовали себя, пренебрегая окружающими, они любовались собственным богатым внутренним миром. Бихевиористы двадцатого века забывали о себе и разбирались в окружающих, они описывали примитивную человеческую природу, основанную на обучении и вычислительных процессах. Психологи двадцать первого века сотрут границы между собой и окружающими, между субъективным и объективным. Они выявят нейронные и генетические характеристики самых мимолетных, самых причудливых и двойственных проявлений человеческого сознания. В результате появится гораздо более гуманная наука о человеке. Я надеюсь, что в 2050 году студенты, пройдя первый курс психологии, с нетерпением будут ждать начала нового семестра.

Михай Чиксентмихай*



БУДУЩЕЕ СЧАСТЬЯ

Зачем, во имя чего контролировать генетику человека?

Вот проблема, которая будет остро стоять перед нами через пятьдесят лет.

Наши предки использовали грубые методики генетического отбора. Задолго до того, как стало известно о существовании генов, фермеры знали, что дети наследуют черты родителей и что можно вывести тыкву невиданных размеров или улучшить породу свиней путем селекции. Несложно было предположить, что принцип «от лучшего рождается лучшее» применим и к человеку. Платон посвятил большую часть пятой книги своего сочинения «Государство» вопросу использования принципов разведения охотничьих собак для «усовершенствования» государства. В главе 459 он писал:

«...лучшие мужчины должны соединяться с лучшими женщинами, а худшие с худшими, причем как

* Михай Чиксентмихай — американец венгерского происхождения, в прошлом декан факультета психологии Чикагского университета. В настоящее время профессор менеджмента в Университете последиplomного образования (Кларемонт, штат Калифорния). Его исследования и теоретические разработки в области психологии «оптимального опыта» использовались такими известными политическими деятелями, как Билл Клинтон и Тони Блэр, а также руководителями многочисленных крупных корпораций по всему миру. Автор бестселлеров «Поток: психология оптимального опыта», «Эволюционирующая личность: психология третьего тысячелетия», «Творчество» и «В поисках потока».

можно реже, и потомство лучших мужчин и женщин следует воспитывать, а потомство худших — нет, только так можно поддерживать общину в лучшем виде. Но делать это следует скрытно, так чтобы знали об этом лишь правители, иначе возникнет опасность восстаний». Ранее, в третьей книге, в главе 415 он заявил: «И Бог прежде всего требует от правителей, чтобы они сильнее всего прочего охраняли чистоту расы».

Почти все общества в свое время занимались тем, что мы называем «евгеникой» или «генной инженерией». В оправдание они часто утверждали, что их действия не имеют ничего общего с биологией, что таковы религиозные обряды или народные обычаи. Полезно помнить, что мысль о праве каждого человека на воспроизводство появилась относительно недавно. Прежде считалось, что размножаться должны лишь избранные, те, кто с большой вероятностью мог родить умных и красивых детей.

Практика свидетельствовала в пользу брака, заключаемого между людьми здоровыми, сильными, благообразными, материально благополучными. В качестве гарантии, что дети не станут обузой для общества, было принято требовать в одних странах приданое от невесты, в других — калым от жениха.

Общественное мнение поддерживало вековую традицию. Если человек был беден или болен, то шансы обзавестись семьей у него резко сокращались. Существовали и более радикальные способы регулирования рождаемости — кастрация и детоубийство. Наверное, крещение младенцев также служило, кроме всего прочего, отбору жизнеспособных индивидов, ибо не всякий малыш благополучно переносил погружение в холодную воду.

Старинная селекция шла наугад, без малейшего понимания того, как разные признаки передаются по наследству. Ситуация сильно изменилась в наши дни. Сегодня активно

развиваются два направления науки о человеке — генетика поведения и эволюционная психология. Генетика поведения изучает основы поведения и все, что с ним связано, — психические заболевания, склонность к разводу, политические предпочтения и даже чувство удовлетворенности жизнью. Эволюционная психология ищет механизмы, посредством которых эти признаки переходят от поколения к поколению. Оба подхода предполагают, что в формировании поведения, мыслей и эмоций участвуют природа и воспитание, но в отличие от практики двадцатого века нынче природе отдается предпочтение.

Хотя важные признаки вряд ли могут зависеть от одного или даже нескольких генов, некоторые специалисты уверены: эра «разработки детей» не за горами. Даже если их оптимизм чрезмерен, нельзя отрицать, что мы скоро окажемся перед трудным выбором. Интересно отметить, что ведущие генетики, с которыми я и мои коллеги разговаривали в последнее время, редко всерьез относятся к спорным аспектам своей работы. Они утверждают, что их исследования не имеют ничего общего с евгеникой. Возможность клонирования человека вызывает у них смех, а опасность использования достижений генетики в дурных целях их вообще не волнует. Они почти единодушно отрицают свою ответственность за применение добытых знаний. С их точки зрения, само общество должно решить, как распорядиться генными технологиями. «Созрело ли «общество» для принятия подобного решения?» — такими вопросами генетики не задаются. Поневоле приходит на ум история, случившаяся с физикой. В 1940-х годах Нильс Бор утверждал, что результаты экспериментов по расщеплению атомного ядра не имеют никакого практического применения.

Если генетики не желают задумываться, поразмышляем мы. Допустим, что ученые научатся резко повышать интеллектуальный уровень, лежащий в основе лингвистических и математических способностей. Хорошо это или плохо? До недавнего времени для того, чтобы стать преуспевающим,

большого ума не требовалось. Нужно было быть только трудолюбивым, честным, порядочным, доброжелательным. Сегодня способность к абстрактному мышлению является необходимой предпосылкой для любого материального или социального успеха. Если мы начнем генетически усиливать этот признак, то тенденция вырастет в геометрической прогрессии. Увеличится разрыв между «гениальными» и «средними» людьми и соответственно разница в их экономическом и политическом положении. Это приведет к распространению инбридинга: тот, у кого коэффициент интеллекта выше 200, никогда не выберет себе пару с коэффициентом ниже 150. Если генные манипуляции повлияют на гаметы, то такие предпочтения автоматически передадутся и следующим поколениям.

Но что, если повысить интеллект у всех людей, у всей цивилизации в целом? Будет ли это хорошо? Неизвестно. Как говорил Аристотель, избыточная добродетель переходит в порок: смелость — в безрассудство, осторожность — в нерешительность. Сомнительная связь между гениальностью и безумием заставляет предполагать, что за сверхинтеллект человек может поплатиться, например, гиперчувствительностью, которая ведет к развитию тревожности и депрессии. Или, судя по эгоистичной направленности рациональных рассуждений в стиле Айн Рэнд, произойдет обратное: возникнет вид, превосходящий нас по равнодушию и жестокости.

Более фундаментальный вопрос — если мы научимся манипулировать человеческими генами, то нам следует стремиться к единообразию или разнообразию? Перспектива сделать всех землян умными, красивыми, амбициозными и успешными очень заманчива. Разнообразие же чревато риском. Кто знает, что оно преподнесет! Однако аргументы Е.О. Уилсона в пользу биологического разнообразия применимы и к психологии. Однородная масса не только выглядит пугающе унылой, но и может оказаться просто-напросто нежизнеспособной. Так как будущее всегда непредсказуемо,

опасно ориентироваться на признаки, отвечающие сиюминутной потребности. Лучше иметь разнообразный генофонд, обеспечивающий широкую палитру свойств, тогда человечество не потеряет способности к адаптации.

Если генная инженерия будет руководствоваться рыночными принципами, а не подчиняться указаниям центрального компьютера, сколько в следующем поколении должно быть воинов, рабочих и тунеядцев, то наибольшим спросом будет пользоваться технология производства счастливых детей. Родители на вопрос: «Что вы желаете для своего ребенка?» обычно отвечают: «Хорошее образование, хорошая работа, но самое главное — счастье на избранном пути». В этом они сходятся с Аристотелем. Действительно, образование, деньги, красота, ум — лишь средства для достижения цели, в то время как счастье — сама цель. Если с помощью неких ухищрений удастся сделать детей счастливыми, то будущие родители выстроятся в многокилометровые очереди на прием к генетикам.

Согласно результатам обследования близнецов, выращенных вместе и по отдельности, счастье на 50% определяется генетическими факторами. Конечно, оценка степени «счастья» вызывает сомнения (каждый это понимает по-своему), но существуют определенные признаки удовлетворенности жизнью. Судя по ним, счастье зависит не от личных успехов или неудач, а от экономических условий, политической обстановки и прочих внешних факторов. Тем не менее наследственность играет важную роль.

Допустим, через несколько десятков лет мы научимся увеличивать вероятность счастья у наших детей. Выиграют ли они от такой услуги? Выиграет ли общество и человеческий вид в целом? Прежде чем ответить, давайте выясним, что нам известно о счастье.

Очевидно, что мерой счастья служит самоощущение. Оно коррелирует с мнениями родственников и друзей, со случаями патологий и поведением. Человек, чувствующий себя счастливым, и выглядит таковым и держится соответ-

ственно. Как правило, счастливые люди являются экстравертами, они имеют стабильные взаимоотношения с окружающими и ведут здоровую и продуктивную жизнь.

Значит, все в порядке? Не совсем. Одно из распространенных определений счастья гласит: «Это состояние, когда ничего больше не хочется». Счастливые люди не склонны высоко ставить материальное благополучие, они менее восприимчивы к рекламе и пропаганде, их меньше интересуют власть и успех. Да и с чего бы? Они уже счастливы. Боюсь, что счастливое общество несовместимо с нашей экономической системой, построенной на удовлетворении ненасытных потребностей.

До сих пор академическая психология пренебрегала проблемой счастья. Думаю, рано или поздно ей придется навёрстывать упущенное. Для этого психологи будут вынуждены вернуться на круги своя, а именно заняться психикой. Основным предметом их исследований станет не какая-то «душа», а набор весьма конкретных феноменов, происходящих в головном мозге в моменты восприятия, интегрирования и реакции на внешние или внутренние раздражители. Реальность таких явлений, как страх, радость, гнев или надежда, к которым у человека есть непосредственный доступ, бесспорна.

Лично я хочу разработать систему феноменологии, которая бы помогла ответить на следующие вопросы: как мысли, чувства, цели и действия людей изменяются в течение дня и всей жизни; как эти компоненты сознания взаимодействуют; в какие моменты повседневной жизни люди ощущают счастье. Любой из этих вопросов тянет за собой десятки других, например: как влияют на сознание возраст, пол и этническая принадлежность; как показатели, полученные сегодня, соотносятся с показателями, полученными в прошлом году. Известно, что люди, чем-то увлеченные, целеустремленные, чувствуют себя счастливее тех, кто ведет вялую, пустую жизнь. Чем меньше человек делает исключительно

для себя и чем шире круг его общения, тем более счастливым он себя ощущает.

Важно учитывать, что сознание весьма специфический предмет, его нельзя исследовать методами, подходящими для более простых систем. Это состояние непрерывно меняется. На основании текущего момента невозможно точно сказать, что будет через минуту, даже имея всю информацию о биохимии мозга, генетике, обучении и т.д. Любая случайность способна направить ход мыслей или эмоций по совершенно новому пути.

Эта непредсказуемость особенно четко прослеживается в творческой деятельности. Некоторые считают, что стихотворение (соната, картина или научная теория) отражает умонастроение поэта. Они ошибаются. Зачин произведения действительно порождает мысли и чувства, владевшие поэтом до того, как он взялся за перо. Но развитие стиха (и здесь уместно вспомнить о стихии) целиком зависит от зачина, от того, какие он вызывает ассоциации. Образуется расширяющийся круг значений, возникающих из автономной, самоорганизующейся системы, опирающейся на свое предшествующее состояние, но не ограниченное им.

Возьмем более распространенный случай — реакцию родителей на рождение ребенка. Генетиков и психологов-эволюционистов очень интересует, как и почему у родителей возникает или не возникает духовная связь со своим чадом. Рождение ребенка — старейший человеческий опыт, через него прошли все поколения. Тем не менее первый взгляд на своего ребенка всегда поражает. К этому событию нельзя подготовиться. Имея информацию о новорожденном (облик, здоровье, поведение) и его родителях (взаимоотношения, материальное положение, общая удовлетворенность жизнью), можно лишь гадать, что именно они почувствуют в данной ситуации. Точный прогноз исключен, ибо на сознание родителя будут влиять очень много внешних, преходящих факторов.

Психология, займись она вплотную изучением сознания, позволит нам получить базу для осмысленного выбора будущего. В прошлом мы были подобны пассажирам в эволюционном поезде. Сегодня эволюция больше похожа на космическую ракету, и мы уже не пассажиры, а пилоты. Кем мы собираемся населить нашу планету? Биологическими копиями компьютеров или существами, открытыми всему новому, развивающимися непредсказуемым образом?

Психология вроде вырывает на верную дорогу. В США и других странах серьезные ученые начинают изучать вопросы, которые несколько десятилетий назад не признавались научными проблемами (разум, жизненные цели, внутренние мотивации и духовность). Будучи президентом Американской психологической ассоциации, Мартин Е.П. Селигман основал организацию «Позитивная психология». Намерения ее далеко выходят за рамки лечения психических патологий. Среди задач — выявление «сильных сторон», присущих всем временам и культурам, таких как разум, отвага, упорство и честность. Затем планируется изучение того, как эти качества приобретались и культивировались. Подобная работа не менее важна, чем практическая терапия и профилактика заболеваний. Она даст нам необходимые знания для успешного решения дилемм, которые неизбежно возникнут через пятьдесят лет.

Роберт Сапольски*



БУДЕМ ЛИ МЫ ЧЕРЕЗ ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ ТАК ЖЕ ПЕЧАЛЬНЫ?

В начале нового века очень сложно удержаться от соблазна, во-первых, отдать должное наиболее значимым событиям или достижениям предыдущего столетия и, во-вторых, заглянуть в будущее.

Например, можно рассмотреть заболевания, которые удалось победить. Логичным выбором будет оспа — победа над ней стала одним из самых больших достижений медицины, но еще больше хочется упомянуть полиомиелит, хотя во многих развивающихся странах он еще весьма распространен. Здесь, на Западе, многие еще помнят ужасный аппарат «железные легкие», изобретенный в начале двадцатого века, когда полиомиелит всюду свирепствовал. Многие выжившие, которым сейчас за пятьдесят, лежат с постполиомиелитным синдромом — последним эхом этой болезни, их

* Роберт Сапольски — профессор биологии в Стэнфордском университете, профессор нейрологии в Стэнфордской медицинской школе и научный сотрудник Национального музея Кении. Изучает стресс и неврологические заболевания вот уже двадцать лет. Его последняя книга «Память приматов» стала результатом ежегодных поездок в Африку. Автор книг «Стресс, стареющий мозг и механизмы нейронной смерти», «Проблемы с тестостероном и исследования биологических основ других человеческих проблем» и «Почему у зебр не бывает язв: руководство по борьбе со стрессом и связанными с ним заболеваниями».

не до конца разрушенная нейромышечная система слабеет и атрофируется. Представляют интерес и работы Сэбина и Солка. А может, лучше выбрать болезни, которые сегодня не стали менее актуальными, но против которых наука пока бессильна? Тогда выстроится в ряд малярия, СПИД, злокачественные новообразования, заболевания сердца, диабет второго типа и болезнь Альцгеймера.

Но если говорить о тяжелой болезни, которая сегодня приобретает характер эпидемии, то надо остановиться на большой депрессии.

Под «большой депрессией» я подразумеваю не плохое настроение после какой-то неудачи, когда через несколько дней мы осознаем, что это все-таки не конец света. Большая депрессия выводит человека из строя на месяцы и даже годы; ее жертвы впадают в глубокое отчаяние и лишаются способности нормально работать, любить, поддерживать социальные связи, спать и есть. Многие просто не могут так жить, примерно в половине случаев страдающие большой депрессией пытаются покончить жизнь самоубийством. Депрессия — современное психическое заболевание, биологическое нарушение, связанное с генетическими, нейрохимическими и гормональными изменениями. На развитие депрессии сильное влияние оказывают условия, окружающие человека, вызывающие ощущение беспомощности.

Большая депрессия очень распространена, пятнадцать процентов жителей развитых стран страдали ею хоть раз в жизни. И она продолжает распространяться: за последние пятьдесят лет заболеваемость ею в западноевропейских странах и США неуклонно растет. Кому-то эти данные могут показаться сомнительными. «Сегодня больные депрессией чаще обращаются за медицинской помощью, чем в прошлом, и врачи с большей вероятностью ставят правильный диагноз», — возразят они. А я им отвечу, что приведенные ранее данные являются результатами строгих эпидемиологических исследований. Так что заболеваемость депрессией действительно все время растет.

И что нам ожидать через пятьдесят лет? К сожалению, я думаю, эта медицинская проблем вряд ли исчезнет и скорее всего станет еще острее.

Почему я так считаю? Нам (и нашим телам) часто приходится иметь дело с проблемами, которые оказываются очень болезненными, если мы теряем контроль над ситуацией или оказываемся неподготовленными к ней. Стресс также может возникнуть из-за потери социальной поддержки и связанным с этим разочарованием. В 1970-х годах Мартин Селигмэн с коллегами из Университета Пенсильвании разработали удивительно полезную модель депрессии. Она называется «выученная беспомощность». Сталкиваясь со стрессовым воздействием, человек обычно воспринимает его в контексте данной ситуации, ограничивает его в своем сознании и понимает, что свет на нем клином не сошелся. Тогда человек справляется с ситуацией. При депрессии он теряет способность локализовать потрясение, стресс приобретает глобальные размеры, человек приходит к катастрофическому заключению: «Плохо не только то, что случилось событие, которое я не могу контролировать, но плохо вообще все, и я ничего не могу контролировать в жизни». Таким образом человек обучается беспомощности. В принципе сильнейший стресс может кого угодно вывести из равновесия. Просто людей, предрасположенных к депрессии, она настигает быстрее, чем других. С точки зрения биологии депрессию можно охарактеризовать как неспособность восстановить душевное спокойствие после воздействия неблагоприятного фактора и склонность в стрессовой ситуации впадать в отчаяние, которое наносит дальнейший урон.

Если повезет, в будущем многие факторы, вызывающие депрессию, сойдут на нет. Выпускница школы сама станет решать, кем ей быть — нейрохирургом, директором предприятия или спортсменкой. Разного рода сегрегации, вроде еврейских квот, «ирландцы не принимаются» и прочие, исчезнут. Многие из тех, кто традиционно оказывался на обочине жизни, найдут свое место под солнцем. Общество в

какой-то степени подберет, и большинство людей смогут так или иначе контролировать свою жизнь. Возможно, сократится рабство, сжигание вдов и изнасилования — хотя, наверно, нельзя ожидать от нашего вида слишком многого.

Уже сейчас наука ищет действенные способы борьбы с депрессией. Мы узнали кое-что о нейротрансмиттерах. Не исключено, что они участвуют в развитии депрессии. Есть предположение, что при этом заболевании вырабатывается очень мало серотонина или уменьшается чувствительность к нему клеток-мишеней. Лучшим подтверждением этой гипотезы является эффективность антидепрессанта прозак, который селективно повышает выработку серотонина, передающего сигналы между нейронами. Препарат продолжают совершенствовать, и скоро он будет действовать быстрее и сильнее, а также лишится побочных эффектов, таких как сексуальные нарушения у мужчин и ослабление памяти и внимания у всех людей. Мы узнали, как стресс и чувство беспомощности, а также связанные с ними гормональные изменения приводят к нейрохимическим нарушениям, ведущим к развитию депрессии. Теперь ученые пытаются разработать новую стратегию лечения депрессии на гормональном уровне.

Мы постепенно приближаемся к пониманию природы этого недуга. Установлено, что в мозге человека, длительно страдающего депрессией, некоторые области аномально уменьшены, особенно гиппокамп, играющий ключевую роль в формировании определенных видов памяти. Поступают данные и о роли наследственности — например, генетические различия в работе серотонинэргических нейронов или в синтезе гормонов стресса. Возможно, самый удивительный прогресс будет достигнут в понимании биологических основ личности. Эти знания помогут лучше понять механизмы запуска депрессии у разных людей и соответственно обнаружить рычаги для ее остановки.

Но почему тогда я все равно считаю, что в будущем мы станем печальнее? В основном потому, что сегодня слишком

много депрессогенных факторов. Могу вообразить речь рассерженного критика: «Вы хотите сказать, что сейчас слишком сложные времена? А как насчет Европы Барбары Такман*? Или Великой депрессии? А о Второй мировой войне вы слышали?»

Насколько мне известно, депрессия в четырнадцатом веке была очень распространена и психика средневекового европейца сильно отличалась от нашей. Но и в современном мире депрессия — не в диковинку, потому что все больше людей оказываются вне рамок социальной поддержки. Наши традиционные источники утешения в будущем, без сомнения, сократятся. Семьи будут распадаться все чаще, т.к. уровень разводов только растет. Связи внутри общины уступят место мобильности и анонимности, которые мы так ценим. Сегодня редко кто проводит всю жизнь в маленьком городке в окружении родных и друзей.

Новые технологии вряд ли помогут понизить уровень стресса, несмотря на то что (а может, вследствие того что) мы на это рассчитываем. Мы будем продолжать изобретать способы экономить время, а затем, как обычно, будем пересматривать свои планы, увеличивая количество намеченных дел. Мы будем получать все больше материальных благ, пока наши представления о базовом уровне удобств не изменятся. У нас огромное количество разных приспособлений и широкий выбор удовольствий, но все это оказывается бесполезным, когда мы задумываемся, какой готовый завтрак предпочесть, к какому хирургу-косметологу обратиться или какой новый автомобиль или супруг(а) сделают нас счастливыми.

Многие стресс-факторы нацелены на глобальное чувство беспомощности. Хотя в нашем более цивилизованном будущем жестокость будет сильнее ограничена, всегда найдутся те, кто не станет подчиняться ограничениям. Если будет недоступно оружие, городской забияка возьмет в руку палку.

* Имеются в виду знаменитые книги Б. Такман «Августовские пушки» и «Далекое зеркало». Первая посвящена Европе накануне и в начале Первой мировой войны, вторая — Европе XIV века. — *Примеч. ред.*

И как бы ни развивались средства массовой информации, они по-прежнему будут рассказывать о стрельбе в соседнем городе, геноциде на соседнем континенте, об умирающих детях и исчезающих экосистемах.

Есть еще одна чрезвычайно важная причина для вероятного роста депрессии. Когда мы смотрим по телевизору репортажи об этнических чистках, о бойне в колледже, о грязных делишках членов семьи президента, наши дети сидят рядом с нами. Не отсюда ли растущее количество депрессий среди подростков и молодых людей? Ведь сильные переживания в детстве заметно повышают риск развития депрессий в подростковом возрасте и в последующие годы. В детстве человек узнает о возможностях контроля над внешними ситуациями и возможных источниках поддержки. А мы учим детей с самого раннего возраста, что мир полон боли и печали и что в подавляющем большинстве случаев ничего поделать с этим нельзя. Ни один ребенок не в состоянии эффективно ограничить в своем сознании эту удручающую информацию, как взрослый. В результате у ребенка развивается обостренная тяга к материальному благополучию как к защите от превратностей окружающей среды. Эта тенденция тоже приняла масштабы эпидемии. Другая возможная реакция, более распространенная среди тех, кто склонен к состраданию и размышлениям, — это снижение болевого порога. Семена отчаяния у следующих поколений уже посеяны.

А как насчет лекарств — эффективных препаратов, которые сделают нас счастливее и спасут от боли? Доступные сегодня антидепрессанты, в общем, не слишком эффективны. Многие пациенты вынуждены отказываться от их приема вследствие непереносимых побочных эффектов. Другие годами экспериментируют с разными лекарствами, в надежде добиться хоть какого-то облегчения. Многим это так и не удается, и они умирают от передозировки.

Но почему не предположить, что в конце концов будет изобретено фармацевтическое орудие, которое победит де-

прессию? Боюсь, на это не стоит рассчитывать. Перед тем как засесть за этот очерк, я попробовал найти вице-президента фармацевтической компании, который бы сказал: «Депрессия? Через двадцать лет вы о ней забудете». Но даже заядлые оптимисты не решились сделать подобный прогноз.

И это неудивительно. Медицинский прогресс может идти разными путями — осушать болота, изничтожая комаров — разносчиков малярии, делать прививки, спасая города и села от оспы, отсекают и облучают злокачественные клетки, избавляя человечество от рака. Но в борьбе с депрессией такие подходы не годятся — панацеи от превратностей судьбы не существует. Если честно, то ученые, клиницисты и психологи-эволюционисты, изучающие проблему депрессии, должны спрашивать не почему это заболевание имеет такое распространение, а как мне и вам удастся его избежать.

Стивен Строгац*



«МАЛЕНЬКОЕ ОТКРЫТИЕ» ФЕРМИ И БУДУЩЕЕ ТЕОРИИ ХАОСА И СЛОЖНОСТИ

2 декабря 1942 года, проводя секретные эксперименты на площадке Чикагского университета, Энрико Ферми впервые в мире осуществил цепную ядерную реакцию, что стало решающим шагом на пути к созданию атомной бомбы. Благодаря этому имя физика стало известно широкой публике. Но в узком кругу, среди ученых, он славился другим, а именно удивительной эрудицией. Ферми был выдающимся теоретиком и экспериментатором. Вот как его описывал Якоб Броновски: «Это самый умный человек из всех, кого я когда-либо видел — ну, может, за одним исключением. Он был невысокого роста. Сосредоточенный, авторитетный, проницательный, очень спортивный. Он всегда имел четко

* Стивен Строгац — профессор Центра прикладной математики при Корнельском университете. Занимается исследованиями сна и циркадных ритмов, спиральных волн, спаренных генераторов, синхронного мерцания светлячков, перехода Джозефсона и сетей «маленького мира». Сотрудничает с такими средствами массовой информации, как «Нейчер», «Сайнс», «Сайентифик американ», «Нью-Йорк таймс», «Нью-Йоркер», Би-би-си и «Си-би-эс ньюс». Автор популярного учебника «Нелинейная динамика и хаос: применительно к физике, биологии, химии и инженерии». Скоро выйдет его книга «Синхронизация», ориентированная на широкий круг читателей.

поставленную цель, которую представлял себе очень конкретно».

Незадолго перед смертью, в 1954 году, Ферми забавлялся тем, что физики называют искусственной задачей. Прекрасный в своей простоте вопрос не представлял никакой практической ценности. Для Ферми решение было лишь способом изучить некую фундаментальную проблему. И вот представился шанс. Будучи в Лос-Аламосе, Ферми увидел новый суперкомпьютер «МАНИАК». Он не мог устоять перед соблазном и попросил Джона Паста и Станислава Улама симитировать на машине вибрацию гибкой цепи из тридцати двух частиц. Вся система должна была представлять собой идеализированную одномерную атомную решетку, удерживаемую химическими связями. При слабых вибрациях химические связи двигаются линейно: если их растянуть, они возвращаются обратно. На этом допущении строилась вся традиционная физика твердых тел. Но Ферми знал, что реальные связи не будут двигаться линейно при достаточно сильной вибрации. Его интересовало, что тогда произойдет. Математические модели того времени не позволяли ответить на этот вопрос, никто не мог решить уравнения для нелинейных систем из такого количества частиц.

Конечно, это было то, что нужно. Ферми взялся за эту проблему, потому что ее невозможно было решить традиционными методами. Теперь, с помощью нового компьютера, он с коллегами мог пролить свет на нелинейные системы — самый темный вопрос классической физики. Результаты оказались шокирующими. Ученые полагали, что при возмущении системы нелинейные движения приведут к тому, что все частицы начнут двигаться случайным образом одинаково во всех направлениях. Такое равномерное распределение энергии предсказывается термодинамикой. Но компьютер показал совсем другое. По прошествии очень длительного времени частицы вернулись почти точно в исходное состояние. Стало очевидно, что нелинейные системы могут при-

водить к порядку. Нелинейность рождает хаос, но затем сама его и устраняет.

Ферми пришел в восторг от неожиданного феномена, «маленького открытия», как он с нежностью говорил. К сожалению, великий физик не успел опубликовать полученные результаты. Паста и Улам, чтобы не присваивать себе честь «маленького открытия», потихоньку включили данные в отчет и лишь спустя десять лет поместили их в сборнике работ Ферми.

В начале 1950-х годов проблема Ферми — Паста — Улама должна была выглядеть особенно странной. Тогда физика в основном занималась проблемами квантовой электродинамики. Никто и не думал о такой устаревшей вещи, как классическая механика. Разве ее не полностью изучили за три сотни лет? Только Ферми понял, что все как раз наоборот, что классическая механика едва изучена, а нелинейные системы вообще не затронуты. Оглядываясь назад, можно сказать, что Ферми попал в точку и с выбором проблемы и с использованием компьютера.

В первой половине двадцатого века были созданы удивительные приборы, позволяющие изучать нелинейные системы: вакуумная труба, благодаря которой появились радиоприемники и телевизоры, система фазовой синхронизации, позволившая создать радар, и коммуникатор, лазер, очень пригодившийся для точной оптики и хирургии глаза. Изобретения основывались на самоподдерживающихся нелинейных колебаниях, а именно на тенденции синхронизироваться друг с другом или с входящим сигналом. В новых технологиях использовались от силы два генератора, так как математика того времени не могла предсказать коллективное поведение большого количества таких единиц.

Единственной дисциплиной, которая была способна работать с огромной массой взаимодействующих частиц, являлась статистическая физика — раздел физики, в задачу которого изначально входило описание поведения газов,

состоящих из миллиардов молекул. Ферми хорошо разбирался в статистической физике и знал, что она прекрасно описывает системы в состоянии термодинамического равновесия. К сожалению, при нарушении равновесия требовались совершенно другие подходы. И это очень напоминало результаты эксперимента Ферми — Паста — Улама: система не возвращалась в состояние равновесия ожидаемым образом. Обычная статистическая физика здесь была неприемима.

Спустя пятьдесят лет после эксперимента Ферми пути нелинейной динамики и статистической физики пересеклись. Физик Митчелл Фейгенбаум, использовав ренормализационную группу (метод статистической физики, получивший Нобелевскую премию), показал, что переход от порядка к хаосу подчиняется определенным универсальным законам. Его исследования были подтверждены в таких разных системах, как клетки сердечной мышцы, химические реакции и полупроводники. Биолог-теоретик Артур Уинфри доказал, что синхронизация огромной сети биологических генераторов очень напоминает фазовые переходы, вроде быстрого замерзания воды при температуре ниже критической. Другие плодотворные модели сложных систем — модель генетических сетей Стюарта Кауфмана, самоорганизующиеся кучи песка Пера Бака, искусственные нейронные сети Джона Хопфилда — тоже обязаны своим появлением слиянию статистической физики и нелинейной динамики.

Нелинейная динамика развивалась, подчиняясь нескольким организующим принципам. Самый важный из них звучит так: небольшие системы всегда проще, чем большие. Сначала ученые разобрались с нелинейной системой, включающей две переменные. Примером подобной системы служит качающийся маятник, состояние которого полностью описывается его положением и скоростью в данный момент. При наличии этих двух параметров легко определить расположение маятника в любой момент времени.

С тремя переменными оказалось справиться сложнее. Дело в том, что такие системы могут быть хаотичны. Хаос означает, что система подчиняется определенным правилам и тем не менее ведет себя непредсказуемым образом. Пример — колебания популяций в экосистемах или капанье воды из крана. Благодаря работам Эдварда Лоренца и других теоретиков хаоса, выполненных с 1960 по 1985 год, поведение «странных» систем было охарактеризовано и объяснено. Вскоре принцип хаоса начал использоваться в практических целях, в частности для шифрования информации и создания музыкальных композиций.

Сегодня нелинейная динамика распространилась на сети из огромного количества взаимодействующих единиц. При этом сохраняет актуальность проблема Ферми — Паста — Улама с большим количеством спаренных генераторов. Среди таких спаренных систем существуют принципы организации, которые позволяют сформулировать более разрешимые задачи. Одни принципы касаются состояния отдельных компонентов системы (коллективное поведение колеблющихся частиц проще предсказать, чем поведение хаотически движущихся, идентичные частицы анализировать проще, чем разные), другие — способа связи частиц (сети с регулярной или случайной структурой проще, чем сети с более сложными связями). Совокупность этих эвристических правил подталкивает к изучению больших систем идентичных колеблющихся частиц, образующих определенную решетку или иную простую структуру. Среди самых «горячих» тем — синхронизация многочисленных спаренных квантовых усилителей, нейронов или сверхпроводящих устройств, известных как «переход Джозефсона». Некоторые исследователи вместо изучения отдельных решеток рассматривают формирование структур, или паттернов, в непрерывных средах, таких как жидкости, химические реакции, а также нервная и сердечная ткани. Кардиовопрос, пожалуй, самый кардинальный. Есть предположение, что динамика спиральных волн влияет на работу желудочков.

Близким подобием больших нелинейных систем являются «сложные адаптивные системы», как их называют исследователи в Институте Санта-Фе. Это воображаемые миры миллионов конкурирующих организмов (например, химических веществ, компаний или торговцев), каждый из которых приспосабливается к окружающим условиям и, соответственно, изменяет условия для всех остальных. Компьютерные модели разных ситуаций имеют, конечно, спекулятивный характер, но они позволяют оценить значение естественного отбора и объяснить, например, гибкость экосистем, химические основы жизни, борьбу фирм на рынке товаров и услуг, а также взлеты и обвалы фондовой биржи.

Во многих смыслах исследования ученых из Санта-Фе являются внуками исследований Ферми — Паста — Улама. Обратите внимание, насколько сходно отношение к компьютеру: он не калькулятор, а инструмент познания. И результат одинаковый: удивление. А как вам характер моделей? Одномерная цепь частиц Ферми была сильным упрощением реальных кристаллических решеток — и сегодняшние компьютерные модели сложных адаптивных систем лишь отдаленно напоминают реальные экосистемы и реальный рынок. В наши дни такая стратегия оправдывается, но в следующие несколько десятилетий ее придется менять. Главная задача — найти способы делать более реальные модели без потери информативности.

Сначала нужно будет описать связи сложных сетей. Вместо построения идеальной случайной или регулярной топологии, как это делается в существующих моделях, нужно понять структуру реальных сетей. Иначе не понять работу головного мозга или причину злокачественного перерождения клеток. В последние три года мы приступили к подробному изучению разных сетей: пищевых цепей, нервной системы, электрических схем, Интернета и т.д. Оказалось, что между ними есть кое-что общее.

Все они демонстрируют феномен «маленького мира». Другими словами, почти все пары узлов связаны довольноно

короткими цепями. Более того, количество связей на каждый узел распределяется по экспоненте, образуя больший «хвост» кривой, чем у графика нормального распределения. Это значит, что существует как уйма узлов, слабо связанных, так и значительное количество гигантских ядер («Гугл» в Интернет или АТФ в цепях биохимических реакций). По идее, топологические черты должны оказывать влияние на коллективную динамику — устойчивость к случайным ошибкам или умышленным атакам, способность к распространению инфекции или поддержанию глобальных вычислений. Однако сегодня мы не имеем понятия, как соотнести топологию сети с ее общей динамикой.

На самом деле вне физики у нас очень мало хороших моделей динамики. Хотя в биологии, социологии и экономике сети очень распространены, мы мало что знаем о правилах управления взаимодействиями между генами, людьми или компаниями. И это еще один вопрос, который нужно выяснить в ближайшие пятьдесят лет. Наши модели сложных систем никогда не пойдут дальше карикатур, если мы не найдем способ определять динамику на основании имеющейся информации.

Классическая иллюстрация этого — реконструкция нейронной динамики на основании электрофизиологических измерений, проведенных на аксоне кальмара, сделанная в 1952 году. Алан Ходжкин и Эндрю Хаксли изменили разность потенциалов на мембране нервной клетки и фиксировали ее на нужном уровне. Измеряя просачивание ионов натрия, калия и других химических элементов через мембрану и изучая зависимость этого процесса от напряжения, ученые точно описали нелинейную динамику отдельного нейрона.

Проблема в том, что метод Ходжкина и Хаксли не подходит для всех случаев. Порой невозможно зафиксировать какую-то переменную на желаемом уровне. Для примера рассмотрим генетические сети, контролирующие работу клетки. С появлением ДНК-чипов мы получили возможность одновременно измерять активность тысяч разных ге-

нов во времени, но мы все еще не знаем, какие гены с какими взаимодействуют и как они влияют на активность друг друга в количественном выражении. Вся эта информация как-то отражается в данных ДНК-чипа, но мы не в состоянии расшифровать код. Если удастся разработать способ определять динамику на основании множественных измерений, то произойдет переворот не только в биологии, но и в социологии и в экономике.

Проблема описания связей гораздо проще проблемы определения динамики. Но даже если мы разделимся с обеими, перед нами встанет новая. Это неизбежно, если мы примемся изучать нелинейные системы с миллионами взаимодействующих переменных. Грядущая проблема зародилась еще в работах Ферми — Паста — Улама. Пока мы ее игнорируем, но однажды столкнемся с ней лицом к лицу.

Сложность в том, что наш мозг способен визуализировать только три измерения. Таким он стал в процессе эволюции. Не исключено, что с помощью компьютера и тренировок мы расширим наши возможности, но весьма сомнительно, что когда-нибудь они станут беспредельными.

С тех пор как Анри Пуанкаре обнаружил хаос в гравитационных взаимодействиях трех тел, геометрия была нашим лучшим помощником в нелинейной динамике. Пуанкаре показал, что без алгебраических формул можно обойтись. Если все правильно изобразить, мы сумеем узнать много важных свойств нелинейных систем. Метод Пуанкаре подразумевает задание оси для каждой переменной состояния. Если переменных две или три, то визуализировать динамику легко. Но с сегодняшней потребностью учитывать миллионы переменных мы упираемся в стену. Геометрический подход сохраняет свою ценность, он позволяет использовать абстрактные рассуждения, но без прямой визуализации понять динамику нельзя.

Теоретикам никак не удастся объяснить турбулентность. Хотя уравнение известно уже более века, ученые не могут

понять, как его решения работают в пространстве состояний Пуанкаре. Ускользают аттракторы — сущность длительной динамики, и все потому, что пространство состояний имеет бесконечно много измерений.

Кое-кто возразит мне, что с этой проблемой давно справились, дескать, согласно статистической физике газов или магнитов пространство состояний имеет количество измерений, равное числу Авогадро (двадцатитрехзначное число), тем не менее специалист хорошо понимает эти системы. Согласен, понимает, но только в том случае, когда они находятся в состоянии термодинамического равновесия. Тогда предсказать характер их поведения в течение долгого времени не составляет труда. Я же говорю о статистическом поведении в течение длительного времени сложных систем, они далеки от равновесия. А так как теоретики пока не могут определить аттракторы, положение становится просто удручающим.

Еще сорок лет назад Ричард Фейнман сказал: «Будущая эра пробуждения человеческого интеллекта вполне может привести к пониманию качественного содержания уравнений. Сегодня мы этого не можем. Сегодня мы не видим, что уравнение течения воды включает такие вещи, как структуры турбулентности. Сегодня мы не знаем, содержит ли уравнение Шрёдингера лягушек, композиторов или мораль. Мы не можем сказать, есть ли необходимость в чем-то большем, а именно в Боге. И мы все можем иметь на этот счет собственное мнение».

Если мы хотим достигнуть эры пробуждения разума, нам необходимо бежать от демона размерности. Надеюсь, в этом помогут компьютеры. Когда-нибудь они сумеют визуализировать любое количество измерений. Они уже делают за нас грязную работу, создавая модели. Придет день, и они выведут закон самоорганизации сложных систем.

Такое предположение вызывает большой вопрос. Будем ли мы заниматься теоретическими разработками, если компьютеры начнут справляться с этим лучше нас? Если они

будут формулировать свои заключения в терминах, доступных нам, то станут чем-то вроде протезов — продолжением наших собственных чувств и мыслей, представляя не большую угрозу, чем электронный микроскоп. Но если заключения окажутся непостижимыми, то компьютеры станут для нас чем-то вроде оракулов. В математике такое уже случается. Некоторые теоремы доказаны компьютерами, однако доказательства включают столь многочисленные или сложные частные случаи, что ни один человек не в состоянии их проверить. Другой пример — ходы «Дип блю» во время шахматной игры с Гарри Каспаровым.

Не такое ли будущее уготовано изучению сложных систем? Не окажемся ли мы в роли пассивных наблюдателей, неспособных угнаться за созданными нами машинами?

Возможно, первым это почувствовал Энрико Ферми. Его компьютерный эксперимент был абсолютно новым способом научного исследования. И вполне логично, что этот эксперимент стал возможным благодаря работам его современника Джона фон Неймана, который создал первый высокоскоростной компьютер и о котором Якоб Броневски сказал, что он «самый умный человек из всех, кого я когда-либо видел, без всяких исключений».

Стюарт Кауфман*



ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ?

В эру триумфа молекулярной биологии можно предположить, что мы скоро получим ответ на волнующий вопрос «Что такое жизнь?». Увы, пока мы этого не знаем. Нам немного известно о молекулярном составе, о путях метаболизма, работе генных сетей и о способах мембранного биосинтеза, но что именно делает клетку живой, мы сказать не можем. Основа жизни остается загадкой.

Думаю, что в ближайшие пятьдесят лет мы ответим на этот вопрос, и ответ приведет к значительным изменениям в физике и химии, не говоря уж о биологии. Для моей области знаний понимание фундаментальных основ жизни будет означать освобождение от земных оков — мы выясним, существуют ли общие законы, управляющие биосферами на других планетах.

Нельзя сказать, что этот вопрос обойден вниманием. Например, в 1944 году вышла в свет книга с тем же названи-

* Стюарт Кауфман — биолог-теоретик. Почетный профессор биохимии Пенсильванского университета, член фонда Макартура, профессор Института Санта-Фе, а также член-основатель и научный руководитель «Биос групп» — компании, применяющей науку о сложности к проблемам бизнеса и управления. Двадцать пять лет назад разработал модели, представляющие собой случайные сети, проявляющие определенную самоорганизацию, которую назвал «бесплатным порядком». Автор книг «Происхождение порядка», «Исследования» и «Во Вселенной как дома: поиск законов самоорганизации» (последняя написана вместе с Джорджем Джонсоном).

ем, что и данный очерк. Написал ее не кто иной, как знаменитый физик Эрвин Шрёдингер. Но центральной темой этой великолепной книги стала не проблема жизни, автора больше интересовал источник удивительного порядка биологических систем. Автор приходит к выводу, что этот порядок не может быть следствием случайных событий, так как в таком случае следовало бы ожидать флуктуаций в масштабе, равном квадратному корню из количества участвующих частиц. Изучая мутации, индуцированные рентгеновскими лучами, Шрёдингер понял, что гены могут состоять как максимум из нескольких сотен или тысяч атомов. Ожидаемые флуктуации не соответствовали наблюдаемому наследованию признаков. Поэтому Шрёдингер предположил, что порядок требует стабильности химических связей (особенно ковалентных), которые подчиняются законам квантовой, а не классической физики. Затем Шрёдингер заметил, что простой кристалл не может содержать много информации, потому что состоит из идентичных структурных единиц. Поэтому он заинтересовался аperiодическими кристаллами, чья структура могла бы содержать микрокод, управляющий развитием организма. Шрёдингер оказался прав — уже через девять лет Уотсон и Крик описали структуру ДНК, а еще через десять лет был расшифрован микрокод, то есть генетический код.

Но если Шрёдингер так гениально предсказал источник упорядоченности организмов, ответил ли он на собственный вопрос, что такое жизнь? Думаю, нет. В этом очерке я постарался объяснить свою точку зрения.

Рассмотрим бактерию, плывущую в направлении растущей концентрации глюкозы. Мы все без колебаний скажем, что бактерия собралась покушать, нам для этого не нужно гадать, есть ли у нее разум. Бактерия самостоятельно действует в окружающих условиях. Я буду называть системы, способные к самостоятельным действиям, «автономными агентами». Автономным агентом является любая свободно живущая клетка и такой же организм. Но бактерия — это

«всего лишь» физическая система определенным образом организованных молекул. Поэтому меня занимает вопрос, не в чем источник порядка в биологии, а какими свойствами должна обладать физическая система, чтобы быть автономным агентом.

Думаю, автономным агентом является система, способная к самовоспроизводству и выполнению по меньшей мере одного термодинамического цикла. Например, жгутики бактерии постоянно вращаются и выполняют работу, двигаясь в водной среде. Бактерия способна к воспроизводству и при плавании выполняет рабочие циклы.

Но сразу возникает множество вопросов. Описывая бактерию как систему, выполняющую самостоятельные действия, я использую термины, которыми обычно характеризуют «действия» человека: «работа», «цель», «выбор». Правомерность применения к бактерии подобных терминов вызывает внутреннее сопротивление. И появляется вопрос: «Почему?» Мы ведь тоже всего лишь физические системы, представители животного мира и — шире — всякой живности на Земле. Думаю, именно потому, что осознаем это. Так что оставим философские проблемы в стороне и вернемся к нашему предмету. Мы действительно используем одинаковые выражения для описания движения всех свободно живущих организмов, даже одноклеточных бактерий. Так что, на мой взгляд, термин «автономный агент» вполне правомочен.

Возможно, найдя определение для системы, способной к самостоятельным действиям, я тем самым нашел и подходящее определение для жизни как таковой. Безусловно, эти понятия пересекаются, даже с учетом ограничений. Например, мулы и некоторые другие гибриды, безусловно, живые, хотя и не способны к размножению. Я не настаиваю на точности своего определения и того, насколько оно подходит к определению жизни, но, по-моему, в предлагаемом термине есть разумное зерно.

Несколько слов о круговых определениях в науке. Вспомните известное уравнение Ньютона $f = ma$, и подумайте, как определить f независимо от m . Сила — это то, что придает ускорение массе; инертная масса — это то, что не поддается ускорению под действием силы. Пуанкаре придерживался убеждения (с которым я согласен, хотя и не все физики со мной солидарны), что $f = ma$ — это круговое определение, в котором параметры «сила и масса» определяются один через другой. Это вовсе не умаляет заслуг небесной механики. Возьмем утверждение Дарвина, что естественный отбор способствует выживанию наиболее приспособленных особей, а ведь приспособления — это свойства, увеличивающие шансы особи на размножение. Перед нами снова круговое определение, которое не помешало теории эволюции с успехом использовать труды Дарвина.

Мое определение «автономный агент» одновременно является круговым определением и переходом к новой терминологии — понятиям «действие» и «поступок». А вот «самовоспроизводство» и «рабочий цикл» не являются круговыми определениями: их можно описать независимо от автономного агента. Но дальнейшая идентификация агента через его способность к самостоятельным действиям приведет к круговому определению. И снова это не означает, что такое определение не имеет никакой научной пользы. Применяя к своему краткому определению методы концептуального анализа, я пришел к выводу, что оно по крайней мере достаточно содержательно и интересно. Насколько полезным оно окажется, пусть скажут другие.

Характеристика химической системы, способной к самовоспроизводству и выполнению рабочих циклов, на мой взгляд, такова. Эта система обладает, например, одной цепочкой ДНК длиной в шесть нуклеотидов, катализирующей «сшивание» двух цепочек из трех нуклеотидов, которые после соединения образуют идентичный исходному гексамер. Кстати, группа Гхадири из Института Скриппса успешно продемонстрировала возможность самовоспроизводства

белка, доказав, что молекулярная репликация не обязательно должна опираться на временные копии вроде ДНК или РНК.

Рабочий цикл моего гипотетического автономного агента достигается при помощи химической реакции расщепления пирофосфата ПФ на два монофосфата $\Phi + \Phi$ с высвобождением свободной энергии. Эта энергия сопряжена с дополнительной репликацией гексамера ДНК или последовательности из тридцати одной аминокислоты. Слово «дополнительной» означает, что синтезируется больше репродуцирующихся молекул, чем в том случае, когда реакция репликации не сопрягается с реакцией пирофосфата, идущей с образованием свободной энергии. После разрушения пирофосфата в дело могут вступить другие источники свободной энергии. Например, электрон поглощает фотон и переходит в возбужденное состояние. Затем он возвращается в исходное состояние с высвобождением энергии, которая используется для синтеза пирофосфата. При этом его концентрация оказывается выше той, которая могла бы быть при отсутствии дополнительной энергии электрона. Существование рабочего цикла определяется тем фактом, что в процессе превращений $\text{ПФ} \rightarrow \Phi + \Phi$ и обратно фосфор «вертится», а не остается в состоянии равновесия. Это молекулярный мотор, выполняющий термодинамический рабочий цикл.

Многие черты моего гипотетического автономного агента довольно уникальны. Во-первых, эта система работает только вне состояния химического равновесия. Во-вторых, она является новым классом вполне допустимой неравновесной сети химических реакций, которые связывают самовоспроизводство и рабочий цикл. Мы никогда раньше не связывали эти две реакции друг с другом. Теперь мы можем изучить их экспериментально. В-третьих, по словам физика Филипа Андерсона, путем избыточного синтеза гексамеров ДНК или цепочки из 31 аминокислоты вся система запасает энергию, которая потом может использоваться для исправ-

ления ошибок, подобно ферментативному ремонту ДНК в клетках организма.

До сих пор я излагал строго научные данные. Перейдем на зыбкую почву предположений.

Меня не совсем удовлетворяет определение понятия «работа». Для физики работа — это сила, действующая на определенном расстоянии. Однако так ли все просто? В каждом конкретном случае для выполнения работы сила прилагается каким-то упорядоченным образом. Но откуда берутся исходные условия и ограничения? Обычно физики не отвечают на этот вопрос, и с точки зрения анализа движения пушечного ядра вполне допустимо игнорировать предшествовавшие движению события, учитывая лишь исходный подъем ядра, вес снаряда, силу ветра и т.д. Но чтобы отлить пушку, зарядить ее и выстрелить, пришлось выполнить работу. А если проследить все события, предшествовавшие выстрелу, то можно прийти и до Большого взрыва. Биосфера развивалась в течение миллиардов лет, и постоянно возникали новые исходные условия и ограничения. Не принимая их во внимание, нельзя ответить на вопрос об эволюционном развитии.

Другой способ продемонстрировать ущербность концепции работы — это рассмотреть изолированную термодинамическую систему. Вообразим бокс. Он в состоянии выполнять работу, только если разделен мембраной. В таком случае один отсек выполняет работу над другим. Например, если давление в разных частях неодинаково, то мембрана отклоняется в сторону того отсека, где давление меньше, выполняя механическую работу. Во Вселенной подобный процесс невозможен, если только она не разделена как минимум на две области. Но откуда взяться перегородке!

Мне больше всего нравится определение понятия «работа», данное Питером Эткинсом во втором законе термодинамики. По его мнению, работа — это «нечто», а именно вынужденное высвобождение энергии. Рассмотрим цилиндр, содержащий между поршнем и головной частью сжатый газ.

Газ расширяется и толкает поршень вниз. Что здесь является ограничениями? Очевидно, стенки цилиндра и поршень, между которыми расположен газ. Но откуда взялись эти ограничения? А вот откуда. Потребовалось выполнить работу, чтобы сделать цилиндр, соорудить поршень, совместить их и накачать в цилиндр газ. Таким образом, мы приходим к интересному циклу, который раньше исследователи не замечали. Похоже, чтобы сделать ограничения, необходимо выполнить работу, а чтобы выполнить работу, необходимы ограничения!

Действительно, при подробном рассмотрении концепции Шрёдингера об информации, скрытой в микрокоде его аperiодического кристалла, приходишь к выводу: наличие скрытой в чем-то информации ведет к установлению ограничений на высвобождение энергии, которая и производит работу. Эта энергия может быть использована для построения дополнительных ограничений на высвобождение энергии, которая, в свою очередь, будет выполнять работу, в результате чего возникнут следующие ограничения. Мне кажется, все это должно быть довольно глубоко вплетено в теорию организации процессов. Хотя ничего подобного в информатике нет.

Мои рассуждения не являются отвлеченными. Представим, что клетка выполняет термодинамическую работу для построения молекул липидов из жирных кислот и других строительных блоков. Затем липиды образуют устойчивую структуру — липосому. Клеточные мембраны — это двойной липидный слой, образующий шар. Теперь сами мембраны используются клеткой для изменения ограничений.

Рассмотрим гипотетическую пару небольших органических молекул А и В, которые могут участвовать в трех химических реакциях:

- 1) А и В могут взаимодействовать с образованием С и D,
- 2) А и В могут взаимодействовать с образованием E,
- 3) А и В могут взаимодействовать с образованием F и G.

В связи с тем, что А, реагируя с В, образует С и D, химический градиент и барьеры способствуют переходу молекул А и В в молекулы С и D. Аналогично градиенты и барьеры способствуют образованию Е, а также F и G. Теперь химический градиент и барьеры накладывают ограничения на взаимодействие А и В. Допустим, А и В перейдут из внутренней среды клетки в клеточную мембрану. Тогда поступательное, вращательное и вибрационное движения этих молекул изменятся, что приведет к изменению химического градиента и барьера, отделяющего А и В от С и D (или от Е, или от F и G). Таким образом, формирование клеточной мембраны, которое потребовало выполнения термодинамической работы, привело к изменению ограничений, накладываемых на химические превращения А и В. Далее. Клетка выполняет термодинамическую работу для «сшивания» аминокислот с образованием белка-фермента, который связывает А и В и превращает их с большей вероятностью в С и D, а не в Е или F и G. Значит, клетка выполняет термодинамическую работу для построения ограничений, ведущих к высвобождению энергии (в данном случае химической) в определенной цепи реакций. И высвобождающаяся энергия выполняет работу по построению дальнейших ограничений.

Все, что я сказал, — истинная правда, но обычно об этом не говорят. Клетка в самом деле выполняет работу: связывает упорядоченное высвобождение энергии в одном месте для построения ограничений и дальнейшего высвобождения энергии в другом, что запускает репродуктивный процесс. Такую работу выполняют все живые клетки, но, как ни странно, у нас нет способов — по крайней мере математических — для ее описания. Между тем бесконечное деление клетки привело в итоге к образованию биосферы.

Хотя все, что я говорю, вполне согласуется с физическими законами, ни физики, ни химики даже не имеют подходящей терминологии для обсуждения затронутых мной процессов. На этом фоне насколько богатым начинает выглядеть определение «автономный агент»!

Каким-то непонятным образом клетка демонстрирует форму организации, которая ускользнула от нашей концепции информации — концепции, в которой нет никаких упоминаний о наложении ограничений на любые процессы, проходящие в реальном физическом мире. Возьмем для примера дождевой лес. Существовая без какого-либо центрального руководства, он наладил целую сеть сложных взаимосвязанных процессов. Да, биосфера выполняет упорядоченную работу, связанную с самовоспроизводством. Но я представления не имею, как описать эту концепцию математически. Не исключено, что растительность указывает на очень важный момент. Возможно, биосфера делает что-то, не поддающееся прогнозу. В таком случае научные подходы Ньютона, Эйнштейна, Бора и Больцмана имеют свои ограничения. Думаю, биосфера постоянно меняет свое «фазовое пространство», и я не знаю ни одной математической базы, которая позволяет описать этот процесс. Если мои предположения верны, то они опровергают теорию Эйнштейна, утверждающую, что можно рассчитать вероятность любого явления.

Проблема непредсказуемости биосферы связана с тем, что Дарвин называл преадаптацией. Но прежде, чем перейти к ней, рассмотрим простую адаптацию. Что делает сердце? Качает кровь. Но кроме того, оно издает звук, хотя это и не является его обязанностью (я имею в виду феномен, именуемый «сердечные тоны»). Для того чтобы понять, какая часть работы сердца нам более важна, необходимо знать строение всего организма и условия его существования. Автономные агенты неотделимы от среды обитания.

Теперь поговорим о преадаптациях. Дарвин считал, что часть организма может иметь функции, которые в нормальных условиях несущественны для отбора, но в какой-то определенной ситуации оказываются полезными и потому сохраняются. Именно таким образом появились все основные и большая часть минорных адаптаций. Так развилась способность летать, смотреть, слышать, так появились легкие, челюсти и т.д.

И здесь возникает сложность. Как по-вашему, можно ли перечислить все возможные дарвиновские преадаптации для существующих форм жизни? Точнее, можно ли описать все возможные преадаптации? Сомневаюсь, что кто-нибудь ответит утвердительно. Непонятно даже, как подступиться к составлению такого списка. Думаю, и браться не стоит, хотя и не могу ни объяснить свою уверенность, ни доказать. Лучше расскажу сказку.

Около двадцати пяти миллионов лет назад жила-была белка Гертруда. У нее от запястий до шиколоток шли кожные складки. Никто из сородичей не хотел дружить с такой уродлиной. Однажды Гертруда сидела на магнолии и размышляла о своем горьком житье-бытье. С соседней сосны ее увидела сова Берта. Обрадовавшись поживе, Берта кинулась на белку. Гертруда в ужасе расставила лапы и с криком прыгнула вниз. И полетела! Берта осталась с носом. После этого Гертруда прославилась и месяц спустя выгодно вышла замуж. Если предположить, что мутация была доминантной, то скоро народилось много бельчат со складками кожи по бокам. Так, дорогой читатель, появились белки-летяги.

Можно ли было заранее знать, что кожные складки послужат Гертруде крыльями? Наверное. А что у бактерии разовьется способность определять кальциевый ток ресничек и маневрировать? Не думаю. Обобщая, я хочу сказать, что нельзя предвидеть, во что выльются дарвиновские преадаптации и какими будут окружающие условия.

Однако сюрпризы ничем не мешают эволюции. Дарвиновские преадаптации возникают все время. Биосфера совершает нечто такое, что невозможно заранее описать. И не потому, что это квантовая неопределенность или хаотичное поведение, а потому, что у нас не хватает представлений.

Биосфера созидательна, но непредсказуема. Сей факт сильно контрастирует с тем, чему нас учил Ньютон, а именно: в физике обычно можно предсказать имеющиеся возможности — то есть фазовое пространство, затем на основании законов и исходных условий можно высчитать траекторию движения частицы.

Думаю, для биосферы нельзя установить фазовое пространство и имеющиеся вероятности. Конечно, физики возражают: «Если подходить к системе с классических позиций, то всегда есть классическое фазовое пространство, имеющее n измерений, в котором можно рассчитать положение и скорость частиц (если система изолирована)». Допускаю, что они правы, но вряд ли им удастся предсказать, какие переменные при этом будут играть роль (как крылья белки Гертруды). Похоже, здесь мы сталкиваемся с ограничениями познания, о которых раньше не подозревали. Развивающаяся биосфера делает нечто такое, что невозможно предсказать, у нас нет для этого подходящих категорий. Думаю, то же самое применимо и к техническому прогрессу: сто лет назад никто не мог предположить появление Интернета.

А если мы действительно не в состоянии предсказать технологические возможности, то это выбивает почву из-под ног у господствующей в современной экономике теории «конкурентного рыночного равновесия». Данная теория основывается на версии, что можно предсказать, какие завтра потребуются товары и услуги, а затем убедиться, что спрос равен предложению, и все товары продавать покупателям по установленным ценам. Но угадать, в чем завтра будут нуждаться покупатели, невозможно, эта теория неверна в своей основе. Она не учитывает доминирующий факт — наличие глобальной экономики. Товары и услуги становятся все более разнообразными, подобно разнообразию видов. Почему?

Фундаментальные законы физики обратимы во времени. Мы привыкли считать, что время идет, полагаясь на второй закон термодинамики. Я не спорю, но меня смущает стрела времени, отделяющая прошлое и будущее биосферы посредством дарвиновских преадаптаций. Похоже, это не работа второго закона, а дарвиновские вариации и отбор.

И последнее. Вселенная не склонна к повторениям. Рассмотрим белок, состоящий из 200 аминокислот. В связи с тем, что существуют только 20 аминокислот, то количество

возможных белков из 200 аминокислот составляет 20^{200} , грубо говоря, 10^{260} . Количество частиц в нашей Вселенной составляет примерно 10^{80} . Как по-вашему, все ли возможные белки синтезированы со времени Большого взрыва, происшедшего тринадцать миллиардов лет назад? Быстрые химические реакции проходят за фемтосекунду (10^{-15} секунды). Значит, количество возможных столкновений частиц по фемтосекундной шкале со времен Большого взрыва составляет $10^{80} \times 10^{80} \times 10^{33}$, что равно 10^{193} . Это большая величина, но гораздо меньшая, чем количество белков из 200 аминокислот, которое равно 10^{260} . Таким образом, если бы Вселенная занималась исключительно созданием белков, то для того, чтобы создать белки, состоящие из 200 аминокислот, ей потребовалось бы еще 10^{67} жизней. Но она ограничилась тем, что мы сейчас имеем. Похоже, Гертруда, совершив первый полет, изменила физический и молекулярный план развития Вселенной. И это относится к большей части действий автономных агентов. Мы движемся по уникальному пути и влияем на него. Думаете, нет? Мы высадились на Луну, оставили там какую-то массу, а следовательно, изменили орбитальную динамику Солнечной системы.

Вернемся к первому вопросу — какие системы способны к самостоятельным действиям. Я не уверен, что наткнулся на адекватное определение жизни, но думаю, что истина где-то рядом. Кроме того, я уверен, что в ближайшие пятьдесят лет мы научимся создавать то, что я назвал автономными агентами. По мере коэволюционирования этих систем мы будем все чаще и сильнее удивляться. Как заметил «хаотист» в «Парке юрского периода»: «Жизнь всегда найдет себе дорогу». Он не добавил, что обычно мы не знаем, куда ведет эта дорога. Жизнь открыта любым изменениям. Чтобы ее понять, необходимо поднять физику и химию на новый уровень, они должны заниматься не предсказаниями, а исследованиями.

Часть II

БУДУЩЕЕ

НА ПРАКТИКЕ

Ричард Докинз*



СЫН ЗАКОНА МУРА

Именитые ученые иногда развлекаются, позволяя себе лишнее. Питер Медавар хорошо понимал, что делает, когда написал в рецензии на «Двойную спираль»: «Нет смысла спорить с кем-либо столь тупым, кто не осознает, что это сложное открытие (молекулярной генетики) является величайшим достижением науки двадцатого века». Медавар, как и автор книги, которую он рецензировал, может тешить свое самолюбие, но совсем не обязательно быть тупым, чтобы с ним не согласиться. Как же быть со сделанными ранее открытиями, причисленными к «неодарвинизму»? Физики сформулировали теорию относительности и квантовую механику, а космологи — теорию расширяющейся Вселенной. Решительно невозможно определить «величайшее» достижение, но революция в молекулярной генетике, безусловно, была одним из грандиозных достижений науки двадцатого века, а значит, и всей науки вообще. Куда же она заведет нас в следующие пятьдесят лет? К середине века, возможно,

* Ричард Докинз — биолог-эволюционист, работает в Оксфордском профессуре популяризации науки, учрежденном Чарлзом Симони. Член Королевского общества и Королевского общества литературы, почетный доктор литературы и науки. В 1997 году получил Международную премию «Космос», а в 2001 году — премию Кистлера. Автор книг «Эгоистичный ген», «Расширенный фенотип», «Слепой часовщик», «Река, текущая из рая», «Поднимаясь на пик невероятного» и «Расплетая радугу».

окажется, что Медавар был ближе к истине, чем предполагали его современники или даже он сам.

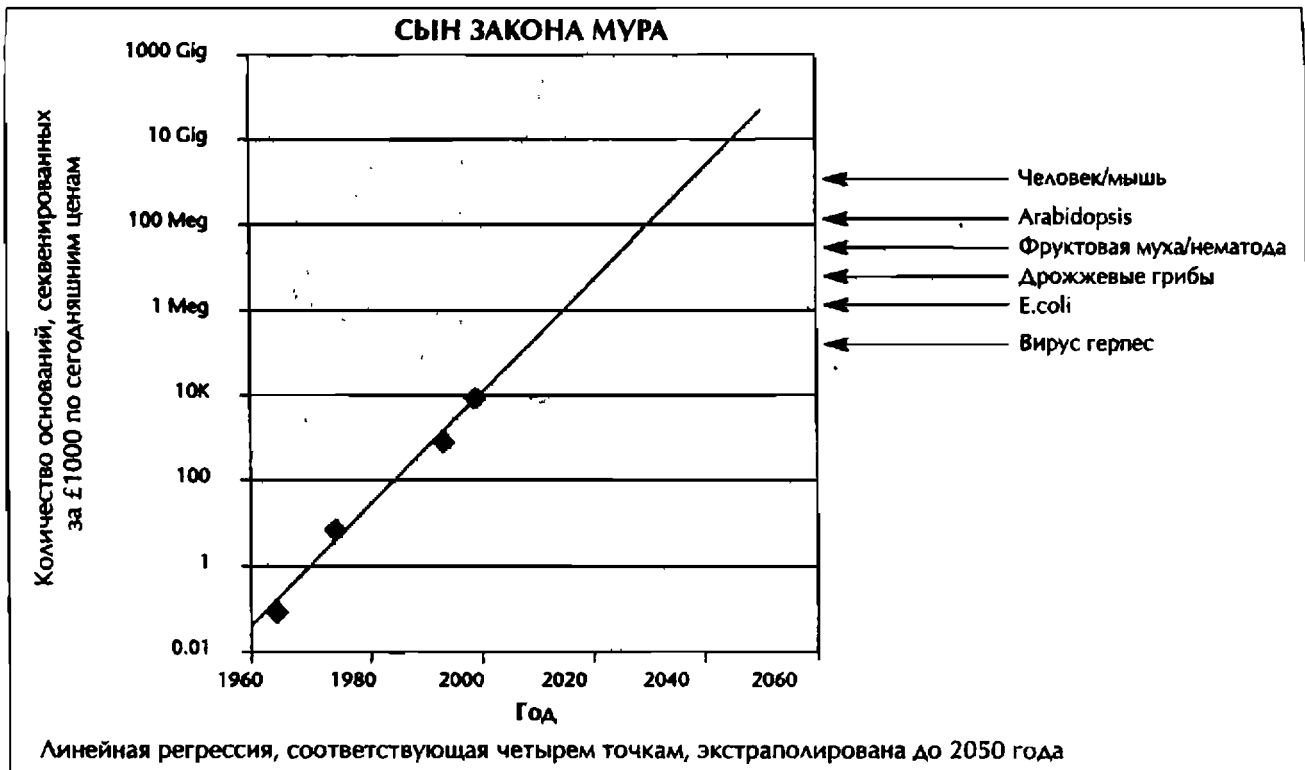
Если суммировать молекулярную генетику одним словом, я бы сказал «цифровая». Конечно, генетика Менделя тоже была цифровой в смысле расчетов независимого распределения генов в поколениях. Но состав генов тогда оставался неизвестным, они вполне могли оказаться субстанциями с непрерывно меняющимися качествами, неразделимо взаимосвязанными с определяемыми фенотипическими признаками. Генетика Уотсона и Крика насквозь является цифровой, включая саму двойную спираль. Размер генома измеряется количеством оснований с такой же точностью, с какой определяется объем жесткого диска в гигабайтах. И действительно, эти две единицы очень похожи. Сегодня генетика стала чисто информационной технологией. Поэтому вполне возможно скопировать ген морозостойкости у арктической рыбы и пересадить его в томат.

За полвека, прошедшие с момента взрывного открытия Уотсона и Крика, его последствия разрастаются по экспоненте, как и положено хорошему взрыву. Я считаю, что выражаюсь буквально, и хочу подтвердить это аналогией с другим хорошо известным открытием, касающимся информационных технологий. Закон Мура утверждает, что мощность компьютеров удваивается за каждые восемнадцать месяцев. Это эмпирический закон, не имеющий теоретического фундамента, хотя Натан Мирволд остроумно предложил собственный закон. «Закон Натана» утверждает, что программное обеспечение совершенствуется быстрее, чем закон Мура, поэтому он и был сформулирован. Но какой бы ни была причина, закон Мура выполняется уже почти пятьдесят лет. Многие аналитики предполагают, что он будет выполняться и далее, оказывая сильное влияние на разные области, но это не является предметом моего очерка.

Давайте лучше обсудим, нет ли какого-нибудь эквивалента закону Мура для информационных технологий, используемых при изучении ДНК. Лучшие методы оценки,

конечно, экономические, так как деньги хорошо отражают стоимость человеко-часов и оборудования. Как в течение десятилетий изменялось количество килооснований ДНК, которое может быть секвенировано за определенную цену? Если оно увеличивалось по экспоненте, то за какое время удваивалось? Заметьте, при этом источник ДНК не имеет значения (если не читать сам код, невозможно сказать, принадлежит ли он человеку, грибу или микробу), что, кстати, подтверждает родственность технологий, применяемых в генетике и науке об информации. Методики исследования ДНК разных видов и их стоимость в течение любого десятилетия были примерно одинаковыми.

Выбрав экономические ориентиры, я не знал, как измерить цену на практике. К счастью, я догадался спросить своего коллегу Джонатана Ходжкина, профессора генетики Оксфордского университета. Оказалось, он недавно все это уже проделал, готовясь к лекции, и любезно прислал мне расчет стоимости в фунтах стерлингов на пару оснований, т.е. на «букву» кода ДНК. В 1965 году цена составляла примерно одну тысячу фунтов стерлингов на «букву» для секвенирования 5S рибосомной РНК бактерии (это не ДНК, но стоимость для РНК примерно такая же). В 1975 году для секвенирования вируса Х174 пришлось затратить примерно по десять фунтов на «букву». Для 1985 года Ходжкин не смог найти подходящего примера, но в 1995 году секвенирование нематоды *Caenorhabditis elegans* обошлось в один фунт за «букву». Это излюбленный объект исследований молекулярных биологов, и когда они говорят «нематода», то имеют в виду именно этот вид. Ко времени кульминации проекта «Геном человека», в 2000 году, стоимость секвенирования составляла примерно десять пенсов за «букву». Для более наглядного изображения я пересчитал количество ДНК, которое можно было секвенировать за определенную цену — одну тысячу фунтов. Результаты я отобразил на графике — количество килооснований за одну тысячу фунтов. Я выбрал



логарифмическую шкалу, так как это удобно — кривая образует прямую линию (см. рисунок).

Я хочу подчеркнуть, как это отметил и профессор Ходжкин, что четыре точки, отмеченные на графике, — это черновые подсчеты. Тем не менее они лежат почти на прямой, что позволяет предполагать экспоненциальный рост «мощности» секвенирования. Время удвоения этой «мощности» (или время двукратного уменьшения стоимости) составляет двадцать семь месяцев, что сравнимо с восемнадцатью месяцами закона Мура. Учитывая, что процесс секвенирования довольно сильно зависит от мощности компьютеров, новый закон во многом обязан закону Мура, что объясняет название моего очерка.

Однако нет никаких оснований ожидать, что технологический прогресс будет идти по такой экспоненте. Я не строил соответствующих графиков, но меня бы удивило, если бы, например, скорость самолетов, сокращение потребления топлива или высота небоскребов изменялись бы по экспоненте. Думаю, они скорее изменяются в арифметической прогрессии. Действительно, в 1979 году, когда закон Мура еще только начинал действовать, Кристофер Эванс писал:

«Сегодняшние автомобили отличаются от послевоенных по многим показателям. Но если бы автомобильная индустрия развивалась с такой же скоростью, как компьютеры, насколько дешевле и эффективнее были бы машины. Сегодня можно было бы купить «роллс-ройс» за один фунт тридцать пять пенсов, четырех литров хватало бы на пробег в пять миллионов километров, а мощности — на то, чтобы транспортировать «Королеву Елизавету II». А если бы вас привлекала миниатюризация, то вы могли бы поместить полдюжины таких автомобилей на булавочную головку».

Изучение космоса, как мне казалось, тоже идет не слишком впечатляющими темпами, подобно развитию автомобилей. Но затем я вспомнил слова Артура Кларка, чьи пророческие способности нельзя игнорировать. Вообразите будущий космический корабль, летящий к далекой звезде. Даже если он будет двигаться с невозможной скоростью, ему потребуются века, чтобы достичь цели. И уже на полпути его обгонит более быстрый корабль, созданный благодаря технологиям следующего века. Поэтому можно сказать, что первый корабль вообще можно не отправлять. По той же причине второй корабль тоже можно не отправлять, потому что его экипаж неизбежно останется позади своих праправнуков, которые догонят их на своем корабле. И так далее. Один из способов решения данного парадокса — учесть, что развитие космических технологий не может идти вперед без развития других, более «медленных» технологий. То же самое можно ответить и тем, кто считает, что если бы проект «Геном человека» начали сейчас, то его завершили бы гораздо быстрее, поэтому с ним следовало повременить.

Если отмеченные на графике данные — довольно грубое приближение, то экстраполяция прямой до 2050 года представляется еще более условной. Но если «сын закона Мура» унаследовал какие-то черты «отца», эта прямая позволяет сделать некоторые прогнозы. Давайте проследим, куда она нас приведет. График предполагает, что в 2050 году мы сможем секвенировать полный геном одного человека за сто фунтов по сегодняшним ценам (это примерно сто шестьдесят долларов). Вместо всего проекта «Геном человека» каждый отдельный человек сможет заказать проект собственного генома. Специалисты в области популяционной генетики будут иметь полную информацию о человеческом разнообразии. Можно будет построить родословное древо, отследить родственные связи любого человека по всему миру. Это самые дерзкие мечты историков. С помощью географического распределения генов они сумеют реконструировать перемещение народов в течение всех веков, проследить походы

викингов и американских племен от Аляски до Огненной Земли. Они узнают о нашествии англосаксов на Британию, о расселении евреев и даже определяют современных потомков таких знаменитых полководцев, как Чингисхан.

Сегодня рентгеновский снимок грудной клетки показывает, есть ли у человека рак легких или туберкулез. В 2050 году за такую же цену нам выдадут полную информацию о всех наших генах. Врач будет выписывать не то, что рекомендуется в общем случае при данных жалобах, а лекарство, точно подходящее для вашего генома. Это хорошо, но персональная распечатка генома также предскажет с большой точностью и время естественной смерти. Хотим ли мы это знать? А даже если и хотим, то желаем ли делиться этой информацией со страховой компанией, юридической конторой и правительством? Даже в самой доброй демократии не все обрадуются такой перспективе. Не говоря уже о том, как подобной информацией может воспользоваться какой-нибудь новоявленный Гитлер.

Но несмотря на важность таких проблем, их обсуждение не является целью данного очерка. Позвольте мне вернуться к более академическому предмету. Если стоимость секвенирования будет для частного человека составлять сто фунтов, то за ту же цену можно будет купить и геном любого животного, так как его размер примерно сопоставим у всех млекопитающих. Даже если предположить, что «сын закона Мура» к 2050 году изменится (многие предполагают, что и закон Мура уже не будет прежним), все равно останется экономически возможно секвенировать за год геномы сотен видов позвоночных, тысяч видов насекомых, сотен тысяч бактерий, миллионы вирусов и бесконечное количество растений. Но допустим, у нас будет такой объем информации. Что нам с ней делать? Как ее переработать и использовать?

Одной из сравнительно скромных целей будет построение полной филогенетической таблицы. Существует лишь одно истинное древо жизни, уникальная комбинация эволюционных ветвей, и оно по сей день до конца не изучено.

К 2050 году мы будем владеть полной информацией, возможным исключением будут лишь терминальные ветви большого количества видов (как заметил мой коллега Роберт Мэй, это количество известно лишь с точностью до одного или двух порядков).

Мой помощник Иан Уонг предполагает, что в 2050 году натуралисты и экологи будут носить с собой полевые таксономические комплекты, позволяющие идентифицировать виды на месте, не отправляя их музейным экспертам. Небольшой зонд, присоединенный к портативному компьютеру, можно будет воткнуть в дерево, или в только что пойманную мышь, или в кузнечика. В течение нескольких минут компьютер проанализирует ключевые сегменты ДНК и сообщит название вида и прочую информацию, хранящуюся в базе данных.

ДНК-таксономия уже выдала несколько сюрпризов. Как зоолог я никак не могу принять, что гиппопотамы ближе к китам, чем к свиньям. Этот вопрос остается спорным. Но к 2050 году он будет решен, как и множество других, так как будут завершены проекты «Геном гиппопотамы», «Геном свиньи» и «Геном кита» (если японские друзья не съедят объекты изучения к тому времени). На самом деле для решения спорных вопросов систематизации отпадет необходимость секвенировать весь геном.

Побочным эффектом составления полного древа жизни, который особенно сильно скажется в США, будет весомое подтверждение факта эволюции. Ископаемые останки утратят большое значение, так как сотни отдельных генов у огромного количества ныне живущих видов (сколько мы только пожелаем секвенировать) подтвердят общность всего сущего на Земле.

Это говорилось неоднократно и, наверное, стало банальностью, но я повторю: знать геном животного — это еще не значит понять животное. Сидни Бреннер (многие удивляются, что он до сих пор не получил Нобелевскую премию) говорил о том, что генетике нужно сделать три шага, причем

каждый последующий будет сложнее предыдущего. Первый шаг был труден, но он позади: сегодня определены аминокислотные последовательности белков исходя из нуклеотидной последовательности гена. Второй шаг — вычисление трехмерной структуры белка исходя из одномерной последовательности аминокислот. Физики считают, что в принципе это возможно, хотя и трудоемко, проще и быстрее создать белок и посмотреть, что будет. Третий шаг — моделирование развития эмбриона исходя из генов и их взаимодействий с окружающими условиями, т.е. с другими генами. Это самый сложный шаг, но эмбриология развивается быстрыми темпами (особенно в плане изучения функций Нох-генов и сходных генов), и к 2050 году, вероятно, это будет возможно. Короче говоря, я думаю, что к 2050 году эмбриологи сумеют ввести в компьютер геном неизвестного животного, и компьютер сконструирует модель его эмбрионального и постэмбрионального развития вплоть до взрослой особи. Это не будет иметь особой практической пользы, так как матка и яйцеклетка всегда будут дешевле компьютера. Но это подтвердит полноту нашего понимания, и такие технологии найдут применение. Например, по пятну крови детективы смогут создать образ подозреваемого, точнее, это будет серия образов от младенчества до старости (гены не изменяются с возрастом).

Я также думаю, что к 2050 году моя мечта о «генетической книге мертвых» станет реальностью. Согласно дарвиновским принципам, гены видов должны содержать описание предков, из которых эти гены пришли. Генетический пул вида — это глина, которому естественный отбор придает форму. В книге «Расплетая радугу» я написал:

«Подобно тому как песчаные утесы принимают причудливые формы под действием пустынных ветров, подобно тому как океанские волны формируют горы, ДНК верблюда формировалась в процессе выживания в древней пустыне, в еще более древнем море

и привела к появлению современных особей. ДНК верблюдов говорит — мы лишь не понимаем этот язык — об изменяющемся мире их предков. Если мы изучим этот язык, то ДНК тунца и морской звезды расскажут о море, а ДНК крота и земляного червя — о подземных глубинах».

Думаю, к 2050 году мы язык генов изучим. Мы будем вводить геном неизвестного животного в компьютер и получать не только реконструкцию самого животного, но и картину мира, в котором жили его предки, включая хищников, жертв, паразитов, места гнездования и даже страхи и надежды.

А как насчет более прямой реконструкции предков, вроде парка юрского периода? К сожалению, ДНК в янтаре вряд ли сохранится в интактном состоянии, и ни сыновья, ни внуки закона Мура не вернут его к жизни. Но возможно, появятся способы, посредством которых мы сможем использовать обильный банк данных современной ДНК, который будет доступен к 2050 году. Проект «Геном шимпанзе» уже выполняется, и благодаря сыну закона Мура будет завершен гораздо быстрее, чем проект «Геном человека».

В конце книги, посвященной размышлениям о следующем тысячелетии («Теоретическая биология третьего тысячелетия». Философские трансакции Королевского общества, 1999), Сидни Бреннер сделал следующее предположение. Когда геном шимпанзе будет полностью известен, можно будет путем сравнения его с геномом человека (от которого он отличается лишь на один процент «букв» ДНК) реконструировать геном нашего общего предка. Это животное, так называемое недостающее звено, жило в Африке пять — восемь миллионов лет назад. Если это предположение принять, то очень соблазнительно дать волю воображению. Когда будет завершен проект «Геном недостающего звена», следующим шагом будет сопоставление его генома с геномом современного человека. Выяснив разницу (с помощью эм-

бриологии), мы получим приблизительный образ австралопитека, представителем рода которого стала Люси. К тому времени как будет завершен проект «Геном Люси», развитие эмбриологии должно уже позволить ввести реконструированный геном в яйцеклетку человека и имплантировать в матку женщины, так что будет рождена новая Люси. Безусловно, это вызовет этические проблемы.

Несмотря на беспокойство относительно счастливой жизни реконструированного австралопитека (по крайней мере эта этическая проблема вполне понятна, в отличие от дурацких волнений насчет «игры в Бога»), такой эксперимент будет иметь не только научные, но и этические выгоды. Сегодня мы ужасающе безжалостны к животным, потому что эволюционное звено между нами и шимпанзе неизвестно. Работая над «Большим обезьяньим проектом», инициированным выдающимся австралийским философом Питером Сингером, я говорил, что случайное нахождение этого звена будет достаточным, чтобы разрушить представления об особой ценности человеческой жизни по сравнению со всеми другими ее формами. Например, дебаты «Про лайф» относительно абортот или исследований стволовых клеток всегда означают именно человеческую жизнь, хотя внятной причины этого никто никогда не называл. Существование живой, дышащей Люси навсегда изменит наше представление о морали и политике. Должна ли будет Люси считаться человеком? Абсурдность этого вопроса очевидна, она сродни разглагольствованиям южноафриканских судей, решающих, можно ли определенного человека считать «белым».

Пока этики, моралисты и теологи (боюсь, к 2050 году теология сохранится) будут агонизировать по поводу проекта «Геном Люси», биологи смогут заняться чем-нибудь более амбициозным, например проектом «Геном динозавра».

Современные птицы произошли от динозавров (во всяком случае, от предков, которых мы бы сегодня назвали динозаврами, если бы они вымерли, как положено динозаврам). Сложная эволюционная интерпретация генома со-

временных птиц и других выживших рептилий подкласса архозавров (например, крокодилов) позволит к 2050 году реконструировать обобщенный геном динозавров. Мы уже сегодня способны оснастить цыпленка зачатками зубов, а змею — лапами. Это показывает, что древние генетические признаки не окончательно утрачены. Если проект «Геном динозавра» окажется успешным, возможно, получится имплантировать геном в яйцо устрицы и вывести живую, дышащую огромную ящерицу. Хотя это уже напоминает «Парк юрского периода», единственное, что меня беспокоит, — я вряд ли проживу достаточно долго, чтобы это увидеть. Или чтобы сердечно пожать длинную руку Люси.

Пол Дэвис*



БЫЛ ЛИ ВТОРОЙ ГЕНЕЗИС?

«**Т**о, что Марс населен какими-то существами, так же очевидно, как и непонятно, что это за существа». Такими словами в 1906 году американский астроном Персиваль Лоуэлл объявил о своем открытии. Он предположил, что жители умирающей планеты построили каналы для отвода воды, образующейся при таянии полярных льдов, в сухие экваториальные районы. Для подтверждения своей версии Лоуэлл представил сложные карты.

С тех пор как в 1877 году Джованни Скиапарелли обнаружил на Марсе сеть тонких линий, мысль о жизни на красной планете казалась вполне правдоподобной. Г. Дж. Уэллс гениально использовал ее в великолепном романе «Война миров», опубликованном в 1898 году. Многие астрономы соглашались, что на Марсе возможно существование каких-то форм жизни. В 1960-х в сторону Марса был отправлен зонд «Маринер». Датчики не обнаружили никаких признаков широко обсуждаемых каналов. В 1976 году два космических корабля НАСА опустили на Марс. Они взяли пробу грун-

* Пол Дэвис — физик-теоретик, профессор Имперского колледжа в Лондоне и Университета Куинсленда. Область научных интересов — от физики элементарных частиц до астробиологии. В 1995 году за выдающуюся деятельность удостоен премии Темплетона размером один миллион долларов. Автор научно-популярных бестселлеров «О времени», «Разум Бога» и «Пятое чудо: поиск происхождения жизни».

та и проанализировали ее на предмет наличия микробов или следов органических компонентов. Ничего подобного найти не удалось. Ученые пришли к заключению, что красная планета — пустыня, купающаяся в смертоносных ультрафиолетовых лучах.

Однако недавно это мнение начало меняться. Возможно, мы поторопились записать Марс в безжизненные планеты. Фотографии, сделанные «Маринером», демонстрировали высохшие русла рек, но более подробные снимки с искусственного спутника «Марс глобал сервейер», полученные в последние годы, показывают что-то похожее на высохшие озера или даже океаны. Очевидно, когда-то Марс был теплой и влажной планетой, вроде Земли. Возможно ли, что в прошлом там была жизнь? Может, сегодня она таится в каком-нибудь укромном уголке?

Велика вероятность, что в ближайшие пятьдесят лет мы узнаем ответ на этот вопрос. Астробиология бурно развивается, а исследовательские проекты, такие как программа НАСА «Ориджинс», способны открыть новые пути для поиска внеземной жизни. Ученые испытывают страстное желание попасть на Марс. Не исключено, что это наш единственный шанс изучить второй генезис возникновения живого из неживого.

Но где именно следует искать жизнь на Марсе? Где там вода, без которой существование известных нам форм невозможно? На полюсах много льда, однако низкая температура среды противодействует его таянию. Но даже если лед растает, воды не прибавится. Она быстро испарится, так как атмосферное давление составляет менее одного процента от земного. В прошлом на Марсе, похоже, были совсем другие условия. Температура была выше, и давления атмосферы, которая содержала парниковые газы типа диоксида углерода, хватало на то, чтобы вода достаточно долго оставалась в жидком состоянии. Расчеты показывают, что этот «рай» закончился около трех — пяти миллиардов лет назад, хотя, возможно, потепление порой возвращалось. Три с полови-

ной миллиарда лет — достаточно длительный период, чтобы жизнь успела приспособиться к изменяющимся условиям. Поэтому ученые возлагают надежду на область, лежащую под поверхностью планеты. В прошедшие двадцать лет они с удивлением обнаружили на родной планете микробов, благоденствующих в толще земли и на дне океана. В некоторых местах организмы были найдены на глубине в несколько километров. Эти организмы относятся к числу термофилов, которые нормально существуют и размножаются при температуре выше сорока градусов по шкале Цельсия, а кое-кто даже предпочитает температуру выше точки кипения воды. Источником энергии для подземных видов служит не солнечный свет, а химические соединения, порой они способны усваивать газы и минералы, просачивающиеся через почву, и прямо превращать их в биологическую материю.

Красная планета, как и Земля, имеет горячую сердцевину, что подтверждается вулканической деятельностью. В глубине Марса наверняка имеются области, где вулканическое тепло растопило вечную мерзлоту и образовало водные резервуары. В таких резервуарах вполне возможно существование примитивных форм жизни. Признаком этого могут быть газы вроде метана, просачивающиеся на поверхность. Если зонды зафиксируют крошечные концентрации биогенных газов в марсианской атмосфере, значит, все так и есть. Тогда космическим аппаратам придется углубиться в недра планеты. Насколько? Никто не знает, предложения варьируются от нескольких метров до километров. В проекте Европейского космического агентства «Бигль-2», который стартовал в июне 2003 года, намечено использовать снаряды и буры. Сомневаюсь, что с их помощью удастся найти какие-нибудь организмы, здесь нужно что-то принципиально иное.

Образцы, доставленные на Землю, позволят определить, был ли Марс когда-нибудь обитаем. Самой большой удачей была бы находка какой-нибудь микроокаменелости. В 1996 году специалисты НАСА объявили, что аркти-

ческий метеорит, известный под номером ALH84001 и упавший на Землю шестнадцать миллионов лет назад, является осколком Марса и содержит следы окаменелых микробов. Ученые продолжают изучать метеорит, но вряд ли по нему можно будет сделать однозначное заключение о жизни на Марсе.

Первый полет на красную планету за образцами НАСА планирует на конец этого десятилетия. Непилотируемый аппарат соберет с ее поверхности вызывающие интерес камни и привезет на Землю. Камни поместят в строгий карантин, во-первых, чтобы не загрязнить их земными формами, во-вторых, чтобы не допустить заражение Земли инопланетными бактериями. Впрочем, вероятность того, что всех нас поубивает какая-нибудь марсианская чума, ничтожно мала. В среднем на Землю с Марса ежемесячно падает один метеорит, а за всю геологическую историю к нам поналетало таких камней на миллиарды тонн. И ничего, живем. А вот вероятность того, что в образцах окажутся микроорганизмы, велика. Эксперименты показали, что микробы легко выдерживают шок от перемены обстоятельств. Скорее всего холодное безвоздушное пространство подействует на них как консервант. Некоторые бактерии в неблагоприятных условиях образуют споры и остаются в «спящем» состоянии в течение очень длительного периода. Главной опасностью для микропутешественников может стать радиация. Но если они будут находиться внутри камня диаметром около двух метров, то ультрафиолетовое излучение, солнечные вспышки и большинство других энергетических факторов им не повредят. Результаты вычислений позволяют предполагать, что некоторые бактерии могут спокойно вращаться вокруг Солнца миллионы лет, если обоснуются в подходящей каюте. Последняя опасность — стремительный вход в земную атмосферу — тоже не должна повредить микробам: трение не успеет расплавить крупный метеорит. В общем, похоже, нет особых препятствий для успешного путешествия жизнеспособных организмов с Марса на Землю.

Состоится и второй полет за образцами. Ученые снабдят марсоход суперкомпьютером, нервными сетями и сложными сенсорами. Машина самостоятельно сможет проводить исследования и принимать решения, где и что брать. Разработка специального самолета, способного скользить над бесплодной пустыней, сильно расширит «кругозор» аппарата (прогулками «Соджоурнера», использованного НАСА в 1997 году, руководил орбитальный спутник).

Технологические усовершенствования позволят детально изучить марсианскую поверхность. Но все же будет непросто найти камень, наверняка содержащий 3 500 000-летнюю окаменелость (не говоря уж о живых микробах). На Земле подобные старцы встречаются крайне редко. Если спустя десятилетия интенсивных исследований вопрос о жизни на Марсе останется открытым, тогда последней надеждой решить эту проблему будет высадка человека на Марс.

Экспедиция обойдется в кругленькую сумму. Стоимость полета четырех астронавтов составит по меньшей мере десятки миллиардов долларов. Но возможно, затраты удастся сократить. Дороговизна экспедиции на Марс связана с необходимостью запастись горючим для возвращения на Землю. Независимый инженер-консультант Роберт Зубрин в книге «В защиту Марса», опубликованной в 1996 году, предложил отказаться от этого запаса, используя в качестве горючего метан, который образуется при взаимодействии воды и углекислого газа. Зубрин считает, что на Марс можно переправить химический реактор и подождать, пока он выработает бак горючего, потом можно посылать людей. Длительность полета составит несколько месяцев. Прибыв на Марс, астронавты построят базу и проживут вполне сносно. По мнению Зубрина, Марс — второе после Земли безопасное место в Солнечной системе.

Согласно схеме, представленной в книге, астронавты проведут на Марсе два года. Они будут исследовать поверхность планеты, бурить скважины и добывать образцы (соответствующую аппаратуру заранее доставит грузовой ко-

рабль). Уставшую команду сменит свежая, чтобы обеспечить постоянное присутствие человека на этой планете.

Экспедиция на Марс будет гораздо более сложной, чем полет на Луну. У космонавтов могут возникнуть серьезные проблемы, связанные с длительным пребыванием в невесомости. Не исключено, что подготовка к экспедиции растянется на десятилетия. Тем не менее я не вижу серьезных причин, мешающих людям попасть на Марс к 2050 году.

Что, если мы действительно найдем на Марсе жизнь? Ответ зависит от того, насколько найденные формы будут отличаться от земных. Дело в том, что между красной и голубой планетой происходит обмен веществами. Просто с Земли из-за сильной гравитации улетает меньше камней, чем с Марса. Сходство земной и марсианской биосфер весьма усложнит картину. Вполне возможно, что жизнь зародилась на одной планете и перенеслась на другую. Если так и случилось, то возникает вопрос, удалось ли интродуцированным формам занять все доступные ниши и помешать второму генезису, или разные биологические системы поделили пищевые ресурсы.

Красная планета выглядит более подходящей для зарождения жизни, чем голубая. Марс меньше Земли и быстрее остывает. Не исключено, что условия, благоприятные для жизни, возникли там на полмиллиарда лет раньше, чем здесь.

Примерно через семьсот миллионов лет после образования Солнечной системы, четыре с половиной миллиарда лет тому назад, и Земля и Марс подвергались атакам астероидов и комет. Давайте вообразим, что мощные удары стерли все с поверхности Марса. Планету окутал пар, раскаленный до трех тысяч градусов по шкале Цельсия. В результате Марс прогрелся на километр вглубь. В центре у него тоже было очень горячо. Единственная комфортная область образовалась посередине, между внутренним жаром планеты и жаром от буйства метеоритов. Туда-то и удалились микроорганизмы. Согласитесь, версия звучит довольно убедительно.

Все живые формы на Земле взаимосвязаны, потому что имеют общего предка. Все виды, составляющие нашу биосферу, являются ветвями одного древа жизни. Если жизнь зародилась на Марсе и распространилась на Землю, то любые марсианские формы будут представлять собой ветви того же растения. К 2050 году технология секвенирования будет автоматизирована. С помощью мобильной аппаратуры астронавты проведут необходимые анализы. Доставлять марсианские образцы на Землю станет незачем.

Если какая-то форма марсианской жизни окажется сходной с земной формой, тогда предположение о том, что жизнь возникла абсолютно случайно и лишь единожды, останется в силе. Тогда нам придется заглянуть в другие уголки Вселенной. Единственный объект в Солнечной системе, который может иметь жидкую воду, — это Европа, спутник Юпитера. Европа покрыта толщей льда, под которым, вероятно, лежит океан, подогреваемый приливным трением. Европа находится очень далеко от нас, поэтому она вряд ли загрязнена материей с Земли или Марса. К сожалению, пилотируемый полет к Европе невозможен в обозримом будущем. Однако через тридцать лет туда, возможно, отправится непилотируемый аппарат. Его задачей будет пробиться через толстый слой льда. Для этого можно снабдить зонд небольшим ядерным реактором. Растопив лед, зонд мог бы пустить в плавание маленькую субмарину и изучить темные океанские глубины.

Астробиологи считают, что вряд ли в Солнечной системе удастся найти более сложные формы жизни, чем бактерии. Для развития сложных форм, вероятно, требуются плотная атмосфера, текучая вода, озоновый слой и тектонические плиты, обеспечивающие круговорот атмосферных газов, например углекислого. Иными словами, все должно быть как на Земле. Главным направлением исследований следующих десятилетий будет поиск в других галактиках планет, похожих на нашу. К сожалению, расстояние до звезд столь велико, что их изучение в ближайшее время не представля-

ется возможным. Без появления новых, революционных технологий любому космическому аппарату, отправленному за пределы Солнечной системы, потребуются тысячи лет, чтобы достичь своей цели. Поэтому поиск другой земли будет зависеть от совершенствования методик наблюдения. В прошлые годы астрономы, сидя в обсерваториях, обнаружили десятки планет за пределами Солнечной системы. Но стационарные приборы недостаточно чувствительны, чтобы найти планету размером с Землю на сходной орбите другой звезды. Необходимы сверхточные оптические системы, размещенные на спутниках и способные улавливать слабый свет, испускаемый звездами и отраженный от планет, а затем анализировать спектр в поисках признаков жизни (например, содержащегося в атмосфере планеты кислорода). Это главная цель программы НАСА «Ориджинс».

Предполагается создать систему из четырех оптических телескопов, движущихся хорошо синхронизированным образом, для создания огромного интерферометра, который сможет определять далекие астрономические объекты с невероятной точностью. Эта система, называемая «Террестриал планет файндер» («Искатель планет земной группы»), может быть запущена в 2016 году. Если проект окажется успешным, за ним последует «Планет имаджер» — интерферометр, разрешение которого сопоставимо с телескопом шириной триста шестьдесят километров. Он позволит получить более подробную картину планеты и обнаружить признаки любой жизни. Удивительно, что через сто пятьдесят лет после Лоуэлла мы надеемся найти ирригационные системы в другой солнечной системе, за много световых лет от нас.

Конечно, нам очень повезет, если мы обнаружим сложную разумную жизнь где-нибудь поблизости. В других солнечных системах вполне могут быть планеты, похожие на Землю, жизнь на которых протекает на уровне бактерий. Возможно, появление сложных форм жизни на Земле обусловлено специфическими свойствами Солнечной системы.

Например, наша планета имеет необычно большую Луну, которая помогает стабилизировать ее движение и предотвращает серьезные климатические вариации. Вероятно, Луна сформировалась из куска Земли, отколовшегося в результате скользящего удара объекта размером с Марс во время формирования Солнечной системы. Подобное событие вряд ли повторяется часто. Планета Юпитер тоже играет важную для нас роль. Она защищает Землю от комет и тем сохраняет ее массу. Эти и другие обстоятельства, такие как химический состав нашей планеты и стабильность Солнца, позволяют предполагать, что планеты, подобные Земле, встречаются в Галактике, мягко говоря, редко.

Поиск внеземной жизни стоит на повестке дня. От результата зависит очень многое, ведь это и поиск нас самих, ответ на вопросы, кто мы и каково наше место в космосе. Если жизнь — это удивительная случайность и разумные существа вроде нас уникальны, то наша ответственность за свою планету неимоверно возрастает. Если мы все-таки найдем другие формы жизни, это навсегда изменит нашу науку, религию и мировоззрение. Вселенная, в которой законы природы благоприятствуют жизни, — это место, где жизнь является фундаментальным признаком, а не наносным фактором. Это Вселенная, в которой мы действительно можем чувствовать себя дома.

Джон Х. Холланд*



ЧТО ПРОИЗОЙДЕТ И КАК ЭТО ПРЕДСКАЗАТЬ

Делать длительные прогнозы — значит уподобиться Прометею: судьба таких прогнозов (если не предсказателей) почти наверняка будет печальной. И все же это очень заманчиво. Я решил идти этими сомнительными тропами, но сконцентрироваться на самом процессе предсказания и отнестись к нему как к своего рода иллюстрации.

Самый важный фактор для точного прогноза — уровень детализации. Опытный игрок в настольную игру часто знает, победит он или потерпит поражение, после первых ходов, но редко способен угадать подробности финальной конфигурации. Обратимся к более сложному уровню прогноза. Многие биологи предполагают, что живые организмы обитают на всех планетах, похожих на Землю, но они не могут сказать, существуют там приматы или нет.

* Джон Х. Холланд — профессор психологии и компьютерных и инженерных наук в Мичиганском университете, профессор и член попечительского совета Института Санта-Фе, а также член совета директоров Международного общества генетических и эволюционных алгоритмов. Круг научных интересов — сложные адаптивные системы и компьютерные модели когнитивных процессов. Широко известен как «отец генетических алгоритмов». Автор книг: «Эмерджентия: от хаоса к порядку», «Скрытый порядок: как адаптации образуют сложность» и других.

Распространенный способ пророчества опирается на анализ текущих тенденций. С его помощью мы предсказываем все, от будущих доходов (будь то валовой национальный продукт или личные финансовые дела) до состояния популяции (включая изменение количества видов). Этот метод позволяет делать довольно верные краткосрочные прогнозы, долгосрочные сбываются только в том случае, если речь идет об очень «инертных» процессах, например, о росте популяции или накоплении парниковых газов в атмосфере.

С точки зрения технологий и общества пятьдесят лет — довольно длительный период. На такой временной шкале преобладающие свойства сильно зависят от так называемых сложных адаптивных систем. Сложные адаптивные системы (САС) состоят из многих компонентов, называемых агентами, которые по мере взаимодействий приспособляются друг к другу. Известные примеры САС — фондовая биржа и иммунная система. Даже за относительно короткий срок САС демонстрируют широкий спектр неаддитивных (нелинейных) эффектов: самоорганизацию, хаос, фрактальные аттракторы, «замороженные случаи», точки опоры и т.д. Суммировать действия компонентов, чтобы определить общую тенденцию, невозможно. Более того, у нас нет стройной теории САС, поэтому нет и принципиально единого способа определять влияние неаддитивных воздействий. В результате, когда дело касается САС, предсказания бывают очень неточными.

Несмотря на это, я считаю, что прогнозы необходимы. Это позволяет конструировать модели. Сегодня компьютерное моделирование является самым мощным инструментом анализа разных гипотез. Ученые пользуются им, подобно тому, как летчик опробует новый самолет с помощью имитатора полета. Предсказание на основе модели имеет следующие преимущества:

1. Четко сформулированные допущения позволяют каждому судить о релевантности и соответственно о прав-

доподобности прогноза и выдвигать собственные предположения.

2. Существует возможность проследить, чем обусловлены ошибки, и уточнить прогноз, внося изменения.
3. Возможность изменять условия и воздействия позволяет проверить надежность прогноза.

Однако имеются и недостатки. Для построения компьютерной модели требуется много времени (например, за срок, отпущенный мне на написание этого очерка, нельзя в полной мере использовать такой подход). Кроме того, не всякое явление поддается моделированию (взять хотя бы изменение климата).

Как и при создании анимации, прежде чем разрабатывать модель, нужно определить, что будет изменяться медленно или не будет изменяться совсем. Постоянные или медленно меняющиеся качества ограничивают прогноз. Определив рамки, следует перейти к элементам, которые просто контролировать или поведение которых легко предсказать. Как правило, технологические изменения проще предвидеть, чем социальные, хотя писатели-фантасты Жюль Верн, Г. Дж. Уэллс и Артур Кларк делали довольно успешные социальные прогнозы. Например, Верн в 1863 году выпустил в свет произведение «Париж в двадцатом веке». Спустя целый век, в 1960 году, Париж во многом соответствовал его описаниям, несмотря на такие непредсказуемые вещи, как смена правительства, война или изменение границ. Тем не менее длительные социальные прогнозы редко оказываются правильными. Гордон Мур предсказал время, когда мощность компьютеров удвоится, но ни словом не обмолвился, что появятся такие социальные феномены, как Amazon.com или e-Bay.

Поэтому пойду по простому пути — сначала опишу технологические изменения, которые, по моему мнению, произойдут в нескольких взаимосвязанных областях (компьютеризации и роботехнике, биологии, транспорте и изучении

космоса), затем проанализирую социальные последствия этих изменений (влияние на популяцию, планирование и образование, а также конфиденциальность, медицину и будущие исследования).

Технологические прогнозы

Расширение возможностей компьютера и развитие того, что с ним связано (например, Интернета), довольно просто предсказать на десять — двадцать лет. Закон Мура относительно совершенствования комплектующих будет продолжаться выполняться, и сегодняшнее медленное обновление программного обеспечения (примерно одно — два десятилетия на удвоение эффективности) тоже сохранится. Оба эти фактора будут играть важную роль. И хотя сегодня создаются компьютеры, способные «обучаться» выполнению примитивных задач, мы недалеко ушли от прошлого века, когда наделили машину такими человеческими способностями, как умение узнавать объекты в естественных беспорядочных условиях или понимать язык текста. У нас все еще очень неопределенные представления о том, как заставить компьютер изобретать, рассуждать согласно аналогиям и здравому смыслу, формулировать гипотезы и т.д.

Решить проблему САС закон Мура не очень помогает, потому что даже небольшие изменения сильно увеличивают сложность системы. Например, количество возможных последовательностей из десяти ходов в игре «Го» возрастает на пять порядков, если, не меняя правил, добавить только один ряд и одну колонку, чтобы доска стала 19x19. Если это справедливо для игры, определяемой полудюжиной правил, то что говорить о таких САС, как рынок или правительство, где даже предварительные модели включают десятки «законов», описывающих взаимодействия составляющих? Такие

проблемы не решить с помощью модификации аппаратных средств, обусловившей победу «Дип блю» над Гарри Каспаровым. И все же ученые не сдаются. Перефразируя специалиста по искусственному интеллекту Марвина Мински, удивительно не то, что «Дип блю» может играть в шахматы с чемпионом мира, а то, что человек, имеющий гораздо меньше возможностей рассчитывать десятки ходов, способен конкурировать с компьютером. Попытки создать механизм, обладающий сознанием, ведутся в течение всей истории человечества. Большинство психологов считает, что сознание связано с работой нейронов центральной нервной системы, но пока доказать не может. Найти эту связь невероятно сложно, и я не думаю, что удастся в ближайшие пятьдесят лет.

Социальные прогнозы

Природа человека меняется очень медленно, если меняется вообще. Римские сенаторы обогащались, скупая зерно, когда узнавали о том, что Карфагену грозит неурожай (это государство в Северной Африке являлось для империи главным поставщиком зерновых). За две тысячи лет человеческая жадность не исчезла и способы использования подобных сведений не сильно изменились.

Кроме человеческой природы, есть и другие очень инертные факторы. Они являются следствиями жизнедеятельности поколений. Примерами служат изменение размера популяции и зависимые от него процессы, в частности скопление парниковых газов в атмосфере. Большое количество наших социальных проблем связано с вопросами, которые невозможно быстро решить, поэтому необходимы долговременные правдоподобные прогнозы относительно того, как сегодняшние действия аукнутся нам в будущем.

Активное изучение биологических процессов скорее всего продолжится, ибо сулит огромные социальные и финансовые выгоды. Однако, анализируя политические, экономические и личные аспекты, здесь важно уделять внимание используемым средствам. На длительное исследование особенно сильно давит желание побыстрее сорвать куш.

Технологические изменения

Непреодолимое торжество закона Мура позволяет предположить, что в скором времени будут минимизированы и объединены в одно несколько распространенных устройств двадцатого века. В результате появится международный коммуникатор-видеокамера-компьютер-аниматор-устройство для позиционирования-блокнот размером с наручные часы и снабженный трехмерным проекционным дисплеем (вроде проектора, который Артуритупу использовал в «Звездных войнах»). Это устройство расширит наши возможности и станет таким же распространенным, как наручные часы. Снабженное удобным пользовательским интерфейсом и приспособленное к конкретному человеку, оно в применении будет не сложнее записной книжки.

Чтобы создать компьютер, способный работать с САС, потребуется программное обеспечение, имитирующее гибкость человеческого ума. Необходимы программы, умеющие обучаться и развиваться. Следует изучать такие социальные феномены, как колебание мирового рынка, и решать экологические вопросы. Я думаю, будет создаваться все больше программ, способных к самомодификации на основании получаемого опыта. Через пятьдесят лет, вероятно, появятся роботы-помощники. Хотя от них и нельзя будет ожидать адекватной реакции на что-то неожиданное, но выполнять рутинную работу они смогут. Сомневаюсь, что

через пятьдесят лет наука и техника одарят нас «разумными» машинами, но полагаю, что в конце концов дойдет и до этого.

Благодаря компьютерам и автоматизированным лабораториям сильно продвинется наше понимание жизни и живых организмов. К середине двадцать первого века современные методы лечения злокачественных новообразований (хирургия, химиотерапия и облучение) будут считаться такими же убогими и неэффективными, как кровопускание. Думаю, мы научимся получать живую ткань в пробирке из простых неживых веществ и создавать все необходимое для лечения этого и других заболеваний. И почти наверняка мы создадим искусственную иммунную систему, способную бороться и с живыми и с компьютерными вирусами. Мощь нашей природной иммунной системы часто недооценивают, а ведь она борется с большим количеством возбудителей настолько эффективно, что мы подолгу избегаем заболеваний, — это время, если перевести на уровень клеточных генераций, сопоставимо с периодом от Средних веков и до наших дней. Диагностические возможности искусственной иммунной системы позволят нам решить некоторые сложности с секвенированием генов, отвечающих за сложные цепи сигнальных молекул, которые обеспечивают согласованную работу клеток и их способность приспосабливаться к переменчивым условиям существования.

Автомобиль двадцатого века дал гражданам развитых стран желаемую мобильность, но породил транспортную проблему. Мы все страдаем от перегруженности дорог. Такое положение вещей поддерживается ужасающей инфраструктурой и слаженной кампанией лоббистов. Тем не менее наблюдаются признаки исправления ситуации. Компьютерные технологии и системы глобального позиционирования дают надежду на изобретение индивидуального транспорта, не привязанного к дорогам. Вполне возможно, что через пятьдесят лет появятся аппараты, способные перемещаться и по земле, и по воде, и по воздуху. Для такого транспорта при-

дется разработать новые правила движения, что потребует определенных затрат. Зато он позволит сэкономить на инфраструктуре, так как отпадет надобность в ремонте шоссе и мостов.

1. Наконец, мы с новой энергией примемся за исследование космоса. Сорок лет назад мы мечтали достичь границ Вселенной на сверхзвуковом самолете. Затем от этой идеи отказались и переключились на ракету-носитель. Теперь, похоже, мы начинаем отказываться от этой бесперспективной линии и снова принимаемся изобретать двигательные установки, такие как реактивный двигатель СКРАМ (SCRAM).
2. Нация, которая сможет свободно маневрировать в межпланетном пространстве, будет иметь явные научные, военные и экономические преимущества перед другими народами, подобно тому как это было с мореходством в пятнадцатом и шестнадцатом веках.
3. Астрономия конца двадцатого века, особенно благодаря космическому телескопу Хаббла, показала, сколько всего удивительного ожидает нас «там».

Социальные изменения

Самая основная задача ближайших десятилетий — это привести численность человеческой популяции к уровню, отвечающему ресурсоемкости планеты. Наши самые серьезные проблемы (недостаток пищи, исчезновение лесов, глобальное потепление и дефицит энергии) связаны именно с перенаселенностью Земли. Растущее столпотворение вызывает у людей физический и психологический стресс, который невозможно уменьшить техническими средствами. Сегодня приоритетность этой проблемы осознают целые

нации (например, Китай), поэтому я думаю, что через пятьдесят лет население Земли будет контролироваться без массовых катастроф вроде чумы или мировой войны.

Мы все чаще обращаемся и к другим долговременным проблемам, начинаем подробно их обсуждать и искать пути разрешения. Необходимые для этого навыки, как всегда, оттачиваются в играх. Но характер нашего «полигона» изменился. На смену настольным и здоровым играм пришли компьютерные. Такие игры, как «Симсити» и «Цивилизация», облегчают понимание сложных социополитических взаимодействий, а удобный трехмерный интерфейс позволяет заурядному пользователю с легкостью опробовать разные варианты. С развитием этой тенденции появятся игры, позволяющие моделировать такие сложные системы, как климат и искусственный интеллект. Все больше народу станет размышлять, какой вариант будущего выбрать. Миниатюрное многофункциональное устройство позволит анализировать развитие событий при любой каждодневной ситуации. Как и с видеоиграми, навыков программирования не потребуется, достаточно будет интуиции и здравого смысла. Обыкновенные люди без особого напряжения будут учиться оценивать последствия своих поступков. Вне всякого сомнения, это благоприятно скажется и на состоянии конкретного общества, и на положении в мире.

Конечно, здесь возникнут определенные социальные проблемы. Как же без них! Одна уже существует: растущий разрыв в знаниях и доходах между теми, кто может позволить себе иметь «планировщик», и теми, кто не хочет или не в состоянии его приобрести. В развитых странах «планировщик», который станет составной частью телефона, будет почти у каждого. В других странах — вряд ли. Сегодня менее пятнадцати процентов жителей Южной Америки имеют среднее образование и очень немногие регулярно пользуются телефоном.

Существует и другая, более широкая, проблема. Она касается всех. Это стремление к конфиденциальности. Распро-

странение видеокамер и быстрых коммуникаторов каждого превратит в журналиста. Обострится сегодняшнее пристрастие прессы к оглашению всего, что представляет «общественный интерес» (несчастья, человеческие слабости и тому подобное). Свобода от вторжения в личную жизнь лежит в самом сердце демократического общества. Недаром сказано: «Мой дом — моя крепость». Если это право будет попрано, возникнет тирания. К середине двадцать первого века будет технологически возможно отследить подробное передвижение любого человека. Мы окажемся полностью в руках внешних сил, так же как средневековые рабы, которым требовалось разрешение для того, чтобы выехать в ближайшую деревню. Как и с ограничениями на свободу самовыражения (в переполненном театре нельзя кричать «Пожар!»), здесь придется ужесточать законы, запрещающие правительству и отдельным лицам вторгаться в святая святых человека. Неизвестно, сможем ли мы не допустить реализации жуткой фантазии Дж. Оруэлла, представленной в романе «1984». Впрочем, есть и хорошая сторона в развитии коммуникаций: число ограблений, изнасилований и прочих преступлений должно сократиться, так как рассчитывать на отсутствие свидетелей преступнику будет сложно.

Совершенствование знаний в области биологии даст нам беспрецедентный контроль над болезнями и травмами и освободит от боли. Одновременно возрастет угроза биологической войны и ошибок в геномной инженерии. Но думаю, необходимые меры безопасности будут предприняты без опоздания. Искусственная иммунная система обеспечит мощную защиту от естественных и искусственных патогенов. Ее способность обнаруживать биологические молекулы, несущие антигены, а также технологическая автоматизация разработки и производства лекарств приведут к снижению стоимости даже редких препаратов. Снижение стоимости лечения и усовершенствование методов диагностики позволят наконец укротить цены на медицинское обслуживание.

Возможность маневрировать в межпланетном пространстве откроет совершенно новую эру в развитии человечества. Через пятьдесят лет у нас, вероятно, будут базы на Луне, на Марсе и на Европе, спутнике Юпитера. Эти базы будут подобием первых европейских поселений в Новом Свете в пятнадцатом и шестнадцатом веках. Они обеспечат постоянный поток удивительных новостей, подстегивающих наше воображение и любопытство. Но главное — сильно повысят шансы на обнаружение в Галактике наших братьев по разуму.

Родни Брукс*



ОБЪЕДИНЕНИЕ ПЛОТИ И МАШИН

В течение по меньшей мере пятисот лет наука и технологии поставляли факты, которые удивляли нас, причиняли нам дискомфорт, приводили нас в отчаяние, а порой в ярость. В начале семнадцатого века после почти пятидесяти лет внимательных наблюдений и сбора информации Галилей нанес удар по церкви, заявив, что Земля не является центром Вселенной. Несмотря на его тактический отказ от своих убеждений, ученым скоро стало очевидно, что Земля — действительно не центр Вселенной, а всего лишь одна из нескольких планет Солнечной системы. Позже они выяснили, что и Солнце — это лишь одна из многочисленных звезд, а затем осознали, что и наша Галактика — лишь одна из многих галактик. Сегодня мы стараемся понять, относится ли это и к нашему миру.

* Родни Брукс — руководитель лаборатории искусственного интеллекта и профессор компьютерных наук в Массачусеттском технологическом институте, а также руководитель и организатор производства корпорации «Айробот» — партнера многих известных компаний в легкой и военной промышленности. Был одним из четырех ведущих в фильме Эррала Морриса «Быстрый, дешевый и неуправляемый», в названии которого использован заголовок статьи Брукса, опубликованной в «Журнале британского межпланетного общества». Автор книг «Машинное зрение, основанное на моделях», «Программирование на языке ЛИСП», «Кембрийский интеллект» и «Плоть и машины: как нас изменят роботы», которая недавно вышла в свет.

Чарлз Дарвин обнаружил, что люди являются лишь частью царства животных и связаны с животными кровным родством. Сей бесспорный факт даже сегодня продолжает быть предметом политических игр в интеллектуальном бедламе Соединенных Штатов. Двадцатый век не сильно развил эту мысль, но работа Крика и Уотсона показала, что большинство основных генов человека слабо отличаются от таких же генов дрожжевых грибков или фруктовых мушек. В конце века нас потрясла версия, что жизнь появилась вовсе не на Земле, а была занесена с какой-то другой планеты. И наконец, мы узнали, что у человека не так много генов, как мы полагали, — меньше, чем у некоторых животных и даже картофеля.

Каждое открытие бросает вызов нашему представлению о самих себе. Мы теряем свою особенность и растворяемся в окружающем мире. Как это ни тяжело, но мы адаптируемся к новым обстоятельствам, так как ни одно из открытий не является совсем уж неожиданным. Обнаружение внеземного разума может оказаться сильной встряской, и наверняка таковой будет. Но и к этому мы исподволь готовимся, благо все больше народу присоединяется к программе поиска внеземного разума. Все открытия, касающиеся нашего вида, опираются на множество ранее добытых фактов, споров и обсуждений, так что их можно назвать обобщениями.

Судя по всему, в ближайшие пятьдесят лет произойдут новые потрясающие обобщения. Они могут коснуться самой человеческой сущности, что чревато жестокими войнами за сохранение интеллектуальных и религиозных догм. Первые вспышки этих войн уже заметны, и выглядят они очень неприятно. Грядущие обобщения угрожают стереть грань между человеком и машиной, что подразумевает правомерность проведения над человеком любых манипуляций. Ситуация осложняется тем, что технологии, относящиеся к человеческому телу и воспроизводству, скоро полностью изменятся, как это случилось за минувшие пятьдесят лет.

Негласная доктрина современной молекулярной биологии гласит: «Все живые системы, включая нас с вами, явля-

ются продуктом взаимодействия молекул». Современная биология основывается на строгом материализме. Не существует ничего, кроме молекул, взаимодействующих согласно действующим на них силам и случайности, обусловленной колебаниями температуры и квантовыми эффектами. Нет никакого эликсира жизни, никаких жизненных сил, никакого подсознания, никакой души. Такой подход среди ученых не дебатруется, так же как не вызывает сомнений утверждение, что и мы и картофель проходим от общего предка. Если положения о молекулярной основе жизни или эволюции биологических систем окажутся ложными, значит, все (сельское хозяйство, медицина, химическая и фармацевтическая промышленность, эпидемиология, меры по сохранению окружающей среды) базировалось на неверных предположениях и приносило желаемый результат по воле providения. Еще парочка-другая новостей о живых системах, и в следующие десятилетия произойдет качественный скачок. Возможно, он сыграет для биологии столь же разрушительную роль, как появление квантовой механики для физики или изобретение компьютера — для математики. Впрочем, основу основ он не заденет. Постулат о том, что мы являемся продуктом триллионов взаимодействий бестолковых молекул, останется, это не флогистон и не эфир, это факт, который ежедневно и ежечасно подтверждается тысячами новых экспериментов.

До недавнего времени большинство людей оставалось в блаженном неведении относительно исследований молекулярной биологии и лишь сейчас начинает замечать происходящее. Нынешний президент Соединенных Штатов Джордж Буш-младший посвятил очередное выступление по национальному телевидению стволовым клеткам. Проанализировав скрытые нюансы биологических исследований, он объявил, сославшись на этические и политические соображения, какого рода исследования стволовых клеток правительство намерено финансировать. Несомненно, нашим президентам еще не раз придется решать подобные вопросы. Кроме того, наверняка возникнут разногласия

адвокатов с обеих сторон, а на улицы выйдут разгневанные массы с требованиями запретить не только производство генетически модифицированных продуктов, как сейчас, но и технологии, унижающие наше достоинство, равняющие нас с изучаемыми нами же артефактами.

Мы уже начали превращать аналитические инструменты молекулярной биологии, развитые за последние пятьдесят лет, в инженерные инструменты. Это позволяет нам манипулировать самой жизнью, в том числе и человеческой, на самом фундаментальном уровне.

Пятьдесят лет назад, сразу после Второй мировой войны, произошла трансформация инженерных наук. Инженерия, опиравшаяся на рабочую шпоровку, превратилась в дисциплину, строго подчиненную физике. Сейчас мы наблюдаем начало новой трансформации инженерии, теперь она будет преимущественно опираться на биологию, хотя и не откажется совсем от связей с физикой. Я возглавляю лабораторию искусственного интеллекта Массачусеттского технологического института. В комнатах, где прежде производились кремниевые кристаллы, мы составляем программы из ДНК-последовательностей и вводим их в геном, стремясь создать биороботов. Образно говоря, наша задача на ближайшие тридцать лет — научиться выращивать стол, вместо того чтобы сажать дерево, ухаживать за ним, рубить его, распиливать на доски и так далее. Мы хотим превратить лабораторию в конвейер по сборке роботов из кремния, металла и живых клеток. Пока же мы выращиваем мышечные клетки и используем их в качестве привода в простых устройствах, являющихся прототипами протезов, которые можно будет бесшовно устанавливать в человеческое тело. Отделения, разрабатывавшие поисковые машины для Интернета, начали изобретать программы, способные анализировать человеческий геном в поисках причин того или иного заболевания. В комнатах, используемых ранее для производства систем автоматизированного проектирования, мы изучаем церебральный контроль за движениями человека, чтобы потом делать нейронные протезы для людей с поврежденным моз-

гом. А наши специалисты по видеосистемам, которые во времена «холодной войны» разрабатывали алгоритмы для обнаружения русских танков, теперь создают специализированную систему визуализации для использования в нейрохирургии. И такие трансформации происходят с инженерами повсеместно, не только в Массачусеттском технологическом институте.

Первыми на себе испытали нейронные протезы люди, имеющие серьезные клинические проблемы. Они хотели компенсировать телесные и внутренние повреждения. Уже давно существуют искусственный регулятор сердечного ритма, искусственный сустав, а недавно появилось и искусственное сердце. Сегодня в обиход входят более сложные нейронные протезы. Десятки тысяч пациентов, страдающих потерей слуха, носят специальные приспособления, имплантированные во внутреннее ухо. Эти имплантаты обеспечивают слышимость полдюжины звуковых частот путем прямой стимуляции периферических нейронов электрическим током. Пациенты слышат благодаря комбинации кремниевых и биологических нейронных схем.

Люди, страдающие дегенерацией желтого пятна сетчатки, станут основными клиентами биоинженеров, когда будет разработан сходный эффективный зрительный имплантат. Ученые по всему миру стремятся создать технологию, позволяющую имплантировать в сетчатку человеческого глаза кремниевую камеру, которая была бы способна передавать изображение прямо на зрительные нервы или отправлять его в соответствующий центр головного мозга. Были проведены эксперименты по кратковременному вживлению подобных устройств. К моменту написания этого очерка трое пациентов носят имплантаты сетчатки уже более года, хотя результаты экспериментов до сих пор не опубликованы. Зрительные имплантаты сделать гораздо сложнее, чем слуховые, хотя бы потому, что необходимы тысячи точных соединений между чипом камеры и нейронами (для распознавания обычной речи достаточно лишь небольшого количества соединений). Однако есть все основания полагать, что

имплантаты сетчатки станут столь же распространены, сколь и кохлеарные.

Пациенты, страдающие параличом рук и ног и имеющие высоко расположенную травму позвоночника, не позволяющую говорить и контролировать дыхание, теперь могут с помощью нейронных имплантатов, вживленных в мозг, мысленно управлять компьютерной мышью. Это позволяет им общаться с окружающим миром: блуждать по Интернету, печатать тексты и вести электронную переписку. Иногда роботы помогают им даже управляться с бытовыми делами. Можно рассчитывать, что технологии, позволяющие тяжелобольным не терять человеческое достоинство, будут продолжать развиваться, ассортимент имплантатов расширится, возможности работать увеличатся.

Проводятся и другие эксперименты по вживлению кремния и металла в тело человека для решения медицинских проблем. Например, существует устройство для тренировки мышц после инсульта и травмы позвоночника и для перенаправления нервных сигналов у пациентов с болезнью Паркинсона. Мы надеемся, что к ним сумеют приспособиться критические области головного мозга.

Не за горами времена, когда подобные клинические процедуры начнут использоваться не только в медицинских целях. Через десять — двадцать лет наша культура изменится, и мы будем использовать роботехнику, кремний и металл для совершенствования наших способностей познавать мир и действовать в нем. Здоровые люди смогут имплантировать себе в глаза устройства, позволяющие видеть в инфракрасном или ультрафиолетовом спектре, или имплантировать в мозг прямое беспроводное соединение с Интернетом.

Кроме того, примерно через четверть века развернется широкое использование геной инженерии. Она будет применяться не только в сельском хозяйстве и медицине, как сейчас, но и в нефтяной промышленности, в производстве пластмасс и других материалов, в утилизации отходов и других сферах, которые сейчас сложно вообразить.

Думаю, к 2050 году мы научимся достаточно аккуратно использовать методы генной инженерии для улучшения собственной плоти. И это не станет сенсацией, ведь новые технологии будут базироваться на достижениях «старых» наук.

Одним из первых усовершенствований человека может стать увеличение количества нейронов в коре головного мозга. На крысах такие эксперименты уже проводятся. Если в определенный период развития крысе добавить один слой нейронов в головной мозг, то ее умственные способности увеличатся. Хорошенько изучив гормональный баланс человека, контролирующий развитие мозга в детстве, мы сможем добавлять нейроны ко взрослому мозгу, тем самым повышая свой интеллект и восстанавливая память. Безусловно, будут ужасные ошибки и страшные истории об их последствиях, но они не помешают технологическому прогрессу.

К середине двадцать первого века биотехнологии, вероятно, позволят выбирать физические, умственные и личностные характеристики будущего ребенка. Мы все видели, как возможность определить пол плода изменила соотношение полов в популяциях Китая и Индии, так что сложно предположить, как новое достижение изменит человечество в целом.

Мы также научимся модулировать собственные тела. «Косметический ремонт» за последние двадцать лет получил широкое распространение в западных странах. Через пятьдесят лет на смену хирургии и биохимии в этой области придет генная инженерия. Большинство людей наверняка захотят обзавестись «вечной молодостью», но многие пожелают оздоровиться или приспособиться к определенному образу жизни. Причудливость рода человеческого увеличится настолько, что мы сегодня и представить себе не можем.

Технологии, разработанные для изменения человеческой плоти, найдут применение и в промышленной инфраструктуре. То, что сегодня производится, будет выращиваться (вспомните пример со столом). Генетически модифицированные организмы будут совершать молекулярные

манипуляции, повинаясь цифровому управлению. Наши тела и материалы, изготавливаемые на фабриках, будут одинаковыми. Возможно, нам удастся разделить их в своем сознании, как сегодня мы видим разницу между человеческой жизнью и жизнью инкубаторского цыпленка. Но смущение заставит нас глубже задуматься о своем существовании, так что наше видовое самосознание наверняка изменится.

По мере развития научного и технического прогресса мы будем снова и снова сталкиваться с одними и теми же тревожными вопросами: что такое жизнь; что делает нас «людьми»; почему другие существа не достигают человеческого уровня; что такое «сверхчеловек»; какие изменения человеческой природы мы можем принять; этично ли манипулировать человеческой жизнью; этичны ли даже те манипуляции, которые направлены на «коррекцию»; чей вариант «коррекции» лучше; чей вариант «жизни» и «человечности» лучше; какую ответственность несет ученый за манипуляции над какими бы то ни было формами жизни.

Об этом будут спорить не только ученые. Это будет обобщать все общество, причем с таким остервенением, что не исключены акты вандализма, а то и полномасштабные войны.

Открытия, сделанные за последние пятьсот лет, изменили наше понимание своего места в космосе. Открытия следующих пятидесяти лет изменят само место. Мы перестанем быть пассивными наблюдателями порядка вещей и превратимся в операторов, манипулирующих жизнью. Мы выйдем за пределы дарвиновской эволюции. Мы начнем управлять генезисом и как отдельные особи и как вид. По сравнению с грядущими событиями наши эксперименты с расщеплением ядра покажутся детскими играми. Нам придется сдерживать и контролировать свое высокомерие, если мы хотим, чтобы сигналы наших потомков когда-нибудь обнаружили «программы поиска инопланетного разума», развернутые где-нибудь на других планетах.

Питер Эткинс*



БУДУЩЕЕ МАТЕРИИ

Химики — волшебники, работающие с материей. Они создают новые вещества из земли, воздуха и воды и лепят формы, которые, возможно, не существуют больше нигде во Вселенной. Но в отличие от работы волшебников их деятельность опирается на реальную основу — глубокое понимание того, как соединяются атомы и как из них образуются новые комбинации. Рациональный подход к изучению материи, ведущийся у химиков, родился благодаря экспериментам семнадцатого — девятнадцатого веков и укрепился в двадцатом веке после приложения к химии принципов квантовой механики.

Плоды деятельности химиков за последние пятьдесят лет видны повсюду. Это лекарственные препараты, удлиняющие жизнь, излечивающие болезни и уменьшающие боль; непромокаемые ткани и красители, изгоняющие скуку; легкие и прочные пластмассы и керамические материалы, заменя-

* Питер Эткинс — профессор химии в Оксфордском университете и преподаватель колледжа Линкольна. Его теоретические исследования посвящены, в частности, магнитному резонансу и электромагнитным свойствам молекул. Автор учебников «Общая химия», «Физическая химия», «Неорганическая химия», «Молекулярная квантовая физика», «Кванты», «Принципы физической химии» и научно-популярных книг «Молекулы», «Второй закон», «Атомы, электроны и изменения» и недавно вышедшей книги «Периодическое царство».

юшие дерево и железо и позволяющие создавать необычные предметы; полупроводники, преобразившие наш быт, и сверхпроводники, которые преобразят его сильнее, а также горючее, давшее всем нам свободу передвижения. Кроме того, благодаря усилиям химиков возникают новые направления в науке. Материаловедение — это химия новых материалов, обладающих определенными механическими, электрическими и магнетическими свойствами. Молекулярная биология — удивительное творение двадцатого века и основа биологии и медицины двадцать первого века — является, по сути, химией сложных молекул, ответственных за жизнь. Современная медицина, за исключением хирургии, тоже является прикладной химией. Короче, все, что связано со свойствами и превращениями вещества, относится к химии, несмотря на то, живая это материя или нет.

Думаю, в ближайшие пятьдесят лет развитие химии пойдет по следующим направлениям. Первое — совершенствование классической технологии, к которой относится смешивание, нагревание и взбалтывание. Эта технология родилась в мастерских алхимиков и расцвела в современных лабораториях. Ученые накопили богатейший опыт в построении из атомов определенных структур. Полученные знания, несомненно, будут использованы при создании искусственного интеллекта. Стратегия синтеза будет все чаще разрабатываться с помощью компьютера, который благодаря своим нейронным сетям поможет отыскать верное решение. Использование компьютеров в химии будет расширяться по мере производства все более сложных структур — не только белков и нуклеиновых кислот, но и органических материалов для хранения информации, что позволит усовершенствовать сами компьютеры. Машины нового поколения станут компактнее. Со временем они будут создаваться вообще из молекул, так как это самая мелкая частица, имеющая сложную архитектуру и структурные качества. Химики начнут строить молекулярные компьютеры с помощью навыков, которые

они приобрели в процессе создания относительно простых молекул.

Второй путь — генная инженерия. Органическая химия изначально занималась продуктами деятельности живых организмов, а именно углеродом и его соединениями. Затем сфера ее интересов расширилась. Возможно, в будущем химии-органики начнут сотворять жизнь из чего угодно. Для этого им придется синтезировать ДНК или эквивалентную молекулярную систему хранения информации и поместить ее в искусственную яйцеклетку, защищенную синтетической мембраной и снабженную искусственной системой метаболизма, необходимого для репликации. Уже сейчас можно получить большинство компонентов, необходимых для создания полностью искусственной системы, а уже через пятьдесят лет наверняка будет создано большое количество жизнеспособных искусственных белков. Я не думаю, что из сегодняшней органической химии в ближайшие пятьдесят лет выделится истинная органохимия — синтез живых организмов, но за этот период химики научатся производить работающие белки, а также синтетические мембраны, близкие по своим свойствам к клеточным. К середине века мы начнем собирать детали, необходимые для искусственного воспроизведения жизни. Когда-нибудь у химиков отпадет необходимость держаться за углерод, так как появится возможность вводить в живые организмы кремний и германий, что обусловит возникновение абсолютно новых форм жизни. Успехи в этом направлении, естественно, вызовут вопросы этического порядка, но пока не стоит волноваться: рано.

Хотя научный и технический прогресс перечеркнул убеждение в том, что только живые особи способны вырабатывать органические соединения, синтезировать все на свете, пожалуй, нельзя. Существуют молекулы настолько сложные, что их действительно могут выдавать только живые организмы. Химики будут разводить их, как фермеры коров, термин «агрохимия» обретет новое значение. Бактериям уже помогут занять место в рабочем строю, по мере развития генной

инженерии их будут использовать все эффективнее. Не вижу особых причин, почему бы химическим лабораториям не стать поставщиками сырья для нефтеперерабатывающих предприятий. В течение ближайших пятидесяти лет важность генных технологий будет возрастать вследствие истощения природных источников углеводородов.

Третий путь — «индивидуальный пошив». Сейчас химики уже способны передвигать атомы в желаемую область, а в будущем они будут строить молекулы атом за атомом. Будут созданы новые структуры, которые не смогут существовать в обычных условиях, в воздухе или растворе. Сложно представить, чтобы такие технологии понадобились промышленности, впрочем, она все время развивается, и «индивидуальный пошив» молекул нельзя скидывать со счетов.

Концепция «индивидуального пошива» наводит на мысль о нанотехнологиях. Безусловно, химия внесет посильный вклад в производство мельчайших компонентов и поиск путей создания элементов, которые сегодня, по сути, «вытесывают из камня». Молекулярная инженерия уже производит микроскопические аналоги механических компонентов, и эти технологии будут развиваться. Со временем будут найдены способы нанопроизводства зубцов, колес, осей, ремней, мостов и всех остальных приспособлений. Прежде сторонники нанотехнологий считали, что химики смогут собирать микроскопические версии макроскопических машин: молекулярные колеса с молекулярными тормозными приводами, вертящиеся на молекулярных осях с молекулярными подшипниками. При этом предполагалось, что свойства атомов можно не учитывать или произвольно изменять. Теперь поборники нанотехнологий утверждают, и я с ними согласен, что химики смогут разрабатывать молекулярные аналоги макроскопических машин именно на основе реальных свойств атомов. Одна из привлекательных перспектив — с помощью геной инженерии заставить бактерии производить зубчатые колеса, клапаны и пружины или даже

целые машины, состоящие не только из органических, но и других соединений.

Сегодня возлагают большие надежды на использование нанотрубочек из углерода и азотистого бора, хотя успехи пока очень скромны. Но уже удалось ввести в углеродную нанотрубочку цепь атомов и получить изолированный провод диаметром в один атом, такие провода необходимы для нанопроизводства компьютеров. Есть все основания полагать, что размер компьютера особого назначения будет уменьшен до размера пылинки и что такие компьютеры можно будет рассеивать в нужном месте подобно аэрозолю. В конце концов, мозг муравья ненамного больше пылинки и при этом обеспечивает исполнение очень сложных и разнообразных функций.

Углеродные нанотрубочки пригодятся и в макроскопических конструкциях, таких как подвесные мосты и куполообразные сооружения. Они будут обладать огромной прочностью для своего веса. Вполне возможно, что геодезические купола, построенные на опорах из углеродных нанотрубочек, однажды защитят нас от экологических последствий нашего поведения, помогут вернуть к жизни пустыни, колонизировать Марс или даже межпланетное пространство. Через пятьдесят лет углеродные нанотрубочки вполне могут стать промышленным продуктом.

Однако понимание самой химии за пятьдесят лет продвинется мало. Эта наука хорошо изучена, и вряд ли появятся какие-нибудь изменения, касающиеся ее фундаментальных принципов. Это не значит, что химия полностью предсказуема. Одним из самых больших сюрпризов двадцатого века стало обнаружение фуллерена — молекулы углерода-60, по форме напоминающей футбольный мяч, и ее аналогов, включая углеродную нанотрубочку. Хотя существование четвертой аллотропной формы углерода и предполагалось, никто не относился к этому серьезно. Теоретическая химия очень помогает разработке квантовой теории и статистической физики, но для предсказаний она не слишком подходит.

Поэтому можно ожидать дальнейшие сюрпризы, но любые открытия будут соответствовать сегодняшнему пониманию основных принципов.

Теперь поговорим об использовании компьютера в химии. По мере расширения базы данных и все более активного использования нейронных сетей будет повышаться надежность вычислений объемных свойств отдельных молекулярных структур. Компьютер будет все более надежным консультантом. Основным применением компьютера сегодня является скрининг соединений на фармакологическую активность путем вычисления свойств их молекул и оценки их возможного действия. Это может на много лет сократить время разработки лекарства. В настоящее время запущена программа скрининга, которая использует (как и программа поиска внеземного разума) простаивающие компьютеры по всему миру, чтобы сканировать молекулы, представляющие фармакологический интерес. Использование компьютерной технологии наверняка будет расширяться, особенно после успешного завершения проекта «Геном человека», который предоставил много новой информации.

Компьютер будет все активнее применяться и при синтезе соединений, включая катализаторы. Катализатор — это субстанция, обеспечивающая ход некой реакции с нужной скоростью, сохраняясь в неизменном виде. Китайский иероглиф, означающий «катализатор», переводится также как «сваха», что очень точно передает смысл понятия. Основные усилия химиков направлены на разработку более эффективных, дешевых, стойких и селективных катализаторов. Они будут необходимы до тех пор, пока производятся химические соединения. Самые первые катализаторы были очень примитивными — кусочки железа или сетка из платины и родия. Сейчас катализаторы усложнились. В ближайшие пятьдесят лет появится их новое поколение. Катализаторы будут представлять собой твердые тела, пронизанные крохотными туннелями и полостями размером с молекулу. Большим преимуществом микропористого материала является широкая по-

верхность (по сути, это сплошная поверхность) и способность чрезвычайно избирательно пропускать молекулы определенного размера и типа. Сегодня такие материалы изучают и разрабатывают с помощью компьютера.

До сих пор я не говорил о традиционном занятии химии — анализе окружающих материалов. Совершенствование химического анализа в последние пятьдесят лет привело к следующему. Во-первых, родилась хроматография — разделение смесей, близких по составу и свойствам в динамических условиях. Во-вторых, возникла масс-спектрография, при которой молекулу изучают по ее фрагментам. Обе эти технологии весьма чувствительны и часто используются совместно. В-третьих, появился комплекс методик, называемый спектроскопия. К этому виду анализа относится, в частности, ядерный магнитный резонанс (ЯМР), на основе которого разработаны методики визуализации, используемые в медицине.

ЯМР оказался наиболее универсальным инструментом химии. Пятьдесят лет назад, когда изобрели эту процедуру, она представляла собой мониторинг поглощения радиоволн (ядро водорода изменяло ориентацию в сильном магнитном поле). С тех пор ЯМР значительно усовершенствовались. Сегодня используется сложное оборудование, позволяющее проследить поведение целых групп атомов водорода в заданных обстоятельствах. Судя по всему, эта технология продолжит развиваться. Похоже, она будет усложняться и совершенствоваться бесконечно. С каждым витком ее развития химики будут получать все больше информации о молекулах исследуемого образца. Последним большим успехом было определение структуры белков в условиях, близких к естественным условиям живой клетки. ЯМР столь универсален, что используется и при попытках создать квантовый компьютер. Кто знает, может, в далеком будущем ЯМР-спектрометр начнет даже думать об изучаемых молекулах!

Химия — наука о структуре и составе. Химики стараются понять свойства молекулы на основе изучения ее формы,

размера и расположения атомов. Теперь они хотят научиться определять свойства белка на основе изучения трехмерной структуры его молекулы. Здесь есть и теоретические и экспериментальные проблемы, которые, вероятно, через пятьдесят лет будут решены.

Наиболее актуальная теоретическая проблема, стоящая перед химиками, звучит так: «Если знать аминокислотную последовательность белка в полипептидной цепи, как предсказать форму, которую эта цепь примет в естественных условиях?» Формой белковой молекулы во многом определяются ее свойства — вот почему эта проблема включена в проект «Геном человека», цель которого — отследить информацию ДНК через закодированные в ней белки, а также изучить функции этих белков. Один из подходов к решению проблемы укладки белка (так ее называют) — вычисления, для чего необходимы очень мощные компьютеры. Требуется проанализировать возможные скручивания длинной полипептидной цепи. Исследования продвигаются на редкость медленно, и, вероятно, в ближайшие десятилетия этой проблемой будет заниматься множество людей и организаций. Синтезировать полипептидную цепь довольно просто, но это бесполезно, если не удастся придать ей форму, нужную для возникновения определенных функций.

Экспериментально проблема укладки белка во многом была решена благодаря применению рентгенодифракционного метода. Он был разработан сто лет назад и тем не менее помог определить структуры ДНК, а также лизоцима, инсулина и гемоглобина. В последнее время при рентгенодифракции используют синхротрон — огромный аппарат, в котором электроны стремительно движутся по кругу, испуская рентгеновские лучи при изменении направления. Синхротроны используются по всему миру. Высокоинтенсивные рентгеновские лучи позволяют быстрее получать дифракционные паттерны, причем весьма детализированные. Скоро станет возможным определять структуру молекул в растворах и даже наблюдать за ходом реакций в реальном времени.

Синтез, анализ и структура — три главных объекта изучения химии, и мы поговорили о каждом из них. Наконец, есть химическая реакция — процесс превращения одной субстанции в другую. Успехи, достигнутые в спектроскопии благодаря применению импульсных лазеров, позволяют химикам изучать ход химических реакций по фемтосекундной шкале (10^{-15} секунды). На этой шкале летящий атом кажется едва ползущим. Пока таким образом изучены лишь самые простые реакции, но лет через пятьдесят модернизированная спектроскопия позволит изучать реальные реакции, может, даже катализируемые ферментами. Тогда мы сумеем подсмотреть за превращением одних веществ в другие, увидеть атомы и молекулы в самые «интимные» моменты их существования. Это даст нам наконец полное и глубокое понимание форм материи, которой мы пытаемся манипулировать с помощью тех или иных технологий.

Роджер К. Шенк*



СТАНЕМ ЛИ МЫ УМНЕЕ?

Так ли уж мы умны? Станем ли со временем умнее? Конечно, это зависит от того, что понимать под словом «ум». Безусловно, объем наших знаний увеличивается — во всяком случае, создается такое впечатление. Хотя сегодня средний ребенок имеет доступ к гораздо большему объему информации, чем его ровесник пятьдесят лет назад, многие все же считают, что дети стали менее образованными и что школы теряют свою эффективность.

Вопросы о том, что такое «интеллект» и что означает «быть образованным», сегодня не входят в область научных интересов и не обсуждаются общественностью. Тем не менее у каждого из нас есть собственное мнение на сей счет. Думаю, в ближайшие пятьдесят лет оно сильно изменится.

* Роджер К. Шенк — ведущий ученый в области искусственного интеллекта, председатель и технический директор «Когнитив арт корп.», профессор Школы компьютерных наук в Университете Карнеги — Меллона. Ранее возглавлял Институт образовательных наук в Северо-Западном университете, где теперь является его почетным профессором. Автор книг «Динамическая память: теория обучения компьютеров и людей», «Расскажи мне историю: новый взгляд на реальную и искусственную память», «Руководство для ценителей разума», «Виртуальное обучение: революционный подход к воспитанию высокопрофессиональных работников», «Произвольное раскрашивание: воспитание умных детей путем нарушения правил» и «Разработка мирового E-обучения».

Примерно десять лет назад мне предложили войти в состав редколлегии нового издания «Британской энциклопедии». Моими соратниками стали в основном восьмидесятилетние гуманитарии. У меня техническое образование. Кроме того, я был намного моложе остальных. Поэтому мои слова часто воспринимались с удивлением. Когда я спросил у коллег, согласились бы они увеличить объем энциклопедии в десять раз при условии, что расходы не возрастут, они ответили отрицательно, дескать, нынешний вариант содержит вполне достаточно информации. Я сказал, что в таком случае через десять лет они окажутся не у дел. Они не поняли, что я имею в виду, хотя я постарался объяснить им приближение того, что сегодня называют «Всемирной паутиной». Позже, узнав о том, что мы одинаково смотрим на будущее, литературный критик и радиоведущий Клифтон Фейдимен сказал мне: «Думаю, нам всем скоро придется смириться с тем, что такими проектами, как «Энциклопедия», будут руководить люди, менее образованные, чем мы».

Главным редактором «Британской энциклопедии» тогда был Мортимер Адлер. Он также отвечал за издание серии под названием «Великие книги западного мира», которая продавалась (и продается) отдельными выпусками. В это собрание земной мудрости (во всяком случае, по мнению Адлера и его коллег) входят книги, преимущественно написанные до двадцатого века. Я поинтересовался у Адлера, не считает ли он целесообразным включить в серию более современные книги, на что получил ответ: «Большая часть умных мыслей давно записана».

Убеждение в том, что все великие мысли уже обнародованы, а прочие недостойны внимания, довлекло над образовательной системой и интеллигенцией Америки в течение долгого времени. Вот отрывок из документа, рожденного среди стен Гарвардского колледжа в 1745 году:

«Если выяснится, что молодой человек знаком с сочинениями Марка Туллия Цицерона или ему подобных авторов, свободно читает латинскую прозу и

поэзию, без ошибок склоняет греческие существительные и спрягает греческие глаголы, тогда его можно принять в колледж. Никто не может быть принят без таких предварительных экзаменов».

Мортимер Адлер и составитель гарвардских правил, наверное, полагали, что изучение человека и всего того, что с ним связано, успешно завершено в далеком прошлом, поэтому образование означает просто хорошее знание трудов древних мыслителей. С этой точки зрения, образованным легко назвать эрудита — человека, способного рассуждать на исторические, философские и литературные темы. Однако образование не сводится к эрудиции, так же как интеллигентность — к умению цитировать чужие мысли и демонстрировать знакомство с определенными догмами.

Через пятьдесят лет получить информацию будет очень легко. Достаточно будет сделать запрос вслух, и нужные сведения буквально обрушатся на голову (если, конечно, потолок оборудован необходимой аппаратурой). Незачем будет помнить, что Фрейд говорил о суперэго, появится возможность спросить об этом и выслушать ответ самого Фрейда (или кого-то очень на него похожего), а затем еще и узнать мнения пяти оппонентов. Главное будет четко сформулировать вопрос, а уж за ответом дело не станет. И более умным будет считаться не тот, кто умеет отвечать, а тот, кто способен вразумительно спросить.

Мы слишком долго жили в обществе, основанном на ответах. Признаки этого повсюду: в телевизионных шоу, таких как «Риск» и «Кто хочет стать миллионером?», в играх вроде «Тривиал персыют», а больше всего в школах, где ответы — это все. В школах все больше используется тестирование. Школы обучают отвечать, но не учат задавать вопросы.

Новые технологии изменяют заведенный порядок. Когда на магазинные прилавки легли карманные калькуляторы, все принялись выяснять, можно ли это устройство использовать на экзаменах. В результате в математические тесты

попали задачи, более сложные, чем примеры на деление и умножение. Повсеместное распространение устройств с искусственным интеллектом будет иметь такой же эффект. По мере распространения машин, способных отвечать на любые интересующие нас вопросы, мы будем все меньше ценить людей как носителей информации. Нынешний принцип школьного образования, основанный на том, что самый умный человек в городе вещает, а остальные сидят и слушают, уйдет в прошлое. Знания больше не будут считаться товаром, который нужно приобретать. Все, что легко приобрести, быстро теряет свою ценность, и знания ожидает та же участь.

В цене будут умные вопросы. А про эрудитов будут пренебрежительно говорить: «Компьютер на большее не способен».

Вообразите картину: вы сидите в гостиной, беседуете со своей draжайшей половиной, и вдруг у вас возникает спор. Вы задираете голову: «Кто из нас прав?» Сверху компьютер отвечает, что к вашему разговору готовы присоединиться несколько человек. Вы выбираете тех, о ком слышали или с кем говорили раньше. Начинается приятный обмен мнениями. В конце концов знания исчерпываются и в гостиной воцаряется тишина. Вы вскрикиваете: «Занятный вопрос!» — и просите компьютер связать вас с другими людьми. И вот все заинтересованные лица оказываются рядом с вами (виртуально), и дискуссия продолжается. Если такое станет возможно, кого мы будем считать «образованными»? И что будет означать «интеллект»?

Чтобы решить, во что когда-нибудь превратится образование, нужно представить, какова будет жизнь ребенка. Через пятьдесят лет сегодняшние школы отомрут, так как потеряют актуальность. Зачем протирать штаны в школе, если доступно виртуальное образование, если в любой момент можно получить консультацию у лучших учителей мира? Образование уже с двухлетнего возраста будет означать постижение выбранной области знаний с помощью преподавателей, которые будут приходить из виртуального про-

странства, чтобы ответить на вопросы и поставить новые. Любопытному ребенку будут открываться все новые миры. Образование в таком обществе будет зависеть от того, какую именно сферу деятельности в виртуальном, а затем и в реальном мире вы избрали и насколько хорошо ее изучили.

На упомянутое в начале статьи замечание Фейдимена я ответил, что люди не будут менее образованны, просто образование станет другим. В мире Клифтона Фейдимена образованным считался человек, получивший диплом в Гарварде (или эквивалентном учебном заведении) и ознакомленный с основными догмами западного мира. При этом он совсем не обязательно должен был уметь программировать на Java или понимать основы нейронаук. Через пятьдесят лет Гарвард будет существовать, но ценность его дипломов сильно понизится.

В самом глубоком смысле образование всегда имело отношение к действию, а не к знанию. Об этом говорили мыслители всех времен, от Аристотеля («Потому что предметы, которые мы должны выучить, прежде чем делать, мы изучаем на практике») и Галилея («Вы не можете научить человека, вы можете только помочь ему найти это внутри себя») до А.С. Нейлла («Я слышу и забываю, я вижу и запоминаю, я делаю и понимаю») и Эйнштейна («Единственный источник знаний — опыт»). Школы игнорировали эту мудрость, они предпочитали, по словам Джона Дьюи, принцип «учить, вливая».

Виртуальные школы будущего станут привлекать учащихся не дипломами, а предлагаемым опытом. Он будет доступен для изучения в любой момент, поэтому большинство студентов будут поступать в колледж гораздо раньше, чем в восемнадцать лет. Успехи в виртуальных навыках будут побуждать их к дальнейшему обучению, подобно сегодняшним видеоиграм. Аттестующие органы будут больше интересоваться умениями (полученными виртуальными знаками отличия), чем пройденными курсами.

Опыт в разных дисциплинах потребует усилий. Всемирно известные физики, вместо того чтобы читать лекции в Гарвардском или Колумбийском университете, будут работать с дизайнерами-программистами в стремлении сделать программы, позволяющие изучать физику опытным путем. Такой опыт будет доступен каждому. Признаком ума будет считаться не диплом, выдаваемый учебным заведением за хорошее усвоение программы, а вопрос, на который компьютерная программа не сумела ответить и который пришлось переадресовать людям. Интеллектом будут считать способность вырваться за пределы образовательной программы.

Станет ли наше общество умнее благодаря таким нововведениям? Если иметь в виду способность мыслить, то люди были, есть и будут умными. Но если говорить о глубине и широте мышления, то да, станут. Гениальный пещерный житель, которому были доступны очень ограниченные знания о мире и чрезвычайно ограниченная народная мудрость, мог оперировать очень скудным набором инструментов. Возможно, он понимал природу человека так же хорошо, как позже ее понимали греки. Но по большому счету его нельзя назвать умником.

То же верно и в отношении греков, конечно. Аристотель кажется нам гениальным, потому что он интересовался проблемами, которые интересуют нас и по сей день, и внес большой вклад в их изучение. И все же Аристотель выглядит до смешного наивным, когда затрагивает вопросы, которые мы знаем гораздо лучше его. Каждое поколение совершенствует подходы, открывая дорогу для потомков. Поколение, следующее за нами, сделает огромный прыжок вперед. Через пятьдесят лет тот факт, что мы сидели в классах, слушали учителей и листали учебники, будет вызывать смех. Люди, оглядываясь назад, будут удивляться, почему потребовалось столько времени, чтобы изменить систему образования, почему мы придавали такое огромное значение оценкам на экзаменах или почему мы считали, что хорошая память ука-

зывает на высокий интеллект. Сформулированное в восемнадцатом веке представление о том, что образование есть внушение определенных идей по указке правительства, будет казаться ужасным. Контролируемый правительством доступ к информации, существующий сейчас в некоторых странах, исчезнет как страшный сон. Любой опыт будет доступен кому угодно и где угодно, так что цензура канет в Лету. Правительства бросят даже мечтать о причастности к образованию, где сегодня доминируют. Чиновники не смогут контролировать распределение виртуального опыта, уже сегодня они теряют контроль над телевидением и доступом к Интернету.

Через пятьдесят лет мы поймем, что опыт — главное мерило интеллекта, а способность расширять границы опыта — проявление свободолобия. Основной отраслью индустрии станет создание виртуального опыта; он будет управлять нашими домами и заменит нам школы. То, что мы сегодня имеем в видеоиграх и научно-фантастических фильмах, станет реальностью. Сегодня, например, «Эверквест» притягивает сотни тысяч людей, они заселяют виртуальное пространство в надежде добиться определенного статуса, сформировать взаимоотношения, обзавестись какими-то объектами. Эта игра стала столь реальна, что ее участники продают виртуальные объекты за конкретные денежные знаки. Многие игроки полностью строят свою социальную жизнь на основе игры. В будущем виртуальные миры станут гораздо сложнее и сильнее увязаны с реальным миром.

Мы действительно сможем отправляться куда и когда захотим, чтобы потом рассказывать о своих приключениях. Нас будут интересовать те, у кого больше опыта в виртуальных мирах. Мы поймем, что именно оставшиеся без ответа вопросы и способность критически относиться к себе являются истинными мерилami интеллекта. Это хорошо признают ученые в отличие от очень многих. Политики хотят простых решений, учителя хотят точных ответов, бизнес хочет быстрого оборота капитала, вкладчики хотят прибыли, те-

лезрители хотят «мыльных опер», аттестационные комиссии хотят баллов. В таком обществе умным считается тот, кто удовлетворяет перечисленные желания. В таком обществе даже Клифтон Фейдимен почувствовал бы себя аутсайдером.

Однажды меня попросили проинспектировать технические колледжи, чтобы оценить уровень преподавания. В классе, где занимались будущие повара, каждый студент имел собственный уголок с кухонной утварью и плитой. К этому нечего добавить. Школа обучала людей на практике. К сожалению, такой подход не является основным принципом во всех технических колледжах, зато в других вузах дело, похоже, меняется. По мере того как увеличивается доступность инструментов, они уделяют практике все больше внимания. Например, в Университете Карнеги — Меллона, где я работаю, первокурсники сами собирают компьютеры, на которых будут работать следующие четыре года. Можно не сомневаться, что они понимают работу компьютера, раз умеют его собирать.

В будущей системе образования — основанной на практике — важны будут навыки, а не отвлеченные знания. Вопросы, возникающие у студента в процессе виртуальной учебы, будут касаться важных интеллектуальных проблем. Причем студенту придется уточнять, какой опыт породил тот или иной вопрос, чтобы компьютер мог предложить ему конкретное решение или реально выполнимые действия.

Мы все станем намного умнее в том смысле, что перестанем бояться новизны. Благодаря изменениям в системе образования наш интеллектуальный мир больше не будет делиться на технарей и гуманитариев. Мы все будем просто любознательными, а значит, феноменально умными.

Джерон Ланье*



ПОТОЛОК СЛОЖНОСТИ

Период общих вычислений второй половины двадцатого века характеризовался странными колебаниями между головокружительными преувеличениями и приближениями к коллапсу. Основатели компьютерных наук были склонны к преувеличениям: Анал Туринг размышлял, могут ли машины, особенно его абстрактные «универсальные машины», в конце концов заменить людей, а Клод Шэннон считал, что термин «информация» охватывает абсолютно все, включая термодинамические процессы.

Стаким же успехом можно утверждать, что любой химический препарат является живым существом, поскольку жизнь опирается на химические взаимодействия. Это утверждение не высказано кем-нибудь только потому, что очевидно: процессы, происходящие в живом организме, несопоставимы по сложности с тем, что происходит в лабораторной пробирке. Такую разницу мы чувствуем интуитивно. Но мы не ощущаем столь четкое размежевание между информационными системами. Серьезные исследователи, работавшие с так называемым искусственным интеллектом, считали, что ком-

* Джерон Ланье — ученый-кибернетик и музыкант, хорошо известный благодаря своей работе в области виртуальной реальности. Ведущий ученый «Нэшнл телесиммерсион инициатив» — ассоциации университетов, изучающих роль и применения интернет-технологий нового поколения.

пьютеры скоро начнут бегло разговаривать не хуже людей, подобные мысли высказывались даже в конце 1950-х годов. Этого до сих пор не произошло, а мы все еще не отдаем себе отчет, насколько сложно понимать язык и сколько времени уйдет на создание таких компьютеров.

Практика преувеличений продолжается, и даже среди научной «кибернетической» элиты можно найти тех, кто верит в неизбежную «индивидуальность» компьютеров, которая разовьется где-то через полвека. Тогда компьютеры станут столь умны и мощны, что не только заменят человека как господствующую форму жизни, но и приобретут власть над материей и энергией, так что будут вести мистический или богоподобный образ «жизни», абсолютно недоступный человеческому пониманию. Как бы странно это ни звучало, но именно так многие мои коллеги представляют себе будущее.

Читатели, наверное, знают, что меня осуждали за активную популяризацию термина «виртуальная реальность», чем я грешил в восьмидесятих годах прошлого века. Но часто не понимают, что целью виртуальной реальности является не описание и воссоздание физической реальности (что невозможно), а изучение познавательных функций человека и возникновение у него определенных иллюзий. В своей основе виртуальная реальность — это научное изучение возможностей сценической магии, а не воссоздание физической реальности.

Наряду с парадом донкихотских преувеличений теоретической мощи компьютеров была и бесконечная череда разочарований работой реальных информационных систем. Компьютер — единственный промышленный продукт, который при выполнении обычных операций часто и непредсказуемо дает сбой.

Почти постоянно недооценивается стоимость обслуживания информационных систем, что можно назвать ритуалом современного бизнеса. Точнее, это касается программного обеспечения — на него невозможно удерживать пред-

сказуемые цены, особенно на некоторые виды программ. Аппаратные мощности продолжают уменьшаться в размере, увеличивать скорость работы и дешеветь (по экспоненте, предсказанной законом Мура), и именно этот успех подхлестывает фантастические переоценки. В закрытых системах с небольшим и постоянным специфическим интерфейсом программное обеспечение тоже может быть довольно надежным, хотя и недешевым. Примером служит код, управляющий современными самолетами, такими как аэробус. Программы, с которыми нелегко работать, имеют сложный изменяющийся интерфейс (например, программы персонального компьютера, они очень «неуправляемы»). Таким образом, программы делятся на два типа, их не следует путать. В конце двадцатого века все паниковали, ожидая, что вирус Y2K нанесет колоссальный урон. Этого не произошло по той причине, что большая часть инфраструктурных программ вполне управляемы, хотя и недешевы.

Полагаю, что в ближайшие пятьдесят лет эти две тенденции — переоценка возможностей и недооценка стоимости — сохранятся. Такой сценарий можно назвать «планета справочного стола», при котором человечество будет в основном заниматься обслуживанием очень больших программных систем. Это не очень плохой вариант, потому что все будут заняты выгодным делом. Но такое скучное будущее не является неизбежным. Не исключено, что начнется новая эра компьютерных наук, которая предложит абсолютно новые возможности.

Для начала компьютерные науки должны вернуться к своему истоку и переосмыслить взаимоотношения информации и физических процессов. Клод Шэннон гениально предложил связать измеряемые биты с энтропией физической системы, но эта формулировка в изолированном виде способна привести к ошибкам. На практике можно измерить не все биты, кроме того, некоторые из них важнее других. Большинство потенциально измеряемых битов в физических системах на практике теряются в море статистических рас-

пределений. Согласно метафоре, популярной в конце двадцатого века, взмах крыльев бабочки может откликнуться неделю спустя штормом на другой стороне Земли. Юмор заключается в том, что даже если однажды так оно и случится, мы все равно никогда не узнаем, действительно ли данный шторм разбушевался из-за того, что в определенный момент вон та бабочка взмахнула крыльями. Измеряемые биты имеют разный «причинный потенциал». Наверное, информацию Шэннона следует переименовать в «потенциальную информацию». Чтобы бит стал важным, т.е. имел высокий причинный потенциал, он должен быть читаем и являться критической частью системы. Это приводит к тому, что иногда возникают ситуации, при которых вычисления приобретают более глубокую «семантику», или смысл.

В компьютерной науке всегда была проблема, хотя наличие ее признавалось нечасто. Чтобы описать ее суть, предлагаю вообразить некое племя, не имеющее информации ни о языке, ни о культуре, ни об истории человечества. Такие существа едва ли смогут понять назначение и работу персонального компьютера, так же как и Шекспира, если они случайно окажутся в современной библиотеке.

И это не вымышленная проблема. Сложность программного обеспечения сегодня ограничена способностью человека к точному анализу и управлению. Необходимо найти новый способ мышления и новый уровень программирования, иначе нам не удастся писать более десяти миллионов строк кода, какими бы быстрыми, многофункциональными и выносливыми ни стали наши процессоры.

На заре эпохи компьютеризации, во второй половине двадцатого века интуитивным — единственно доступным — подходом к анализу информации была передача импульсов по проводам. Теория информации, которая все еще доминирует в стандартных учебных программах, базировалась на точечном образе окружающего мира. Источником кода служила имитация импульсов, которые можно было бы последовательно отправлять по проводу.

Чтобы расшифровать смысл электрических импульсов, требуется протокол (декодер). Компьютерная наука и сосредоточилась на нем. В результате появился Интернет. Но системы, созданные природой, функционируют по-другому. Хотя теоретически возможно использовать алгоритмы, разработанные в двадцатом веке, для объяснения деятельности зрительной коры головного мозга, получающей сигналы от зрительного нерва, но на практике это сделать чрезвычайно сложно. Строгий протокол не позволяет адекватно описать работу системы, получающей большое количество параллельных стимулов. Если же мы заменим провода на поверхность, дискретизированную в разных точках, то сумеем перейти от алгоритмических протоколов к технологиям, включающим классификацию образцов и автоматическое поддержание моделей.

Представим себе такую ситуацию. В медицинской школе группа разработчиков десять лет трудилась над созданием виртуального сердца, которое позволяет предсказывать результаты хирургического лечения. Одновременно в другой школе группа специалистов разрабатывает виртуальные легкие. Потом эти две группы решают объединить усилия и создать виртуальную грудную клетку. Почти наверняка окажется, что они будут использовать несовместимые протоколы. Наверняка они не только выберут разные базовые машины, операционные системы, язык выполнения и т.д., у них будут и разные концептуальные подходы. Одна группа, скажем, избереет глобальный принцип нисходящего анализа, а другая предпочтет восходящий принцип. Одна группа делает акцент на семантическом анализе объекта, другая постарается создать аналог непрерывной системы. В свете текущих представлений обе группы наверняка сумеют сделать протокол, позволяющий обмениваться сигналами по проводам. Но такие протоколы очень проблематичны. Кроме того, они отрезают пути к улучшению любых моделей отдельных органов. Чем все это кончится, мы узнаем через несколько лет, потому что такие работы сейчас ведутся.

Чтобы понять, в чем тут загвоздка, нужно коснуться проблемы наследования информационных систем. Определение «хрупкое» лучше всего описывает сегодняшнее программное обеспечение. Из-за стремления соблюсти протокол оно ломается при попытке его «изогнуть». Вследствие этой «ломкости» программы создаются слоями (было бы очень сложно и дорого отказаться от протоколов, которые используются разными пользователями в разных целях). Мы попали в тупик, а программы лишились гибкости. В конце двадцатого века это оказалось на руку торговой сети: тот, кто сбывал программное обеспечение, сколотил огромное состояние.

Программное обеспечение имеет и другую, более досадную характеристику, я бы назвал ее «седиментацией». Это процесс, из-за которого жесткими становятся не только протоколы, но и программные продукты. В качестве примера можно взять файл. До 1984 года некоторые ученые-кибернетики считали, что лучше иметь мелкодробленную структуру хранения информации — по существу, один глобальный файл, сделанный из мелких элементарных компонентов, подобных буквам. Пробная партия компьютеров «Макинтош» не имела файлов. Зато последующие уже использовали их, так же как и «Виндоус», «Юникс» и прочие всемирно признанные системы. Сегодня студентов учат, что файлы — столь же фундаментальные жизненные реалии, как и фотоны, хотя и являются изобретением человека.

Вернемся к виртуальному сердцу и легким. Как только группа инженеров выберет общий протокол, он станет хозяином положения: модифицировать его будет невозможно вследствие дороговизны и сложности. Изобретаемые протоколы поглощают любые идеи о взаимном обмене информацией. Мыслительный процесс прекращается.

Хорошей целью ближайших пятидесяти лет был бы поиск системы, которая соединит компоненты больших систем. Возможно, альтернатива уже разрабатывается при создании виртуальной грудной клетки.

Допустим, две группы компьютерщиков создают модели одного физического органа при условии, что каждая модель будет «считать» другую настоящим физическим органом, параметры которого, например температуру, давление и химический состав в разных точках в разные моменты времени, записывают реальные датчики. В этом случае каждая модель будет воспринимать другую как поверхность, которую можно разбить на мельчайшие сектора. Обмена более сложными параметрами между такими моделями происходить не будет. В результате потребуется только один низкоуровневый протокол, определяемый природой физических измерений.

Для того чтобы такая схема действовала, одна команда компьютерщиков должна научить свою модель распознавать параметры модели, которую разработала другая команда. Кроме того, каждая команда должна научиться создавать модели других органов, чтобы помогать интерпретации измерений. Эти «побочные» модели не должны существовать как независимые структуры, они должны содержать единые методы обработки сигналов и уметь перенастраиваться на ходу.

Я бы назвал эту схему «статистической привязкой к поверхности». Если она сойдется для моделирования физических органов, то сойдет и для расширения возможностей современных компьютерных сетей. Думаю, в будущем появятся операционные системы, компоненты которых будут распознавать, интерпретировать и даже предсказывать параметры друг друга. Надеюсь, они будут менее склонны допускать серьезные ошибки.

Сегодня мы пытаемся создать громоздкие низкоуровневые информационные системы (следование протоколам) и с высоты чисто теоретических рассуждений надменно отвергаем любую сложность. У нас просто нет промежуточного звена — способа описания сложных систем в терминах взаимоотношений между большими компонентами. Но если удастся смоделировать человеческое тело как граф ин-

формационной поверхности, то можно ли будет использовать эту методику моделирования для описания живых организмов?

Трудно сравнивать результаты вычислений с результатами, полученными в процессе экспериментов, так как у нас нет интуитивных представлений об относительной шкале информационных структур. И развитие технологий, и общественное мнение подталкивают к заключению, что компьютерные системы скоро по сложности сравняются с системами природными. В качестве примера укажу на расхожее утверждение о том, что не за горами то время, когда компьютер будет понимать человеческую речь и реагировать на наши эмоции.

Один из способов преодолеть невежество — это подумать. Давайте задумаемся, была ли эволюция естественно неуклюжим процессом или явилась результатом манипуляций некоего суперкомпьютера, который оптимизировал свою работу для получения вожеленного результата за максимально короткий срок. Правда, как обычно, лежит где-то посередине. Я склоняюсь к последнему предположению: эволюция была, но очень эффективная в выполнении крайне сложных задач. А некоторые мои коллеги полагают, что через какие-нибудь тридцать — пятьдесят лет закон Мура позволит нашим компьютерам обогнать природу.

Культурные метафоры относительно искусственных и живых систем опираются на компьютеры прошлого века. Хорхе Луис Борхес описал библиотеку, содержащую все книги, которые когда-либо были или будут написаны. Если бы таковая существовала на самом деле, то потребовалась бы жизнь нескольких поколений, чтобы дойти до нужной полки. Гораздо проще было бы просто написать хорошую книгу. Ричард Докинз воображал библиотеку возможных животных, по которой шарит невидимая рука слепой эволюции в поисках оптимальных существ для каждой экологической ниши. Думаю, оба автора находились под впечатлением генезиса компьютерных технологий.

В ближайшие пятьдесят лет инженеры и программисты, несомненно, будут учитывать теорию наследования. Пространство конфигураций сложных причинных систем настолько широко, что его чрезвычайно трудно представить в виде библиотек, и хотя бы потому, что у человека никогда не будет достаточно времени или энергии для просмотра стеллажей. Стюарт Кауфман, например, любит говорить, что наша Вселенная недостаточно стара, чтобы синтезировать все возможные белки даже небольших размеров. Поэтому при моделировании сложных систем следует учитывать теорию наследования, это ограничит пространство конфигураций.

Один из интересных вопросов — эквивалентно ли «наследование» «семантике». Термином «семантика» описывают все, что лежит за пределами синтаксической характеристики системы, основанной на протоколе. Наследование создает неизменный контекст информационной системы. Наследование может быть сложным. Оно уменьшает пространство конфигураций системы и действует подобно линзе, усиливая причинный потенциал битов.

Ответ «да» на церемонии бракосочетания имеет больше последствий, чем такой же ответ, данный случайному прохожему, попросившему у вас спички. Церемония бракосочетания обладает историей, которую сложно переделать. ДНК имеет смысл только в контексте эмбриона — изолированная цепь ДНК вряд ли будет достаточно информативной, чтобы наши братья по разуму смогли на ее основе создать целое существо.

Разработчики могут использовать крупномодульный подход к описанию природных систем как информационных, выходя за рамки мелких примеров Клода Шэннона. В конце двадцатого века бытовало мнение, что наше понимание физики стало настолько глубоким, что пора переходить к изучению сложных систем. Это проще сказать, чем сделать. Нужно научиться анализировать природные системы на предмет причинного потенциала. В каждый момент време-

ни лишь небольшая часть материи или энергии оказывает значительное влияние на будущее всей системы (это особенно касается живых организмов). И всегда нужно учитывать разницу между большой системой и маленькой, например, крошечные изменения в синапсе могут иметь более серьезные последствия, чем сходные изменения на поверхностном слое кожи или в любых других тканях организма.

Стюарт Кауфман предполагает, что жизнь можно определить как процесс, способный к самовоспроизводству и выполняющий рабочий цикл Карно (классическая модель превращения энергии в работу). Это предполагает по меньшей мере один способ анализа природных систем. Каждый цикл Карно связан с каким-то регулятором — частью системы, отвечающей за ее возобновление. Этот регулятор обладает большим причинным потенциалом, чем другие участники цикла. Следовательно, изменения в регуляторах сильнее повлияют на систему, чем изменения в других ее частях. Неизвестно, насколько полезным окажется подобный метод анализа окружающего мира как информационной системы, но в любом случае какой-нибудь метод следует найти.

Если мы разработаем формальный и общий крупномодульный метод разбора физической системы на причинные информационные структуры, то сумеем достичь необходимого уровня сложности в измерительной и инженерной компоненте. Например, нам удастся оценить, насколько сложно системе опробовать собственные структуры, так как связи в причинных цепях можно будет охарактеризовать физически. Опыт работы с крупномодульным объяснением простых природных систем подготовит нас к работе с природными моделями наследования. Через пятьдесят лет мы, наверное, не только сможем описать строение и функции ДНК (что сейчас стараемся делать), но и промежуточные системы, ограничивающие ее изменения. Иными словами, мы поменяем позицию со стратегической на эволюционную, расширим угол зрения, увидим мир в его развитии.

Через пятьдесят лет биология и медицина будут напоминать географию. Исследования станут более спланированными, а результаты менее удивительными. Однако умение прокладывать маршрут увеличивает скорость путешествия до определенного предела. Поняв некоторые аспекты природы, мы не обязательно научимся управлять ими. Вероятно, мы обнаружим что-то непреодолимо трудное. Возможно, эволюция не зря потратила много времени для достижения определенных конфигураций. Не исключено, что они составляют систему защиты от дураков. Это лишь один пример далеких рубежей информационных наук. В самых разных исследованиях, от экономических до сельскохозяйственных, мы будем ограничены фактором сложности — барьером, который вряд ли будет преодолен самыми мощными и быстродействующими компьютерами. Мы еще не знаем, где именно лежат эти барьеры, но через пятьдесят лет обязательно узнаем.

Дэвид Гелернтер*



СТУЧАТЬ В «ПОТОК»

Что случится с компьютерными технологиями в следующие пятьдесят лет? Где мы будем через полвека? Сегодня в Интернет льются потоки информации, скоро начнется «великая рационализация». Информационные технологии перейдут на новые стандарты. И эти стандарты не будут иметь ничего общего с сегодняшним коммерческим программным обеспечением. Главное — это способ организации самой информации, важен будет не браузер, а стандарт интернет-страниц. (Сегодняшний Интернет устареет, хотя идея сохранится.)

Стандартной формой информации будет то, что я называю «информационный поток». Он будет так же важен, как книги, и обеспечит сравнительно ясную, четкую и простую структуру киберпространства. Это изменит нашу культурную жизнь. Сегодня мы проводим восемьдесят процентов времени, волнуясь о форме (в разных смыслах этого слова), и

* Дэвид Гелернтер — профессор компьютерных наук в Йельском университете и руководитель исследовательских работ в «Миррор ворлд технолоджис» (Нью-Хейвен). Круг научных интересов — управление информацией, параллельное программирование и искусственный интеллект. Разработанная им вместе с Николасом Каррьеро Гелернтером система программирования Linda (1983 год) является основой для многих компьютерных коммуникационных систем по всему миру. Автор книг «Зеркальные шпры», «Муза в машине», «1939», «Рисуй жизнь» и «Красота машин».

лишь двадцать процентов уделяем содержанию. Через пятьдесят лет эта пропорция перевернется.

Наиболее важна свежая информация, приходящая в реальном времени и сообщающая, что происходит прямо сейчас в офисе, в школе, в сенате, в пригороде. Но скоро мы будем узнавать, что происходит где-то в киберпространстве. Сегодняшний хаотичный запинаящийся Интернет будет заменен непрерывным вездесущим виртуальным пространством. Сегодня нью-йоркская фондовая биржа делает переводы с какого-то места на Земле в какое-то место киберпространства, а через полвека к этому придут и все другие институты. (Я впервые заговорил об этом в книге «Зеркальные миры» в 1991 году и продолжаю придерживаться этого мнения.) Не вставая с любимого кресла или дивана, вы сможете при желании подключиться к делам своего офиса, школы или рынка. Но это не значит, что люди перестанут выходить из дома. Наоборот, физический и социальный ландшафт изменится в соответствии с новым положением дел.

Прежде чем описывать эти большие изменения, позвольте привести законы, которые будут ими управлять.

1. *В мире технологий состояние дел и скорость развития будет зависеть от программного обеспечения, а не от аппаратных деталей.* Скорость совершенствования технологий не зависит от электрических схем или «компьютерного белка» и других изобретений. Она зависит от структуры разрабатываемого программного обеспечения. Если вы придумали новый способ организации информации (новую структуру программ), то и аппаратное обеспечение для него в конце концов будет разработано. Но если просто создать мощные новые комплекующие, то сами по себе они будут бесполезны. Несколько минут назад заходил мой секретарь, он сообщил, что читает новую книгу о будущем компьютеров. Как и подавляющее большинство таких книг, она посвящена аппаратным средствам. Книги,

посвященные будущему программного обеспечения, встречаются крайне редко — похоже, об этом никто ничего не знает.

Размышляя, на что будут похожи наши технологии через полвека, мы склонны думать о скоростных сетях, молекулярных и оптических компьютерах, новых средствах передачи информации и других аппаратных чудесах. Это важно и удивительно, но само по себе бесполезно. Технологии следующего века будут зависеть от разрабатываемых программ.

Показательный пример: с середины 1980-х компьютерные комплектующие развиваются с поразительной скоростью. И что? Насколько лучше стали вычисления по сравнению с 1985 годом? Практическая работа с компьютером осталась такой же, как и шестнадцать лет назад. Процессор 2001 года не лучше модели 1985-го. Он требует в сотни раз больше памяти и мощности, но *в работе* ничем не отличается (во всяком случае, ничем важным). Динамические таблицы в своей основе такие же. Электронная почта такая же (Сегодня ею пользуется гораздо больше народу, но сама по себе она осталась такой же, как и в 1985 году.) Рабочий стол, файловая система, графический интерфейс (если у вас в 1985-м был «Макинтош») — все это осталось таким же, как и полтора десятилетия назад. Единственным большим изменением в компьютерной жизни стало появление Интернета, но и он состоит из программ, а не из комплектующих.

Сегодня программы не развиваются, а значит, не развиваются и технологии. Революции в аппаратном обеспечении стоят немного. Для развития необходима революция в программном обеспечении — и не сомневайтесь, она произойдет.

2. *Общество заменяет что-то, когда находит лучший вариант, а не просто новый.* Не следует ожидать, что через пятьдесят лет все будет другим. Основные прин-

ципы останутся теми же. Это кажется очевидным, но таковым не является.

Прошлым летом на первой странице «Нью-Йорк таймс» красовался заголовок «Наступление эры электронных книг, похоже, откладывается». Годом раньше, в августе 2000 года, компании «Барнс энд Нобль», «Майкрософт» и некоторые другие объявили о наступлении эры электронных книг. Их предсказания оказались неверными. Может, книги сохраняются уже две тысячи лет, просто потому что удобны, а вовсе не потому, что инженеры-кибернетики только сейчас смогли их заменить? В 1999 году я писал в «Таймс»: «Заменить книги компьютерами — все равно что заменить живые цветы искусственными». Я утверждал, что книги — это величайшая разработка последних двух тысячелетий.

Но самая удивительная вещь, касающаяся прогнозов, — это то, что все уже было. «Ксерокс» объявил о смерти книг и скором пришествии «электронного читыва» еще в 1970-х. Так что могу вас заверить: через десять — двадцать лет в «Таймс» появится заголовок «Несмотря на последние прогнозы специалистов, книги удерживают свои позиции». (Умные люди повторяют чужие ошибки.)

Через пятьдесят лет мы будем по-прежнему читать книги, напечатанные на бумаге, и любоваться картинами, исполненными на холсте. Если вы любите Бетховена и смотрите фильмы Фреда Астера, то будете делать это и через пятьдесят лет (дай Бог вам здоровья).

3. *Ощутимое всегда берет верх над неосязаемым.* Книга побеждает компьютер не по сентиментальным или эстетическим причинам. Она имеет практические преимущества. Она, по существу, более портативна, ее проще листать, на ней удобно писать и ее легче читать, чем что-либо на экране. Но закон триумфа

ощутимого может перестать действовать через пятьдесят лет, а то и раньше, это связано со многими сегодняшними факторами.

Классическим примером является поход за покупками. Любой согласится, что небольшой уютный магазин на центральной улице лучше торгового центра, который, в свою очередь, лучше, чем магазин-склад. Магазины-склады никто не любит, но многие ими пользуются. Кому нравится покупать книги на Amazon.com, где нет возможности их полистать и потрогать? И все же многие приобретают книги через Amazon.com, ссылаясь на удобство, а порой и на выгоду. Практические соображения всегда приоритетны.

Университеты мучились бы из-за этого закона и его последствий, если бы не были столь самодовольны. Образование через Интернет уже активно развивается по всему миру. Чем может университет оправдать свое существование, если любой курс можно пройти через Интернет, и качество таких курсов все время растет? Университет продает что-то неосязаемое. Он предлагает сомнительный опыт проживания в студенческом городке, сталкивая вас лицом к лицу с учителями и (что важнее) с другими студентами, а также с самим городком. Через полвека девяносто пять процентов университетов закроются, останутся только лучшие, те, что предлагают осязаемые блага — престиж, который означает работу, и деньги. Но и эти учебные заведения, конечно, изменятся. Например, целью кафедры английского языка, обычно роскошно оснащенной, является обучение великой литературе. Но сегодня многие словесники утверждают, что никакой «великой литературы» не существует. Не удивлюсь, если общество когда-нибудь на это ответит: «Действительно? Тогда учите студентов какой-нибудь другой ерунде», «Действительно? Тогда мне не нужны ваши кафедры».

Общеобразовательные школы, конечно, тоже будут изменены.

4. *Закон имени Глена Гульда: технология — это средство, а не самоцель.* Великий пианист умер почти двадцать лет назад. Гульд увлекался технологиями и владел ими. В начале 1960-х он сделал смелое предсказание, что звукозапись вытеснит живую музыку. Он оставил сцену и ушел в студию звукозаписи. Он беспокоился обо всех аспектах своих записей — и о музыке и о технологии. Гульд умер, но его записи продолжают пользоваться высоким спросом. Энтузиаст технологий, Гульд заменил ими вековые традиции исполнения. Он использовал новейшие разработки своего времени для записи звука.

Сегодня мы бредим технологиями (возьмите любую газету). Это нездоровый бред. Мы болтаем о технологиях, стремясь избежать тем, которые нас травмируют. Говоря о технологиях, мы можем не обсуждать искусство, науку, прессу, красоту, поведение родителей и нравственные (в противовес долларovým) обязательства перед детьми.

Технологии — завораживающая тема и довольно глубокая. Но в конце концов (и Гульд это знал), они всего лишь средства, а не цель. Через пятьдесят лет технологии будут гораздо более мощными и распространенными, чем сегодня, — и это все, что можно сказать. Но мы будем меньше на них заикаться, чем сейчас.

Некоторые перспективы развития аппаратных средств совершенно очевидны. Компьютеры и чипы с большим объемом памяти станут настолько дешевыми, что будут устанавливаться повсеместно десятками тысяч, или будут оборудовать каждое новое здание, будь оно частным или коммерческим. Их будут постоянно заменять, как черепицу на крыше.

Через пятьдесят лет (или быстрее) Интернет уступит место киберсфере, наполненной информационными потоками. Заглянув в такой поток, вы найдете квинтэссенцию мудрости в лице какого-то человека или в образе некой организации. Вам не придется носить информационные структуры с собой, они будут следовать за вами через киберпространство подобно дельфинам.

Одним из результатов этого станет значительное повышение безопасности. Каждая кроха информации (естественно, в закодированном виде) будет реплицироваться тысячи раз по всему киберпространству. Каждая информационная структура будет распространяться по тысячам разных микромашин. Чтобы уничтожить или украсть информацию, потребуется огромное количество скоординированных атак. Ваш собственный ключ к коду, который вы будете носить в кошельке, не только позволит расшифровать данные, он позволит тысячам по отдельности бессмысленных нитей сложиться в сложную смысловую картину, и она будет существовать, только пока вы на нее смотрите.

Проведем мысленный эксперимент. Вообразите поток света, проникающий в комнату через отверстие в центре стены и падающий на противоположную стену. Вы встаете в центре комнаты. Лучи проходят прямо перед вами. Конечно, сам свет невидим до тех пор, пока он на что-то не упадет, поэтому поток кажется вам снопом поблескивающих пылинок или капелек. Информационный поток движется «со скоростью времени», как часы: каждая блеснувшая пылинка движется справа (из будущего) к центру (настоящему) и налево (в прошлое). Вы можете «настроиться» на поток — поставить экран (вроде теннисной ракетки) под нужным углом. Это будет ваш «поточковый тюнер». Поток плывет через ваш тюнер с постоянной скоростью. Глядя на экран, вы можете наблюдать за проходящим потоком.

Информационный поток — это элементы информации, уходящие в прошлое. Допустим, мы превратим «Си-СПЭН» в информационный поток. Можно представить себе «Си-СПЭН»

как череду кадров с прикрепленным к ним звуком. Когда вы смотрите «Си-СПЭН» по телевизору, кадры сменяют друг друга очень быстро. Вообразим, что все эти кадры растянуты в поток и вы стоите в центре комнаты. Правая половина потока пуста — это будущее, кадры еще не сняты. Когда «Си-СПЭН» создает новый кадр, он материализуется посередине комнаты, в «настоящем» и плавно отходит влево, в «прошлое». Если вы поместите свой тюнер в «настоящее» (или сразу слева от него), то будете видеть кадры по мере их создания. В таком мысленном эксперименте вы могли бы просматривать все кадры «Си-СПЭН».

Допустим, кто-то встанет слева и настроит тюнер на тот же поток. Он тоже будет смотреть «Си-СПЭН», но, стоя на десять минут левее от «настоящего», он будет видеть кадры десятиминутной давности. Поток «Си-СПЭН» уходит далеко налево. Вы можете смотреть кадры, созданные час, год или десять лет назад. А что насчет правой стороны потока, будущего? «Си-СПЭН» строит планы на будущее, составляет программы. Эти планы хранятся в «будущей» части потока. Если «Си-СПЭН» решит выпустить в 10 утра во вторник какую-то передачу, он поместит об этом объявление в будущей части потока, соответствующей 10 утра следующего вторника. И это объявление плавно поплывет к настоящему. Все запланированные передачи плавно плывут к настоящему, где перестают быть планами и превращаются в кадры.

Поток — это последовательность всех информационных сообщений, которые вы создали или получили. Элемент потока может быть картиной, видео- или аудиофрагментом, документом, факсом, интернет-закладкой или любой другой единицей данных. (Описанные выше элементы потока «Си-СПЭН» гомогенны, но большинство реальных потоков очень гетерогенны.) В начале вашего потока, далеко слева, ваше электронное свидетельство о рождении, и оно улетает все дальше. Прямо перед вами, в «настоящем», материализуется новое электронное сообщение. Все документы, с которыми вы когда-либо работали, расположены в «прошлом», в левой

части потока, и медленно двигаются прочь. Чтобы поработать с новой версией старого документа, вы его копируете, помещаете копию в «настоящее» и работаете с ней. Ваш текстовый процессор будет скорректирован таким образом, что документ останется зафиксированным на экране. В будущей части потока вы будете хранить свои планы, расписание встреч, напоминания. Все они будут медленно плыть к «настоящему», затем пересекут его и уплывут в историю.

Конечно, я много чего пропустил и не объяснил все «как» и «почему». Но главное в том, что поток будет хранить все документы вашей жизни. Если вы захотите отследить поток в «настоящем», то перед вами проплывет каждый элемент информации. (Телефонные разговоры — тоже часть потока). Все ваше прошлое станет доступным, так же как и ваши планы на будущее. Одно небольшое, но важное уточнение: ваши медицинские карты тоже будут храниться в потоке. Они принадлежат вам, и вы сможете предоставлять их кому угодно в любой точке земного шара.

Киберсфера будет полна информационных потоков.

Если вы работаете, информационная жизнь вашей компании тоже течет в потоке. Каждое замечание, объявление, новый приказ или обсуждение семейных снимков появляется в «настоящем» и плывет в «прошлое». Каждый работник имеет собственный выход в поток компании. Но ваши личные документы и почтовые сообщения видны только вам, хотя плывут вперемешку с документами компании. В потоке происходят совещания, вывешиваются инструкции и приказы. Управляющие предприятиями отслеживают поток, получают оттуда ценные указания и воплощают их в жизнь. Планы компаний, собрания, проекты и сроки — все хранится в будущей части потока.

Поток станет «разумом» компании. Раньше компании никогда не имели разума. Этот разум будет отличаться от человеческого, так как возникнет благодаря усилиям многих людей. Он будет регистрировать прошлое, настоящее и будущее. И ничего не будет забывать.

Со школой или университетом все будет сходным образом. Класс или курс можно представить себе в виде потока, последовательно представляющего учебный материал. Студенты будут одновременно изучать предмет, каждый в своей точке. А учитель будет наблюдать за всем потоком, обновлять материал и отвечать на вопросы. Электронный студенческий городок — это поток. Что представляет собой «жизнь студенческого городка»? Обсуждения плюс физический контакт (без которого придется обойтись). В студенческом потоке одновременно будут вестись сотни дискуссий, прерываясь и возобновляясь каждый на отдельном информационном элементе. Университет вывешивает планы и расписания в «будущем», а студенческие дискуссии плавно улетают в «прошлое». Студенческий городок больше не будет расположен в каком-то месте и привязан к какому-то времени, его история будет записана в потоке, и вы сможете погрузиться в нее где и когда вздумаете. У вас появится возможность присоединиться к общему разуму и ночью, сидя в гостиной, и утром, лежа на пляже.

Рынок тоже превратится в информационный поток, где будут встречаться продавцы и покупатели.

Школа по-прежнему будет собирать местных детей, однако понятие «класс» отомрет. Каждый ребенок будет подключаться к своему потоку, и сто человек, сидящих в зале, на самом деле будут учиться в ста разных школах. За ними будет присматривать ответственный сотрудник (не обязательно преподаватель). Офисы останутся служебными помещениями, но люди в них будут работать на разные компании. Здания, поделенные внутренними перегородками на классы и кабинеты, исчезнут за ненадобностью. Магазины уже исчезают — торговля через Интернет сейчас развивается не слишком быстро, но нужно учитывать примитивность сегодняшних сайтов.

Хорошо это или плохо (последствия наверняка будут неоднозначными), но коммерция и образование неумолимо переходят в киберпространство. Главным эффектом повсе-

местного распространения информационных потоков будет ощущение близкого соседства у всех живущих на Земле. Города как центры культурной и деловой жизни захиреют. А жаль, они — не худшее изобретение человечества. Впрочем, когда они станут нам не нужны, мы начнем ценить их сильнее.

Будет ли меньше автомобилей через пятьдесят лет? Нет, их станет больше, потому что нам *нравится* рулить. Благодаря новым технологиям у нас появится уйма свободного времени для любимого занятия.

Таким образом, через пятьдесят лет мир будет по-другому выглядеть и по-другому работать. Он станет намного богаче. И возможно, немного счастливее.

Джозеф Ледукс*



РАЗУМ, МОЗГ И ЛИЧНОСТЬ

В начале своей карьеры Зигмунд Фрейд изучал нервную систему, он считал, что понимание работы мозга прольет свет на секреты психической жизни. Но вскоре он понял, что доступные для изучения мозга инструменты недостаточно совершенны, и перешел на чисто психологические подходы. Между тем в последние годы нейронауки стали удивительной дисциплиной, и Фрейд изумился бы сделанным открытиями. И все же многое остается неизученным. Далее я расскажу, каким, на мой взгляд, будет развитие нейробиологии в ближайшие годы.

Изучение работы мозга

Нейробиологи сильно продвинулись в понимании того, как мозг управляет восприятием, памятью и эмоциями. Сна-

* Джозеф Ледукс — член профессората Генри и Люси Мозес, в настоящее время работает в Центре неврологии Нью-Йоркского университета. Много лет посвятил изучению неврологических механизмов человеческих эмоций. Автор книг «Синапс: как наши мозги стали такими, какие мы есть», «Эмоциональный мозг: загадочные основы эмоциональной жизни» (совместно с Майклом Газзанига), «Интегрированный разум» и редактором (совместно с У. Херст) книги «Разум и мозг: диалоги когнитивной нейробиологии».

чала объектами исследований служили животные, преимущественно крысы и обезьяны. Такой метод вполне годился для изучения тех функций мозга, которые одинаковы у человека и животного, но не подходил для изучения чисто человеческих функций. Поэтому ученые переключились на пациентов с поврежденным мозгом. Но и эти исследования их не удовлетворили: полученные данные скорее свидетельствовали о способности мозга компенсировать утраченные функции, чем показывали его нормальную работу.

Современные технологии позволяют изучать нормальную работу мозга и обещают поднять понимание связи между мозгом и разумом на новый уровень. Например, методики визуализации с помощью функционального ядерного магнитного резонанса (ФЯМР) позволяют без особых трудностей регистрировать активность мозга при решении тех или иных задач. Сегодня большая часть исследований с применением методик визуализации направлены на апробацию этого подхода. Ученые хотят убедиться в том, что картина работы мозга получается такой же, как и при использовании традиционных методик. Тем не менее технология визуализации была задействована при изучении миндалевидного тела. Опыты, поставленные на крысах и других млекопитающих, показали, что эта небольшая область в височной доле играет ключевую роль в определении опасности и реакции на нее. На основании полученных данных ученые сделали вывод, что у человека с поврежденным миндалевидным телом нарушена способность распознавать опасность. Они продемонстрировали с помощью ФЯМР, что при появлении угрозы у людей активируется именно эта часть мозга.

Для нейробиологических исследований очень важен подбор животных. Например, за оперативную память — процессом, позволяющим удерживать и использовать информацию, — отвечает область мозга, называемая дорсолатеральной префронтальной корой. У крыс ее нет, поэтому на них нельзя проводить подобные исследования. Обезьяны имеют эту область коры, и большая часть информации о ее роли в оперативной памяти получена в ходе экспериментов на шимпанзе.

Другой вид памяти — вербальный — можно изучать только на человеке, и здесь ФЯМР является большим подспорьем.

Будущие исследования человеческого мозга, вероятно, пойдут по трем основным направлениям. Первое, самое прозаическое — мы будем подробнее изучать процессы, о которых уже что-то знаем, например нейронную организацию восприятия, памяти, эмоций, языка и оперативной памяти. Второе направление предполагает изучение того, как эти процессы взаимодействуют, что приведет нас к системным концепциям функционирования мозга и позволит хотя бы начать формулировать теорию, объясняющую появление разума. Такие работы уже проводятся, но пока они очень малочисленны.

Третье направление, вероятно, самое важное. Сегодня почти все нейробиологические исследования сосредоточены на выяснении, как мозг функционирует у нормальных людей. (Чтобы подтвердить норму, исследованию подвергается множество объектов.) Уяснив себе типичное течение процессов, мы сможем перейти к изучению того, как формируются уникальные качества, образующие личность. Для этого потребуются принципиально иной подход — проведение большого количества измерений на одном человеке, а не одного измерения — на массе людей.

Современные технологии дают нам мощные средства для анализа процессов, происходящих под черепной коробкой у человека. Возможно, скоро мы научимся читать его как открытую книгу. Не пора ли задаться вопросом, готово ли наше общество к такому повороту событий? Как оно поступит в том случае, если, заглянув в мозг, мы увидим, что человек намерен кого-то зарезать или изнасиловать?

Управление памятью

Каждый раз при формировании памяти в мозге происходит настройка электросхем — синаптических соединений.

Выглядит это примерно так. В нейронах, участвующих в выполнении какого-то действия, происходят химические изменения, в результате чего активируются гены и синтезируются белки. Эти белки переправляются к активным синапсам, где избирательно изменяют эффективность тех из них, которые активировались при получении сигнала. Эти изменения и обуславливают память. Исходя из того, что нам уже известно, вполне можно ожидать, что в ближайшем будущем появится возможность разными способами изменять память.

Сегодня люди живут дольше, и соответственно больше страдают от связанных с возрастом нарушений памяти. Сильнее всего эти проблемы проявляются у людей, страдающих болезнью Альцгеймера и некоторыми другими неврологическими патологиями, но память нарушается и у людей без явных заболеваний мозга. Ученые стараются с помощью информации, полученной в ходе экспериментов над мухами, крысами, кроликами и обезьянами, разработать способы улучшения памяти человека. Например, точно установлено, что многие формы памяти зависят от нейротрансмиттера глутамата и его рецепторов. Поэтому одна из стратегий улучшения памяти — разработка лекарств, способствующих глутаматной нейротрансмиссии. Кроме того, в формировании памяти очень важны ионные токи (особенно кальциевый), следующие через глутаматный рецептор в нейрон. Повышение концентрации кальция внутри клетки ведет к активации молекул, которые, в свою очередь, активируют гены. Следовательно, другой стратегией улучшения памяти является разработка лекарств, повышающих способность клеток активировать гены, что увеличивает синтез белков, необходимых для стабилизации синаптических связей, обуславливающих память.

Но как помочь людям с неврологическими проблемами вроде болезни Альцгеймера? Недавно было обнаружено, что в гиппокампе (области мозга, отвечающей за сознательную память) могут образовываться новые нейроны. Это вселяет

надежды. Если удастся заставить эти клетки заменить дегенерирующие нейроны, то память можно будет восстановить. И если федеральное правительство развяжет руки ученым, разрешив работать со стволовыми клетками, можно будет предотвращать развитие таких патологий, как болезнь Альцгеймера, у предрасположенных к ним лиц.

Другое возможное применение достижений нейронаук — это нейтрализация памяти о травмирующих эпизодах. Такая память вызывает развитие стресса, и если ее стереть, то стресс можно будет уменьшить. Исследователи нашли способы влиять на формирование и стабилизацию памяти, это может привести к появлению лекарств, прием которых сразу после тяжелого эпизода предотвратит развитие травмирующей памяти. Но в связи с тем, что стабилизация памяти требует лишь нескольких часов, т.е. времени, необходимого для синтеза и использования белка, такой подход имеет ограничения. Но возможно, будут альтернативы.

Новые исследования на крысах показали, что хорошо сформированную память можно нарушить, если воздействовать на белки в месте хранения памяти в момент воспоминания о травмирующем эпизоде. Но чтобы такой подход можно было использовать, не нарушая память о других событиях, лекарства должны действовать только на нужную область мозга. Для этого необходимо установить место хранения травматической памяти, а также найти способы введения лекарств локально, в нужную область. Мы обсудим этот вопрос далее.

Конечно, даже если нам удастся найти способ ослаблять или удалять нежелательную память, мы вряд ли будем делать это без оглядки на обстоятельства. Представьте себе жертву Холокоста, который в течение десятилетий живет с памятью о лагере смерти. Эта память, несомненно, стала частью его личности. Неужели стоит удалять ряд ужасных эпизодов и тем самым трансформировать личность?

Иногда достижения науки становятся частью повседневной жизни. Возможно, скоро появятся продаваемые без ре-

цепта таблетки, позволяющие сохранять в памяти особо яркие воспоминания об определенных событиях. Например, вы хотите как можно лучше запомнить день рождения или церемонию бракосочетания. Непосредственно перед торжеством вы глотаете таблетку, улучшающую работу глутамата или других молекул, и все происходящее запоминаете в мельчайших подробностях.

Создание «умных» лекарств

Макбет просил о «сладостном каком-нибудь дурмане», чтобы излечить скорбь. Сегодня существует много лекарств, помогающих успешно бороться с депрессией и другими психическими расстройствами. Но медикаментозное лечение имеет свою цену — побочные эффекты. Через пятьдесят лет или раньше лекарства будут восстанавливать нарушенные связи в мозгу, не вызывая нежелательных последствий. Для создания таких препаратов необходимы особые исследования и разработки.

Нужно научиться точно определять, работа каких нервных путей нарушается при том или ином заболевании. Исследования в этом направлении уже ведутся, чему очень помогает визуализация мозга. В результате ученые выяснили, чем мозг человека, страдающего депрессией, тревожным расстройством или шизофренией, отличается от мозга здоровых людей. Но чтобы использовать полученные результаты, необходимо больше узнать о нормальной работе разных областей мозга.

Например, на основании данных, полученных на людях и животных, разумно предположить, что психические расстройства, связанные со страхами (панические расстройства, посттравматический стресс, синдром общей тревожности, фобии и параноидальная шизофрения), возникают из-за

нарушений работы отделов мозга, ответственных за страх. Как уже отмечалось, миндалевидное тело играет важную роль в работе этих областей, поэтому изменение его функций ведет к возникновению симптомов тревожности. В частности, неуместный страх обусловлен чрезмерной чувствительностью миндалевидного тела: оно определяет опасность и вызывает защитную реакцию в ситуации, не представляющей реальной угрозы. А излишняя агрессивность проистекает из того, что миндалевидное тело функционирует чересчур сильно, вызывая защитную реакцию, несопоставимую с уровнем опасности. И чрезмерная чувствительность и такая же активность миндалевидного тела могут быть следствиями генетических аномалий. Кроме того, оба эффекта (неуместный страх и излишняя агрессивность) могут усиливаться под влиянием других областей мозга, которые связаны с миндалевидным телом и регулируют его функции. Иными словами, нарушения в поведении человека могут возникать вследствие разных изменений в работе миндалевидного тела или в связях между ним и другими отделами мозга. Возможность определить с помощью визуализации причину того или иного психического расстройства не отменяет необходимости проводить исследования на животных. Подобные исследования позволяют подробно изучить нейронные механизмы на уровне отдельных клеток и синапсов.

Когда с помощью технологии визуализации установят, какие нервные пути нарушаются при определенных заболеваниях, а затем благодаря экспериментам на животных изучат организацию этих путей, можно будет приниматься за разработку препаратов, специфически воздействующих на конкретные пути. Одна из возможных стратегий — использование достижений молекулярной генетики. Если выяснится, что какие-то молекулы синтезируются только в миндалевидном теле или синтезируются там каким-то определенным способом, мы сможем использовать эти молекулы для «включения» лекарства. При этом лекарство можно будет принимать обычным способом, оно попадет в кровь и

перенесется к нужному участку мозга. Препарат будет изготовлен так, что начнет действовать, только повстречавшись с определенной молекулой (например, присутствующей в миндалевидном теле). Лекарство нового поколения поможет восстановить нормальную работу миндалевидного тела, не влияя на работу других структур, что уменьшит нежелательные побочные эффекты. Следующей нашей проблемой станет поиск способа избирательного воздействия на нарушенные функции.

Реакция защиты миндалевидного тела

Миндалевидное тело, как и многие другие области мозга, работает без нашего контроля. Мы можем ощущать последствия активации миндалевидного тела, но не в силах влиять на его работу. Это очень печально. Миндалевидное тело способно подтолкнуть человека к совершению преступления, которое он никогда не совершил бы сознательно.

В юриспруденции давно существует термин «преступление в состоянии аффекта». Изучение реакции защиты миндалевидного тела поможет объяснить такое явление. По мере того как мы будем больше узнавать о работе мозга, юристы будут лучше понимать причины преступлений, совершенных «по страсти».

Давайте обсудим, что я имею в виду под выражением «реакция защиты миндалевидного тела». Не нужно путать эту защиту с нарушениями, которые обычно называют «патологической защитной реакцией», подразумевая преступления, вызванные какими-то физическими нарушениями в головном мозге. Я говорю об инстинктивной защите. Она связана с тем, что миндалевидное тело контролирует эмоциональное поведение без участия сознания. В провокационных обстоятельствах миндалевидное тело порождает при-

ступы неконтролируемой агрессии. Однако, чтобы доказать свою невиновность в суде, вам необходимо будет объяснить, что обстоятельства действительно угрожали вашей жизни.

Важной задачей миндалевидного тела является быстрая инициация защитной реакции в случае неожиданной опасности. Но если раздражитель продолжает действовать в течение некоторого времени, то поведение начинает контролироваться корой головного мозга. Кроме того, реакции, вызываемые миндалевидным телом, являются быстрыми, примитивными и врожденными, при этом они выполняются стереотипным способом, т.е. они одинаковы у всех представителей одного вида. Поэтому, если действие является намеренным, выполняется сравнительно медленно (в течение секунд, а не миллисекунд), включает сложную последовательность движений и варьируется у разных людей, то миндалевидное тело не отвечает за него. Миндалевидное тело может лишь косвенно влиять на сложные реакции, но в основном они связаны с другими областями мозга.

Думаю, немногие преступления попадают под определение «инстинктивная защита». Однако очевидно, что другие области мозга тоже функционируют независимо от сознания, да и само сознание является продуктом механической работы нейронных сетей. Поэтому, хотя термин «защитная реакция миндалевидного тела» не совсем точен, он правильно отражает суть. Возможно, будущие исследования баланса между сознательными и бессознательными процессами головного мозга покажут необходимость пересмотра ответственности человека за свои поступки. И возможно, это случится в ближайшие пятьдесят лет.

Джудит Рич Харрис*



ЧТО ДЕЛАЕТ НАС ТАКИМИ, КАКИЕ МЫ ЕСТЬ: ВЗГЛЯД ИЗ 2050 ГОДА

Меня попросили как старейшего члена Общества исследований детского развития (в феврале мне исполнилось 120) составить обзор научных достижений в нашей области знаний за последние пятьдесят лет, т.е. за первую половину двадцать первого века. Но прежде чем говорить о детях, мне бы хотелось сказать несколько слов о людях вроде меня. Как хорошо знают члены нашей организации, старение — это тоже развитие. К наиболее важным научным достижениям прошлого века, по-моему, относится разработка лекарств, способных предотвратить и даже несколько уменьшить патологические процессы в мозгу, связанные с болезнью Альцгеймера. Не могу сказать, что у меня прекрасная память, поэтому прошу простить, если упущу что-нибудь важное в своем обзоре. Однако сам факт того, что мне предложили написать этот очерк, подтверждает эффективность таких лекарств.

* Джудит Рич Харрис — писательница и психолог. Долгое время писала учебники по детскому развитию, но однажды осознала, что то, чему она учит читателей, неверно. Изложила в статье собственные взгляды на воспитание детей и опубликовала ее в журнале «Психологикал ревю». В 1998 году эта статья была отмечена премией Американской психологической ассоциации. Автор книги «Почему дети становятся такими, какие они есть», вышедшей в финал конкурса на Пулитцеровскую премию.

Теперь позвольте перейти к теме обзора: достижения в области детского развития за последние пятьдесят лет. К началу двадцать первого века специалисты уже многое знали о развитии нормальных детей: о том, как они учатся думать, говорить, читать и т.д. Но было очень мало известно о том, что формирует их личности — почему один ребенок становится добрым, разумным взрослым, а другой — агрессивным и вспыльчивым. Специалисты (в двадцатом веке они называли себя детскими психологами) считали, что понимают причину различий в поведении разных людей, но, как теперь выяснилось, они во многом ошибались. Поэтому самым важным достижением двадцать первого века стало понимание того, почему разные люди столь несхожи между собой, и умение использовать эти знания.

Прежде чем перейти к более подробному разбору темы, думаю, полезно будет обсудить причины, по которым в прошлом веке изучение человеческого развития продвигалось медленно. Всему виной было пренебрежение генетикой и использование устаревших методик исследования. Лишь к 2000 году специалисты в области детского развития неохотно согласились с тем, что каждый ребенок при рождении имеет собственный набор характеристик, доставшихся ему от папы с мамой. А до того они упорно твердили, что человек при рождении подобен чистому листу бумаги!

Да-да, в 1950-х годах большинство специалистов полагало, что психологической разницы между новорожденными нет, что дети начинают различаться по мере накопления жизненного опыта и под влиянием окружающей среды. Исследовательские методики, основанные на этом предположении, были вполне логичны. Одно плохо — они продолжали использоваться и тогда, когда выяснилось, что посылка исходно неверна.

Методика исследований была проста. Специалисты в области «социализации» сначала изучали среду обитания детей и измеряли параметры их развития, затем они соотносили данные о среде с ребячьими характеристиками и дела-

ли выводы, например, такие: «У любителей книг вырастают книгочеи», или «Из отшлепанного чада может получиться преступник», «Подросток, с которым родители ведут задушевные беседы, редко попадает в чрезвычайные ситуации». На основании подобных выводов составлялись рекомендации для родителей типа: «Если хотите, чтобы ваши дети хорошо учились в школе, читайте им побольше книг. Если не хотите, чтобы дети выросли агрессивными, бросьте их шлепать. Если хотите уберечь детей от беды, почаще вызывайте их на откровенность». И правительство США выделяло на все это огромные деньги!

Сейчас устаревшая методика вызывает смех, но полвека назад она воспринималась на редкость серьезно. Специалисты в области детского развития даже не использовали популярные ныне термины. Они признавали, что дети имеют гены, но отказывались допускать, что эти гены дети получают от родителей и, значит, наследуют такие биологические черты, как интеллект, уровень агрессии и сознательность.

Почему же специалисты по детскому развитию все-таки смирились перед очевидным фактом? Потому что работы в смежных областях знания доказали, что их выводы неверны. Исследователи в области генетики поведения (сегодня больше известной по своим подразделам) показали, что обнаруженные в двадцатом веке корреляции, которые так любили цитировать педагоги, могут быть полностью объяснены на основании генетического сходства между членами одной семьи. Если исследовать приемных детей, то все корреляции исчезают.

Я была в числе тех, кто в начале века всеми силами отстаивал правомерность этих генетической теории. Некоторые предсказывали, что моя книга «Природные допущения», вышедшая в 1998 году, станет «поворотной точкой в истории психологии». К сожалению, этого не произошло. Такой большой корабль не может резко повернуть. Он продолжал плыть под управлением известных академиков, вполне удовлетворенных ситуацией. Потребовалось много толчков, чтобы

заставить его изменить курс. Первым толчком, насколько я помню, явилась книга Дэвида Роу, вышедшая за несколько лет до моей «Границы семейного влияния». В начале века вышла книга Стивена Пинкера, затем книга Роберта Пломмина, потом книги Элдрика Вудса и Абигай Вок. Возможно, не все знают, что Вудс в свое время был чемпионом по игре в гольф. А Абигай — не только в прошлом президент этой организации, но и моя внучка.

Но самый большой толчок пришел не из наук о развитии. Расшифровка генома человека послужила огромным стимулом к генетическим исследованиям, что привело сначала к анализу, а затем и к пониманию того, как крошечные различия в генах способны вызывать значительные различия в характерах и когнитивных способностях. И наконец, детские психологи осознали, что не могут определить влияние окружающих условий на развитие ребенка, если не знают, какие черты и склонности ребенок унаследовал от родителей. Без учета наследственности любые исследования развития абсолютно бесполезны.

Сегодня мы можем анализировать многие генетические эффекты, сканируя геном человека и изучая разные комбинации генов. Но в течение многих лет учет генетических составляющих требовал использования сложных методик, таких как изучение приемных детей и близнецов. И хотя эти методы были явно более продуктивны, старые технологии продолжали использоваться вплоть до 2016 года, когда правительство Соединенных Штатов наконец перестало финансировать исследования, не учитывающие наследственность. Это решение произвело революцию в нашей области знания, и не только потому, что прекратило бессмысленные работы, но и потому, что в это время старое поколение ученых вышло на пенсию.

Были и другие факторы, способствующие изменению направления исследований. Я отмечу только один: данные, полученные в ходе палеоантропологических изысканий. Самое важное открытие было сделано в 2021 году, по-моему, где-то в Скандинавии или неподалеку от нее. Во льдах было

обнаружено тело предка европейцев, который умер примерно двадцать семь тысяч лет назад. Но интересен был не сам европеец, а его одежда. Пальто было сделано из красивого густого меха, который сначала не смогли идентифицировать. Как вы знаете, впоследствии оказалось, что это шкура неандертальца — точнее, трех неандертальцев. Это открытие привело к пересмотру идей об эволюции и истории гоминидов. Это продемонстрировало то, что палеоантропологам давно следовало понять: неандертальцы были мохнаты, как мамонты. Иначе они не смогли бы выжить в заледенелой Европе, накидка на плечи из оленьей шкуры — недостаточная защита от погодных условий, а иголку и нитку они еще не изобрели, так что шить не умели. Вначале было сложно принять мысль о том, что наши предки не только употребляли в пищу мясо неандертальцев (что было простительно: неандертальцы воспринимали наших предков так же), но и использовали их телесный покров в качестве одежды.

Это открытие подтвердило то, о чем мы всегда догадывались, а именно: люди — самые жестокие хищники, какие только жили на планете. Взгляд на человеческую природу стал более реалистичным. Миф о «благородных дикарях» был отброшен. Наши предки были умны, но отнюдь не благородны. Мы бы не смогли достичь такой степени развития, если бы были хорошими ребятами.

Впрочем, при определенных условиях мы вполне можем вести себя прилично. Остается выяснить, каковы эти условия.

Что мы узнали о детском развитии

Я прошу прощения, что так много говорила о генетике, когда всех интересует влияние окружающих условий на развитие ребенка. Но как я уже отмечала, чтобы правильно

оценить эффект среды, необходимо сначала проанализировать влияние генов. Технологии двадцать первого века позволяют проделать это с большой точностью.

Исследования показали следующее. Хотя окружающие условия действительно оказывают важное влияние на развитие ребенка, они действуют не так, как ученые предполагали в двадцатом веке. Большинство описанных тогда корреляций или являлись прямым эффектом функционирования генов, т.е. были связаны с биологическим сходством между ребенком и родителями, или объяснялись реакцией родителей на поведение ребенка. Например, родители с меньшей вероятностью будут разговаривать по душам с подростком, который пренебрежительно относится к их словам или не слушает их вообще. И обычно именно такие подростки с большей вероятностью попадают в неприятные ситуации. Невозможность поговорить по душам — с одной стороны и склонность к глупым поступкам — с другой коррелируют, потому что вызваны одной и той же причиной — личностью подростка.

Чем же объясняется личность подростка? Почему один разумный, а другой импульсивный, почему один милый и добрый, а другой злой? Уже за несколько десятилетий до наступления двадцать первого века мы знали: причиной своеобразия характера является не только наследственность, генетические вариации объясняют лишь половину межличностных различий. Но относительно негенетических факторов, определяющих формирование личности, было известно очень мало, потому что время и деньги были выброшены на некорректно проводимые исследования.

Прорыв случился, когда исследователи осознали характер взаимодействий между личностью и окружающими условиями. Уже давно было известно, что на личность человека большое влияние оказывает ситуация, что в разных ситуациях люди ведут себя по-разному, но все-таки при этом сохраняют какие-то свои черты. В двадцатом веке неправильно понимали природу этих постоянных черт. Например,

некоторые дети доставляют неприятности и дома и в школе. Ученые полагали, что плохое поведение в школе связано с какими-то происшествиями дома. Но когда стало возможно разделить влияние генов и окружающие условия, то выяснилось, что склонность ребенка к одинаковому поведению в разных ситуациях полностью предопределена генетически. Влияние окружающей среды не переносится из одной ситуации в другую (хотя если ситуации похожи, то и влияние среды будет сходным).

Полученные знания позволили понять, почему домашнее окружение ребенка так слабо влияет на то, каким он вырастет. Конечно, семья имеет важное значение, но чтобы увидеть ее влияние, нужно наблюдать поведение ребенка с родителями и с братьями и сестрами. Личность взрослых людей редко оценивают в таких условиях, поэтому влияние семьи себя не обнаруживает. Причина того, что родители не оказывают долговременного влияния на личность ребенка, проста: взрослые люди не живут с родителями.

Для того чтобы выяснить, как окружение ребенка влияет на формирование его личности, нужно оценивать то, что происходит с ребенком вне дома. При этом имеет значение почти все — учеба в школе, общение с соседями, отношения с учителями и сверстниками. Мы уже знаем, что культура играет в воспитании важную роль, но оказывается, длительный эффект она оказывает, только если прививается не родителями, а кем-то другим. Если культурная традиция передается родителями, то ребенок воспринимает ее как нечто, относящееся исключительно к семье и не имеющее значения за пределами родного дома. Таким образом, если вы хотите вырастить культурного человека, подыщите ему соответствующую среду. Большинство родителей так и поступают. Интересно было бы узнать, почему это срabатывает.

Нам все еще многое нужно узнать. В начале века я оптимистично полагала, что к 2050 году мы выясним основные не связанные с генетикой причины, определяющие различия между людьми, т.е. относящиеся к индивидуальному опыту.

Но пока мы смогли найти объяснения только для половины различий, так что остальные межличностные вариации остаются без объяснений. Мы знаем, что одни из необъясненных различий связаны с окружающими условиями — всякими мелкими происшествиями. Такие происшествия трудно изучать или предсказывать. Другие различия имеют биологические причины — негенетические, но биологические. Даже дети с идентичным набором генов (идентичные близнецы, или клоны) при рождении не являются одинаковыми, их папиллярные линии, а также головной мозг слабо, но различаются. Сейчас исследователи приступили к изучению молекулярных процессов, ответственных за эти едва заметные различия.

Увы, мы до сих пор не способны сказать наверняка, как-во будет поведение ребенка или кто из него вырастет. Кое-кого это раздражает. Однако самому ему нравится, что другие не могут предсказать его поведение!

Использование полученных знаний

Как мы теперь знаем, то, что происходит с ребенком дома, влияет на его поведение в семье, а то, что случается вне дома, определяет его поведение «на улице». Если дома поведение ребенка вызывает проблемы, то мы можем помочь родителям пересмотреть приемы воспитания. Если поведение ребенка вызывает проблемы в школе, то с этим должны справляться учителя, но и им мы можем дать хорошие советы. Например, мы знаем, как оберегать маленького, слабого или некрасивого ребенка от оскорблений и обид.

Мы теперь знаем, что ребенку нужны стабильные условия вне дома, что родителям не следует переезжать с места на место слишком часто, равно как не нужно часто переводить отпрыска из одной школы в другую. Ребенку крайне

необходима постоянная компания сверстников, чтобы не приходилось постоянно завоевывать положение в новой группе детей, адаптироваться к их стандартам, поведению, одежде и речи. Как выяснилось, не важно, сколько родителей растят ребенка (и какого они пола), — главное, чтобы изменения в отношениях родителей не влияли на жизнь ребенка вне дома. Недаром люди в двадцатом веке неодобрительно относились к разводам, а в начале двадцать первого — к родителям, которые ради собственного удобства перевозили ребенка из города в город или меняли школу за школой.

К счастью, сегодня мужчина и женщина откладывают рождение ребенка до тех пор, пока не обзаведутся постоянным жильем. Достижения репродуктивной медицины положили конец незапланированным беременностям. Обратная сторона нашей способности контролировать зачатие — сокращение рождаемости. Хотя правительства большинства стран всеми способами поощряют рождение детей, человеческая популяция неумолимо сокращается.

С точки зрения детей, все это к лучшему. Конкуренция за место учителя привела к тому, что все наши учителя высокопрофессиональны (и высокооплачиваемы). Дети учатся в небольших классах и небольших школах, что имеет много преимуществ не только в смысле улучшения образования. Раньше подростки ходили в очень большие школы и разбивались на группы по каким-то признакам: любящие учиться и не любящие учиться, спортивные и неспортивные, смуглые и светлокожие. Результат часто бывал очень плачевным. С небольшими классами и небольшими школами такое случается очень редко, и мы научились справляться с кризисными ситуациями.

Полученные знания очень помогают родителям. Во второй половине двадцатого века быть родителем было сложнее, чем когда бы то ни было, потому что «специалисты» убеждали родителей, что у их детей хрупкая психика и любой неверный шаг может нанести непоправимый урон. Родите-

ли боялись оказывать любое давление на детей. Физическое наказание использовалось редко, вместо этого практиковали так называемый тайм-аут, который сложнее было выдержать родителям, чем детям. Детей баловали постоянными объятиями, поцелуями, подарками, одобрениями и заверениями в любви. Так неверно был истолкован тот факт, что дети нуждаются в постоянном внимании. Люди очень старались быть «натуральными», при этом стиль воспитания детей заставлял их сдерживать все естественные порывы и симулировать любовь, которую они подчас не ощущали. Иногда им приходилось отказывать себе в самых обычных желаниях, например поспать ночью.

Способ воспитания детей периодически изменяется, от строгости до вседозволенности и обратно. Я прожила достаточно долго и видела всякое. То, как растили детей пятьдесят лет назад, сегодня кажется смешным. Сегодня дети не получают столько вербального и физического внимания, как раньше, и это им на пользу. Вне дома они в течение многих лет общаются с одной и той же небольшой группой сверстников.

В результате, как это ни странно, теперь группа детей больше похожа на древнее племя, чем на шайку маленьких американцев конца прошлого века. Я не могу доказать причинную связь, но и уровень депрессии среди них гораздо ниже.

На этой оптимистичной ноте позвольте закончить обзор. Благодарю за внимание.

Сэмюэл Барондес*



ЛЕКАРСТВА, ДНК И КУШЕТКА ПСИХОАНАЛИТИКА

В 1950 году химик из французской фармацевтической компании «Рон Пулен» изменил структуру антигистаминного препарата и случайно создал лекарство, снимающее навязчивые мысли у больных шизофренией. За несколько лет новое лекарство получило всемирную известность под названием «хлорпромазин» («торазин») и стало первым реально эффективным препаратом для лечения психических заболеваний. Хлорпромазин положил начало новому направлению в психиатрии, которое развивалось в течение всего двадцатого века.

Огромный успех хлорпромазина подхлестнул конкуренцию среди фармацевтических компаний. В результате швейцарская фирма «Гейги» модифицировала свой собственный антигистаминный препарат. Новое лекарство, названное «имипрамин» («тофранил»), не обладало антипсихотическим эффектом, но помогало бороться с тяжелой депрессией, и

* Сэмюэл Барондес — член профессората Жанны и Сэнфорда Робертсон, руководитель Центра нейробиологии и психиатрии при Калифорнийском университете и председатель Ученого совета Национального института психического здоровья. Автор книг «Молекулы и психические болезни» и «Гены настроения: поиск источника мании и депрессии». Сейчас работает над книгой о психотропных средствах.

оно проложило путь для современных антидепрессантов. Затем швейцарская компания «Хоффман — Ля Рош» создала хлордiazепоксид (либриум), который хотя и не помогал бороться с психозом, но облегчал тревожные расстройства. А вскоре появился и diaзепам (валиум), ставший на десять лет — начиная с середины 1960-х — самым продаваемым лекарством в Америке.

К воодушевлению публики присоединились восторги ученых. В ходе исследований влияния этих препаратов на нейротрансмиттеры — химические соединения, передающие сигналы между нервными клетками, было обнаружено, что хлорпромазин в определенной степени блокирует работу дофамина, имипрамин усиливает действие норэпинефрина и серотонина, а diaзепам стимулирует активность гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК). В каждом случае наблюдалось изменение проводящих путей головного мозга, контролируемых эмоциональные аспекты поведения.

Эти открытия подтолкнули фармацевтов к созданию лекарств, обладающих сходным действием на нейротрансмиттеры, но не имеющих нежелательных побочных эффектов. Появились новые, более эффективные и безопасные препараты. Наиболее известный из них флуоксетин (прозак), который вначале был определен как вещество, стимулирующее серотониновую нейротрансмиссию. Затем была показана его эффективность для лечения тяжелой и умеренной депрессии. Это лекарство относится к группе селективных ингибиторов обратного захвата серотонина (СИОЗС). Они усиливают эффективность серотонина путем подавления его обратного захвата нервными клетками, которые его выделяют (таким образом регулируется его действие). Вскоре появились сходные лекарства: сертралин (золофт), пароксетин (паксил), флувоксамин (лувокс) и циталопрам (целекса).

По мере применения СИОЗС психиатры поняли, что эти препараты помогают не только при депрессии. Сегодня СИОЗС широко используют для лечения приступов паники (панических расстройств) и неконтролируемого беспо-

койства (синдрома общей тревожности), их эффективность подтверждена в сравнительных контролируемых исследованиях.

Эффективность всех этих и других новых препаратов изменила психиатрию. До их появления людей, страдающих душевными расстройствами, в основном лечили психотерапевтическими методами. Теперь в курс лечения обязательно входит хотя бы один антидепрессант. А вообще-то разные психотропные средства принимают десятки миллионов американцев.

На смену хлорпромазину, имипрамину и диазепаму пришли их модификации. Не являясь особо действенными по сравнению с исходными препаратами, все они имеют какие-то побочные эффекты. Разработка новых лекарств, как и в 1950-х годах, опирается на метод проб и ошибок.

Следующий прорыв в психиатрии вряд ли будет связан с усовершенствованием лекарств. Скорее он наступит благодаря открытиям генетиков.

Ученых давно интересует проблема индивидуальной предрасположенности к нарушениям поведения. Почему у одного постоянно возникают психические заболевания, а другой часто страдает от плохого настроения? Почему один склонен к депрессии, другой — к тревоге, а третий — к шизофреническому бреду?

Сегодня принято считать, что подобные нарушения имеют наследственный характер. Например, возьмем шизофрению. У большинства людей вероятность ее развития составляет один из ста. Но если шизофренией страдают родители или братья и сестры, то риск возрастает в восемь раз. То же справедливо и для другой распространенной причины психозов — маниакально-депрессивного расстройства, которое еще называют биполярным психозом. Здесь та же картина: риск развития заболевания составляет один процент, но при наличии больных родственников он возрастает в восемь раз.

Сходная ситуация и с депрессией и с тревожным расстройством.

Некоторое время назад эти данные вызывали горячие споры. Часть психиатров считала их подтверждением того, что аномальное поведение просто перенимается у родителей, сестер и братьев. Противоположная сторона заявляла, что склонность к развитию заболевания наследуется. Сегодня большинство ученых соглашается с тем, что в развитии заболевания важны и наследственные признаки и окружающие условия. Следующим шагом в оценке значимости наследственных факторов станет поиск альтернативных форм участвующих генов. Такую надежду подает мощное развитие технологий прямого исследования аллелей.

Аллелями называют разные формы одного и того же гена. Они возникают вследствие случайных изменений в структуре ДНК и определяют среди прочего предрасположенность человека к заболеванию. Новые методики позволяют установить, какая аллель за что отвечает. Теперь вместо того, чтобы спорить о роли наследственности и окружения в развитии душевного недуга, мы можем сосредоточить внимание на поиске «преступной» аллели.

Один из способов поиска — сравнительный анализ ДНК. Если выяснится, что только семьи, имеющие больных, несут определенные аллели какого-то гена, то такая корреляция будет считаться важной. Если такая же аллель обнаружится только у больных членов большого количества семей, то это добавит уверенности. В какой-то момент количество перейдет в качество — роль аллели в развитии заболевания будет признана установленной. Именно таким способом были выявлены аллели трех разных генов, каждый из которых сильно повышает риск развития болезни Альцгеймера, начинающейся в возрасте до 50 лет. В одной группе семей виновником оказалась аллель гена, называемая APP, в другой — PS1, а в третьей — PS2.

Обнаружение аллелей, повышающих риск развития болезни Альцгеймера, подхлестнуло генетические исследова-

ния шизофрении, депрессии и биполярного расстройства. Большим достоинством этих исследований по сравнению с предыдущими было то, что они стремились выявить корреляцию между заболеванием и наличием аллелей разных генов. К сожалению, до сих пор так и не удалось обнаружить аллель, которая бы точно повышала риск развития какого-либо из этих психических заболеваний. Не достигнуто особых успехов и в генетических исследованиях таких распространенных болезней, как диабет и гипертония. Причиной такого положения дел может быть то, что склонность к развитию данных заболеваний определяется комбинацией аллелей разных генов, а не вариациями какого-то одного. Современные технологии позволяют относительно легко выявлять редкие формы одного гена (например, APP, PS1 или PS2), но найти аллели, повышающие риск заболевания только при наследовании в комбинации с другими генами, по-прежнему очень сложно.

По мере изучения генома человека эта сложность будет преодолена. Уже подробно описана структура ДНК. Теперь изучаются образцы ДНК различных людей, чтобы определить и описать общие аллели каждого из тридцати тысяч генов. Это чрезвычайно упростит поиск виновницы (или виновниц) в склонности к той или иной психической болезни. Одновременно изыскиваются новые способы детального изучения ДНК.

Благодаря совершенствованию технологий сбора и анализа генетической информации скоро станет возможным широкомасштабный поиск групп аллелей, влияющих на склонность к развитию определенных психических болезней. Стоимость анализа ДНК все время снижается, и в конце концов мы перейдем от относительно небольших семейных исследований к скринингу образцов ДНК, взятых у тысяч неродственных друг другу пациентов. Такие изыскания позволят выявить релевантные аллели, при этом у каждого пациента могут быть обнаружены лишь некоторые из них.

Такая просьба будет восприниматься совершенно нормально. Закон, регулирующий хранение файлов ДНК и гарантирующий их неразглашение, будет разъяснять необходимость разрешать доступ к ним определенным специалистам. И многие пациенты с этим согласятся. Например, те, у кого родственники страдают психическими расстройствами, захотят оценить риск заболевания и принять необходимые профилактические меры. А пациенты, желающие получить медикаментозное лечение, захотят принимать подходящие именно для них препараты.

Генетическая информация будет очень ценной, потому что к тому времени появится огромный выбор лекарств. Одни препараты будут представлять собой улучшенные варианты сегодняшних лекарств, обладающие более избирательным действием на нейротрансмиссию. Другие возникнут благодаря новым знаниям о функциях мозга. Затем последуют препараты, разработанные на основе данных о генетических вариациях, повышающих риск психических заболеваний.

Генетическая информация о психических заболеваниях не только изменит диагностическую и терапевтическую практику, но и углубит наши познания о самих себе. В первой половине двадцатого века кушетка психоаналитика помогла нам понять, какое сильное влияние на нас оказывают потаенные страсти. Во второй половине двадцатого века психотропные лекарства продемонстрировали, насколько все мы зависим от простых химических соединений вроде серотонина и дофамина. Выявление аллелей откроет нам глаза на биологическое разнообразие нашей популяции. Хотя интерпретировать значение многих аллелей будет весьма сложно, некоторые из них наверняка окажутся полезными инструментами для анализа и реконструкции каждой жизненной истории.

Нэнси Эткофф*



СКАНИРОВАНИЕ МОЗГА, МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И КОРОТКИЕ ВСТРЕЧИ

В автобиографическом очерке «Мой путь к хасидизму» философ Мартин Бубер описал встречу, произошедшую в Буковине в 1910 году. Он только что закончил лекцию и отдыхал в местном кафе. К нему подошел человек средних лет, которого он называет «мистер М.».

Он сказал: «Доктор, у меня есть дочь. — Помолчал и продолжил: — Она встречается с молодым человеком. — Снова помолчал. — Он студент юридического института, сдал экзамены с отличием. — Длинная пауза. — Доктор, он надежный человек?» Бубер удивился, но отказаться в ответе было неловко, и он сказал: «Мистер М., из того, что вы сообщили, ясно, что он весьма преуспевающий и способный». На этом мис-

* Нэнси Эткофф — сотрудник медицинского факультета Гарвардского университета и психиатрического отделения массачусеттской больницы общего профиля. Входит в инициативную группу «Разум — мозг — поведение». Публикует статьи, посвященные исследованиям восприятия красоты, эмоций и человеческих лиц, в «Нэйчер», «Когнишн», «Ньюрон» и других научных журналах. Лауреат многочисленных премий. Автор книги «Выживание прелестнейших: наука красоты».

тер М. не успокоился. «Но доктор, хорошая ли у него голова?» Бубер ответил: «Это сказать сложнее, но в любом случае на одном трудолюбии далеко не уедешь, у него определенно должно быть что-то в голове». Мистер М. помолчал и спросил, как бы подводя итог разговору: «Доктор, ему лучше стать судьей или юристом?» Бубер ответил: «Об этом я ничего не могу сказать. Я не знаю этого молодого человека, и даже если бы знал, затруднился бы давать советы в таком деле». Мистер М. посмотрел на Бубера с горечью, к которой примешивались жалость и понимание, и грустно произнес: «Доктор, вы просто не хотите сказать».

Я вспоминаю эту историю, когда два раза в неделю оставляю мир исследований и погружаюсь в омут психотерапии. Приемы полны драматизма, юмора и пафоса. У пациентов столько разных вопросов!

— Бросить ли мне жену?

— Я сексуальный маньяк?

— Почему я все время чувствую усталость?

— Может, мне просто перестать разговаривать с братом, раз он все время меня обижает?

— Можно ли заразиться, дотрагиваясь до компакт-дисков в магазине?

— Как я могу быть уверенным, что не причиняю вред своему ребенку?

Иногда у меня возникает желание броситься обратно в лабораторию, но обычно я смиряюсь и начинаю искать пути для разрешения вопросов.

Сегодня, в начале двадцать первого века, мы знаем очень много о нервных путях головного мозга, об обработке им информации и о генетическом коде человека. И хотя постоянно прилагаются большие усилия, чтобы найти всем этим сведениям применение в медицине, дело пока не сдвинулось с места. Время горячего оптимизма нейробиологии являет-

ся временем неудовлетворенности психиатрии и осторожных надежд клинической психологии. Если сегодняшние тенденции сохранятся, то через пятьдесят лет останется очень мало практикующих психиатров. Сейчас все меньше студентов-медиков хотят специализироваться в области психиатрии. Начиная с 1929 года их никогда не было так мало. Опросы показывают, в чем причина. Студенты чувствуют, что психиатрия меньше помогает пациентам, ставит меньше интересных задач, является менее престижной и хуже оплачиваемой, чем любая другая медицинская специальность.

Разочарование распространяется и среди пациентов. Большая часть людей, имеющих психиатрические проблемы (согласно «Диагностическому и статистическому руководству по психическим болезням», выпуск 4), не обращаются к врачам. Одни не связывают свои симптомы с психиатрическими расстройствами. Другие полагаются на помощь родственников и друзей. Третьи считают, что могут справиться сами с помощью молитв, отдыха, упражнений, витаминов, обезболивающих препаратов или спиртных напитков. Четвертые не имеют медицинской страховки. Пятые стесняются или боятся заклеить себя диагнозом. Опросы показывают и такую причину: примерно половина опрошенных не доверяет стандартной психиатрической стратегии лечения (лекарства и терапия). У психотерапевтов нет недостатка в клиентах, но значительный процент из них — это люди с «необоснованным беспокойством», у которых не диагностируют никаких психических заболеваний.

И эта проблема будет все острее. В книге «Охрана психического здоровья в мире: проблемы и приоритеты в развивающихся странах» (1995 год) Роберт Дежарле и его коллеги с кафедры общественной медицины Гарвардского университета предсказывают, что количество страдающих психическими расстройствами будет расти по всему миру хотя бы уже потому, что увеличивается продолжительность жизни и все больше становится людей, подверженных возрастным заболеваниям. Ученые полагают, что к 2020 году депрессия

по распространенности будет уступать только ишемической болезни сердца. В качестве причин распространения депрессии они называют социальную изоляцию, изменение социальной роли, снижение уровня жирных кислот омега-3 из-за глобального увлечения диетами, изменения диагностических критериев и методов оценки, а также навязчивую рекламу антидепрессантов вроде прозака.

Я не футуролог, но осмелюсь сделать некоторые прогнозы относительно психиатрии в двадцать первом веке. Сегодняшнее недовольство — это хороший знак, оно приведет к переменам. Я начну с теории, а закончу практикой, потому что я уверена: и через полвека, когда изобретут очередной «прозак», люди будут испытывать потребность поговорить.

Конвергенция знаний

Вот простой прогноз: представления о том, что единственной причиной заболевания может быть или природа или воспитание, будут отброшены как абсолютно неверные. Психиатрические проблемы не могут быть вызваны одним геном или одним нейротрансмиттером (серотонином, дофамином и т.д.), так же как не могут быть связаны с детским потрясением от того ужасного факта, что у девочек нет пениса. Источником и причиной большинства расстройств являются сложные взаимодействия между генами и окружающими условиями, под которыми подразумевают все, что не связано с генами. Возможно, предрасположенность к большинству психиатрических заболеваний определяется множеством генов.

Менее очевидный, но неизбежный вывод: психотерапевты перестанут считать, что мозг — это не их епархия. Через пятьдесят лет науки о разуме и мозге объединятся. В девятнадцатом веке неврологию и психиатрию разделили, отдав

«органические» и «нервные» расстройства в ведение неврологии, а разум и его «функциональные» и «психические» расстройства — в ведение психиатрии. Сегодня ясно, что все психические процессы обусловлены работой нервных клеток и проблемы разума и мозга являются разными сторонами одной задачи.

Тем психоаналитикам и терапевтам, которые отвергают нейронауки, я советую взглянуть на человеческий мозг — безусловно, неэстетичный объект при рассмотрении невооруженным глазом, но поистине прекрасный при более детальном изучении. Этот полуторакилограммовый орган, состоящий из миллиардов нервных клеток (их количество соотносимо с количеством звезд в нашей Галактике), образующих сотни тысяч синаптических соединений, является самой сложной структурой во Вселенной. Для ученого нет занятия интереснее, чем наблюдать за работой мозга, как он запоминает, думает и желает. Возникает важный вопрос: как эти потоки крови и сложная сеть связей становятся нашими мыслями и чувствами? Именно этот вопрос будет занимать наши умы в ближайшие пятьдесят лет. Как писал генетик Франсуа Жакоб, «заканчивающийся век занимался нуклеиновыми кислотами и белками. Следующий будет сосредоточен на памяти и желаниях. Сможет ли он ответить на эти вопросы?».

Что общего у наук о мозге с психотерапией? Есть мнение (особо отстаиваемое нейробиологом Эриком Кэнделом), что психотерапия влияет не только на разум, но и на мозг, причем буквально. Эффективная терапия работает таким же способом и обусловлена теми же механизмами, что и любые другие формы интенсивного обучения. Она вызывает изменения в экспрессии генов, те, в свою очередь, усиливают синаптические связи и вызывают структурные изменения, которые перестраивают взаимодействие нервных клеток мозга. Можно провести аналогию с обучением профессионального музыканта. Нейролог Альваро Паскуаль-Леон предположил, что даже репетиция в уме вызывает изменения в мозгу.

Сегодня имеется возможность сравнить эффективность психотерапии и приема лекарственных препаратов. Технология визуализации позволяет увидеть мозг до и после лечения. И такое исследование было проведено, в качестве объекта изучения выступали люди, страдающие неврозом навязчивости и большой депрессией. Как выяснилось, обе формы терапии вполне эффективны и вызывают сходные изменения в мозге. Результаты позволяют предполагать, что оба воздействия приводят к одинаковым психологическим изменениям. В будущем мы сможем путем простого сканирования мозга пациента решать, насколько эффективно проводимое лечение и когда его следует прекратить.

Фрейд уступает дорогу Дарвину

Находясь под влиянием теории Фрейда, психотерапевты с 1940-х до 1970-х годов (а некоторые и по сей день) были уверены, что психические расстройства уходят корнями в раннее детство, поэтому терапия должна включать подробную реконструкцию событий далекого прошлого, что является невероятно сложной задачей с учетом ненадежности памяти. «Еще год, и уезжаю в Лурд», — сказал Элви Сингер (в исполнении Вуди Алена) о своих пятнадцати годах психоанализа в «Энни Холл». Психоаналитики оправдывали длительность лечебного курса сложностью поставленной задачи («Суэцкий канал ложкой не выкопаешь»). Но исследования не подтверждают, что травма, полученная в раннем детстве, может стать причиной каких-либо психиатрических заболеваний. Даже причиной посттравматического стресса являются события, происшедшие во взрослые годы. Хотя микроскопический анализ раннего детства пациента действительно может предоставить некоторую ценную информацию, современные данные показывают, что память является

весьма гибкой. Для борьбы с нежелательными воспоминаниями разум использует забывчивость, блокаду, иногда ложную память — такую цену мы платим за процессы памяти, которые в целом служат нам неплохо.

В статье «Где выживет психоанализ?», вышедшей в 1997 году, психиатр Алан Стоун заявил: «Психоанализ и как теория и как практика является формой искусства и принадлежит не к научной, а к гуманитарной сфере. Он ближе к литературе, чем к науке». По мере того как Фрейд переезжает в искусство, идеи Дарвина проникают в науки о поведении и в медицину. Через пятьдесят лет медицину будут определять дарвиновские принципы. Мозг, как и любой другой орган тела, формировался под влиянием естественного отбора и развивал психические процессы, способствующие воспроизводству и помогающие выживанию. Акцент в психиатрической практике будет переориентирован с болезни на подверженность, с симптомов — на адаптивные защитные механизмы и с ограниченности отдельной историей болезни — на изучение других смежных областей жизни.

Распространенность некоторых заболеваний будет соотнесена с генами, контролирующими их, и другими признаками (возможно, полезными), которые связаны с этими же генами. Примером может служить маниакально-депрессивное расстройство: энергия, творчество и вдохновение, связанные с легким маниакальным синдромом, могут давать преимущества некоторым пациентам или людям, которые имеют эти гены и не имеют клинических симптомов. Другие заболевания будут объясняться сбоем определенных процессов в мозге, например (при шизофрении) тех, которые в норме отделяют наши собственные действия от действий других людей, или (при аутизме) тех, которые помогают нам понять намерения и чувства окружающих.

Некоторые симптомы могут указывать на несоответствие окружающих условий тому, что было раньше, или просто представлять собой чрезмерную реакцию защиты. Например, так называемое общее тревожное расстройство, веро-

ятно, возникло как защитная реакция против неявной опасности, а фобии — как защита от определенных опасностей, таких как кровотечение, высота или укусы ядовитой змеи. Посттравматический стресс тоже имеет утилитарное значение. Он возникает для того, чтобы человек помнил об опасности и избегал ее в будущем. Легкая депрессия может выполнять адаптивную функцию, сберегая ресурсы организма в тяжелое время, призывая к нему на помощь и давая ему время на переоценку целей. Легкая депрессия также бывает и признаком покорности, когда человек не может или не хочет противостоять авторитетам.

С эволюционной точки зрения печаль, страх, гнев, отращивание, стыд и вина могут рассматриваться как приспособленческие и защитные реакции. Подобно кашлю или физической боли, они выполняют полезные функции. Однако они могут быть пагубны, потому что работают по принципу «детектора дыма» (как это назвал психиатр Мичиганского университета Рэндольф Несс): лучше напрасно поднять тревогу, чем проморгать пожар. Сегодня мы живем в гораздо более безопасном мире, чем наши предки, — снизилась угроза инфекционных заболеваний, голода, нападения хищников и природных катаклизмов. Вероятно, пациенты, страдающие сегодня от тревожных расстройств, оказались бы в выигрыше, если бы жили в далеком прошлом.

Эволюционные объяснения ставят важные вопросы относительно терапевтических стратегий. Если некоторые симптомы (например, страхи при фобиях) имеют биологическое происхождение, то не являются ли они неизлечимыми? Это не так: боязнь змей или вида крови можно вылечить за несколько часов с помощью экспозиционной терапии. Но если невроз навязчивости, депрессия, тревожность и фобии явно выводят человека из строя и требуют лечения, то легкая тревожность и депрессия могут быть весьма полезны. Они могут помочь человеку изменить свою жизнь, пересмотреть свои или чужие решения, помириться с друзьями или родственниками, избежать опасности. Как указывал Несс, было

бы ошибкой делать общество слишком бесстрашным или слишком устойчивым к печали и потере.

При такой смене приоритетов изучение здоровья и благополучия будет не менее важным, чем изучение болезней. Ученые из самых разных областей (от позитивной психологии до молекулярной генетики) будут изучать, что защищает людей от несчастий, что предохраняют их от стресса и какие гены, окружающие условия или темперамент способствуют здоровью. Сфера «психического здоровья» перестанет быть ошибочным термином, так как будет включать не только изучение болезней.

От койки к мобильным устройствам

Традиционная психодинамическая терапия основывалась на взаимоотношениях врача и пациента. Фрейд вызвал к воображению: диалог с психоаналитиком затрагивал все аспекты жизни пациента. Как писал Литтон Стрэчи в предисловии к «Выдающимся викторианцам», биография — «наиболее деликатная и человеческая область искусства». Практика психоанализа была обречена. Критикуемая за «неопределенные приемы для решения неопределенных проблем с неопределенным результатом», она никогда не предназначалась для большинства пациентов с тяжелыми психиатрическими симптомами.

Каково же будущее психотерапии и о чем врачи будут беседовать с пациентами? Психотерапия будет фокусироваться на конкретных проблемах, беседы будут короткими и привязанными к настоящему времени. Лечение будет опираться на методики, доказавшие свою эффективность. Психотерапевты будут пользоваться специальными руководствами. Проводить такую терапию будет психолог (имеющий право выписывать рецепты) или социальный работник, реже

психиатр. Теплое отношение и сочувствие терапевта не потеряют свое значение, но терапия будет меньше связана с взаимоотношениями и больше с обменом информацией. Организация психотерапии будет более гибкой, личные встречи врача и пациента станут необязательны. Психолог удалится в Интернет. Через «Палм пилот», например, можно будет получить инструкции, что делать во время приступа паники. Психотерапия перестанет быть только словами. В ожидании длительных полетов в космос НАСА профинансирует разработку мобильных устройств, сигнализирующих о депрессии, тревожности или усталости. Космонавт Валерий Рюмин заметил: «Если посадить двух мужчин в кабину и оставить их вместе на два месяца, то все условия для убийства будут налицо». Средства ранней диагностики позволят узнать, когда астронавту необходимо прекратить работу и принять лекарства («Послушайте свою запись когнитивно-поведенческой терапии», или «Примите антидепрессант», или «Сделайте перерыв и отдохните три часа»). Земные пациенты, желающие прекратить лечение, но отслеживать свое состояние на предмет тревожных признаков, также смогут пользоваться такими устройствами.

Компьютеры будущего смогут распознавать наши эмоции. Мобильные устройства, прикрепленные к одежде, украшениям или очкам, будут проверять наши параметры (количество морганий глаза или изгиб бровей по сравнению с «нормой»), а имплантированные устройства будут контролировать работу внутренних органов. Роз Пикард из лаборатории коммуникаций Массачусеттского технологического института в интервью, опубликованном в «Атлантик мансли» в 1998 году, предположила, что мобильные устройства, реагирующие на эмоции, будут «впитывать ваш реальный и метафорический запах... Как и нижнее белье, они, вероятно, будут личными вещами и станут поистине персональными компьютерами». Думаю, они все-таки будут в большей степени мобильными терапевтами, чем подштанниками.

Но зачем людям будет нужна терапия, если они смогут выпить коктейль из высокоэффективных лекарств? Если лекарственные препараты смогут облегчать тяжелые состояния, то большинство людей будут выбирать их. Результаты многочисленных исследований позволяют предполагать: хотя одним помогают лекарства, а другим — терапия, эффективнее всего их комбинация. Лекарства облегчают симптомы, а терапия помогает людям решить проблемы и найти выход. Кроме того, больные с большей вероятностью будут принимать лекарства, если одновременно будут проходить курс психотерапии. Для многих психотерапия будет лучшим выбором, ибо оказывает на мозг такое же влияние, что и лекарства, но обходится гораздо дешевле, не имеет побочных эффектов и помогает почти столь же быстро. И еще. Лекарства действуют только пока их принимают, зато психотерапия обещает более длительный эффект, благодаря тому, что обучает пациента, как держаться.

Психотерапия будущего в чем-то приблизится к традиционной терапии. Некоторым пациентам не подойдет короткий курс, исключая личный контакт с врачом. Возможно, это коснется тех людей, которым требуется постоянное лечение. Таким пациентам будет необходима непосредственная помощь терапевта, предполагающая сочувствие, внимание, вдумчивую беседу, освобождение от одиночества, единение. В мире коротких встреч, постоянной смены местожительства, сканирований и стимуляций мозга все еще будут проводиться беседы, изменяющие наше мировосприятие.

Пол У. Эвальд*



ПОБЕЖДАЯ БОЛЕЗНИ

Что вызывает болезни? Современные технологии настолько сложны и обещания специалистов так оптимистичны, что неискушенный читатель может решить, что причины болезней хорошо понятны. Но это не так. Медицина все еще старается выяснить причины многочисленных изматывающих заболеваний: инфарктов, инсультов, болезни Альцгеймера, шизофрении, злокачественных новообразований и диабета. Качество нашей жизни в ближайшие пятьдесят лет будет зависеть от того, насколько эффективно мы сможем бороться с хроническими болезнями.

Подобно другим биологическим феноменам, причина может рассматриваться в механистическом смысле («Какие агенты вызывают заболевание?») или в эволюционном («Каковы механизмы отбора, приведшие к появлению заболевания?»). В первом случае причины более или менее определены лишь для половины болезней, перечисленных в современных медицинских учебниках. Механистические причины можно разделить на три категории: генетические, парази-

* Пол У. Эвальд — профессор биологии колледжа Амгерста. Один из зачинателей эволюционной медицины. Наряду с чтением лекций в студенческом городке проводит семинары и симпозиумы по всему миру. Автор книг «Эволюция инфекционных болезней» (которую считают переломным моментом в развитии этой области науки) и «Время чумы: как хитрые инфекции вызывают рак, болезни сердца и другие смертельные недуги».

ческие (включая инфекционные) и непаразитические, но связанные с влиянием окружающей среды (такие, как радиация или избыток или недостаток некоторых химических веществ).

Большинство специалистов в области медицинских наук придерживаются «блочного принципа» в подходах к изучению причин заболеваний. Они стараются понять развитие болезни на уровне клеток и на биохимическом уровне, надеясь таким образом найти решение. Это привлекательная идея, но до сих пор она не принесла большого успеха — такого, который позволил бы найти убедительное решение, а не «латать дыры», как это делается сегодня. То, что Льюис Томас тридцать лет назад заявил в очерке «Технология медицины», верно и сейчас: «Большая часть медицинской практики, от трансплантации органов и операций по шунтированию до лечения злокачественных новообразований, является «штопаньем дыр», или поддерживающей терапией». Специалисты отвечают, что современные заболевания стало сложнее лечить, поэтому «латание дыр» — возможно, лучшее, на что можно рассчитывать. Однако история с этим не согласна. Все время находят новые эффективные способы лечения заболеваний, которые недавно считались неизлечимыми. Обычно такие решения приходят благодаря изучению причин инфекционных болезней. Например, за два прошлых десятилетия благодаря скринингу крови на вирусы гепатита В и С и широкому применению вакцины против гепатита В было предотвращено огромное количество заболеваний печени. Кроме того, язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, а также злокачественные новообразования желудка сегодня лечат с помощью антибиотиков.

Но даже среди инфекционных болезней большая часть основных успехов достигнута благодаря дедуктивным шагам, а не «блочному» индуктивному методу. Когда более двух сотен лет назад Эдвард Дженнер ввел вакцинацию, он понятия не имел, что такое вирусы. Полвека спустя основатели

современной эпидемиологии Джон Сноу и Игнац Земмельвайс, в глаза не видевшие бактерий, показали, как передаются инфекционные заболевания и как можно предотвратить их распространение. Джозеф Листер, продемонстрировавший эффективность стерилизации хирургических инструментов, тоже никогда не видел бактерий. Пауль Эрлих и Александр Флеминг практически ничего не знали о механизмах химического ингибирования бактериального роста, когда сформулировали концепцию терапии антибиотиками и ввели ее в практику. Все эти примеры показывают, как важно не ограничиваться блочным подходом, на который опираются сегодняшние медицинские исследования, а использовать и другие методы, способные привести к эффективному решению. Один из таких подходов — оценка причин заболевания с эволюционной точки зрения.

Эволюционные объяснения основываются на генетических причинах. Следовательно, можно предполагать, что эволюционная медицина объясняет болезни человека в контексте человеческого генома. Эволюционная медицина действительно предлагает такие объяснения. Например, хронические болезни можно объяснить теорией старения: организм разрушается, потому что в результате естественного отбора формируются признаки, полезные в молодом возрасте, но предъявляющие счет в старческие годы, когда давление естественного отбора менее выражено. Другим объяснением хронических заболеваний может быть несоответствие современных условий тем, которые были раньше, когда формировались гены человека. Другая альтернатива — инфекционные причины: хронические болезни могут быть следствием разрушительного действия инфекционных агентов, которые потихоньку разрушают ткани, приводя в конце концов к таким серьезным последствиям, как инфаркт, рак или болезнь Альцгеймера. Последняя возможность не противоречит тому, что эволюционное объяснение должно ограничиваться генами, просто нам следует учитывать не только геном человека, но и геном паразитов.

Мы с моим коллегой Грегори Кошраном подчеркивали, что при рассмотрении причин распространенных хронических заболеваний в контексте эволюции необходимо учитывать инфекции. Если причиной болезни является дефектная аллель, то частота мутаций должна быть довольно низкой, чтобы поддерживать наблюдаемую частоту заболеваний. Выживаемость больных и встречаемость заболеваний не укладывается в «старческую» гипотезу, и хотя новые факторы окружающей среды в принципе могут играть свою роль (например, рак легких от курения), предлагаемые неинфекционные факторы окружающей среды сами по себе недостаточны для объяснения наблюдаемых вспышек заболеваний. Объяснение эпидемиологических вспышек будет выглядеть более убедительным, если к факторам окружающей среды добавить инфекционные поветрия. Необходимо также учитывать эволюционные принципы, так как генетический конфликт интересов между патогеном и хозяином может весьма долго поддерживать распространение заболевания. В краткосрочной перспективе генетическая подверженность определенному возбудителю будет способствовать вытеснению особи (и дефектного гена) под влиянием естественного отбора. Но в долгосрочной перспективе генетическая подверженность инфекционным заболеваниям будет постоянно меняться в ходе коэволюции патогена и хозяина. Естественный отбор способствует выживанию популяции, имеющей средства борьбы с патогеном. Такие средства, в свою очередь, стимулируют развитие ответных признаков у популяций возбудителей, и т.д.

Причины хронических заболеваний будут найдены относительно быстро — не потому, что специалисты разных медицинских дисциплин начнут охотно применять эволюционные подходы в своей области, а в связи с тем, что они сейчас обсуждают и увлеченно изучают инфекционные причины хронических болезней. Учитывая использование эволюционных подходов, широкие медицинские исследования и накопленные данные, я думаю, что распространенные и

самые разрушительные хронические заболевания — атеросклероз, диабет, болезнь Альцгеймера, большинство злокачественных новообразований и проблем с бесплодием — через пятьдесят лет будут признаны инфекционными по своей природе. (Этот прогноз довольно беспочвенный, но к тому времени я вряд ли буду доступен для критики.)

Если эволюционный подход окажется адекватным, то в следующие десятилетия будут обнаружены возбудители болезней, которые перечислены в таблице.

Не следует считать, что определение инфекционной причины в основном зависит от имеющихся фактов. Медленный набор данных действительно помогает, до тех пор пока идет проверка соответствующих гипотез. Вероятно, мы никогда не получим требуемых свидетельств, потому что абсолютное доказательство инфекционной природы может оказаться недоступным для большинства оставшихся хронических болезней, вызываемых инфекциями. Например, в течение последней четверти прошлого века медицинское сообщество признало, что причиной саркомы Капоши является вирус герпеса 8, а причиной Т-клеточного лейкоза взрослых — вирус HTLV-1. Но такие же корреляционные свидетельства не были бы приняты для атеросклероза, потому что многие десятилетия исследований и различные мнения об этом заболевании привели к появлению у многих личной заинтересованности, что тормозит принятие любых новых идей. И чтобы освободиться от этого тормоза, понадобится время. Здесь очень применимы принципы Чарльза Дарвина, Макса Планка и Томаса Куна: чтобы изменить положение вещей, значительная часть старой гвардии должна уйти на пенсию или исчезнуть и на сцену должны выйти молодые специалисты, лишённые старых догм. Черный юмор: возбудители, причастные к развитию этого заболевания, свергнут тех, кто отрицает их существование.

Мой прогноз опирается на исторический опыт, согласно которому между первым появлением убедительных данных и принятием факта научной общественностью проходит одно

Время, когда инфекционные причины разных хронических заболеваний будут установлены

Заболевание	Предполагаемые возбудители	Год
Рассеянный склероз	<i>Chlamydia pneumoniae</i> , вирус герпеса человека 6	2010
Диабет 2-го типа	Вирус гепатита С (неосновная причина)	2010
Диабет 2-го типа	Неизвестно (основная причина)	2025
Злокачественные новообразования головы и шеи	Папилломавирус человека	2010
Злокачественные новообразования носоглоточной области	Вирус Эпштейна — Барра	2010
Детский лейкоз	Неизвестно	2015
Рак молочных желез	Вирус опухоли молочной железы мышей, вирус Эпштейна — Барра	2015
Атеросклероз	<i>C. pneumoniae</i> , <i>Porphyromonas gingivalis</i> , цитомегаловирус, <i>Actinobacillus actinomycetocomicans</i>	2015
Болезнь Альцгеймера	Вирус простого герпеса 1, <i>C.pneumoniae</i>	2015
Шизофрения	<i>T. gondii</i> , вирус простого герпеса 2, эндогенные ретровирусы, вирус болезни Борна	2020
Биполярное аффективное расстройство	Вирус болезни Борна	2025
Рак предстательной железы	Неизвестный ретровирус	2025

и то же время. Я учел и дистанцию, отделяющую инфекционную причину от того, что считают причиной сейчас. Думаю, что инфекционная причина некоторых форм злокачественных новообразований головы и шеи будет установлена быстрее, чем инфекционная причина атеросклероза, несмотря на то, что данных в первом случае меньше. В основном это связано с прецедентом: возможный патоген (папилломавирус человека) уже был признан причиной развития рака шейки матки. Кроме того, поиск причин таких злокачественных новообразований, как Т-клеточный лейкоз взрослых и саркома Капоши, не обременен столь сильными личными интересами. Так же, если *Chlamydia pneumoniae* признают причиной распространенных хронических заболеваний (атеросклероза, инсульта, болезни Альцгеймера и множественного склероза), то ее участие в развитии других заболеваний будет признано с легкостью. Однако в таком случае общим будет не тип ткани, а генетическая предрасположенность — аллель эpsilon-4, которую связывают с повышением уязвимости для *C. pneumoniae*.

Похоже, возможность инфекционного происхождения злокачественных новообразований вызывает особенно активные возражения. Это довольно странно. В результате медицинских исследований уже установлено, что примерно пятнадцать — двадцать процентов всех злокачественных новообразований человека имеют инфекционную природу (двадцать пять лет назад считалось, что их всего один процент), а полностью исключить инфекционное происхождение удается лишь в пяти случаях из ста. Война между сторонниками и противниками гипотезы об инфекционной причине рака ведется примерно с 1910 года, когда Пейтон Роуз показал, что вирусы могут вызывать злокачественные новообразования у цыплят. В конце 1970-х, когда был подтвержден вклад в развитие злокачественных новообразований онкогенов и неинфекционных канцерогенов, наиболее яростные противники теории об инфекционной причине рака праздновали победу, так как появилось хорошее объяс-

нение природы этих заболеваний. В последующие годы они продолжали заявлять о победе, хотя понемногу начали сдавать позиции. Их логической ошибкой было то, что доказательство причастности одного механизма они выдавали за доказательство непричастности других. На самом деле все три причины развития заболеваний часто действуют совместно.

Как и в случаях с атеросклерозом и злокачественными опухолями, инфекционная природа некоторых психических заболеваний (вроде шизофрении) вряд ли будет установлена в скором времени из-за личных соображений специалистов. Кроме того, здесь играет роль и специфика психических болезней, затемняющая их инфекционную природу. Как узнать, что у мыши появились галлюцинации, паранойя, депрессия или мания? Конечно, можно вспомнить психическое расстройство, развивающееся при сифилисе, но его инфекционная природа была установлена без труда: раз сифилис является инфекционным заболеванием, значит, и психическое расстройство у сифилитика вызывается инфекцией. И слабоумие вследствие сифилиса было отделено от других психических нарушений. Современные психические болезни неизвестной природы не были четко связаны с каким-либо острым заболеванием, поэтому они больше напоминают Т-клеточный лейкоз взрослых и саркому Капоши, чем слабоумие при сифилисе. Почему же тогда я столь оптимистично настроен относительно инфекционных причин шизофрении? Эпидемиологические данные довольно настойчиво указывают на инфекционную причину. Например, больные шизофренией чаще рождаются в конце зимы или в начале весны, что позволяет предполагать пренатальные или неонатальные инфекции, пик которых приходится на зиму и раннюю весну. Обнаруженная значительная корреляция с присутствием определенных патогенов тоже указывает на инфекционную природу этого заболевания. Например, результаты недавно проведенного исследования показали, что сорок два процента больных шизофренией имеют положи-

тельный анализ на *Toxoplasma gondii* (паразит мозга), при этом среди здоровых людей положительные результаты выявлены лишь у одиннадцати процентов. Возможность инфекционной природы шизофрении сегодня серьезно изучают даже те специалисты, которые десять лет назад отмахивались от подобных предположений. Все это наводит на мысль, что установление инфекционной причины шизофрении будет зависеть от смены поколений ученых, и это должно произойти через пятнадцать лет.

Обнаружение возбудителей хронических заболеваний в ближайшие пятьдесят лет будет способствовать разработке соответствующих вакцин. В тех случаях, когда патоген не слишком изменчив, вакцина будет очень эффективна. Следовательно, можно ожидать, что ДНК-вирусы, такие как папилломавирусы человека, будет проще контролировать с помощью вакцин, чем РНК-вирусы вроде ВИЧ. Такая стратегия борьбы с заболеваниями не потребует разработки фундаментально новых технологий. Мы уже знаем, что нужная вакцина предотвращает распространение заболеваний, а нужный противoinфекционный препарат помогает излечивать болезнь и предотвращает опасное развитие инфекции. Мы уже знаем, что прекращение распространения инфекции спасает и отдельных людей и целые популяции. История разработки средств борьбы с обнаруживаемыми инфекционными агентами весьма обнадеживает.

Для инфекционных заболеваний эволюционные аспекты в основном касаются эволюции вирулентности. Почему некоторые паразиты становятся возбудителями относительно легких заболеваний, другие вызывают смертельные болезни, а третьи — что-то посередине? Ответ на этот вопрос позволит разработать третий подход к контролю над инфекционными заболеваниями. Помимо лечения болезней и предотвращения распространения инфекций мы сможем контролировать эволюцию патогенов, превращая опасные возбудители в безопасные организмы. Для каждой категории заболеваний теория и имеющиеся факты указывают по мень-

шей мере на один способ достижения этой цели. Думаю, в следующие двадцать пять лет будут продемонстрированы первые успехи такого эволюционного подхода — возможно, благодаря умелому использованию вакцин или прекращению распространения через питьевую воду возбудителей диареи в слаборазвитых странах. Нужно также учитывать устойчивость микробов к антибиотикам: чем менее опасен патоген, тем меньше следует использовать антибиотики, чтобы не способствовать развитию устойчивых штаммов. Если мы сможем контролировать эволюцию вирулентности, то наверняка сможем и контролировать эволюцию устойчивости к антибиотикам.

Первый же крупный успех подхлестнет использование таких подходов в борьбе с другими болезнями — так уже было, когда появились, например, противовирусные вакцины и антибиотики. Вследствие того, что дату достижения первого успеха сложно предсказать, время реакции на него тоже неизвестно. К середине этого века мы, вероятно, превратим возбудителей некоторых болезней (например, вызывающего тяжелую диарею) в безопасные для человека микроорганизмы. Но поиск причин возникновения большинства тяжелых заболеваний будет продолжаться.

Что *не* произойдет в ближайшие пятьдесят лет? Мы наверняка наткнемся на возбудителей, справиться с которыми окажется непросто. Например, сегодня появляются все новые способы борьбы с ВИЧ, однако и через пятьдесят лет он не исчезнет. Техника «латания дыр» позволит подавить развитие СПИДа, но полностью справиться с вирусом не удастся, так как антивирусные препараты и вакцины сдерживают, а не побеждают этот вирус. ВИЧ обладает потрясающей генетической гибкостью, он легко эволюционирует, развивая устойчивость к антивирусным препаратам, и скорее всего сможет противостоять и вакцинации. Может помочь использование комбинаций антивирусных средств, но полного решения проблемы это не принесет. Думаю, мы шаг за шагом будем отвоевывать у СПИДа жизнь больного: лет десять

благодаря антивирусным препаратам, еще лет десять благодаря своевременному введению терапевтической вакцины вскоре после инфицирования и еще лет десять благодаря контролю за эволюцией вирулентности. Но добиться полного контроля над заболеванием в ближайшие пятьдесят лет вряд ли удастся. Так было с дифтерией, оспой, коклюшем, корью и полиомиелитом. Не следует забывать о побочных эффектах, связанных с длительным приемом антивирусных препаратов.

Несмотря на сегодняшние страхи по поводу возникновения и распространения новых опасных заболеваний вроде СПИДа, можно быть уверенным, что в следующие полвека таких будет не более одного, а вероятно, и вовсе не будет. Уже более века население земного шара активно мигрирует. Это привело к тому, что сегодня мы сталкиваемся почти со всеми возбудителями, имеющимися на планете. И при этом лишь в одном (известном) случае возбудитель распространился за пределы своей географической области и вызвал глобальную эпидемию: ВИЧ-1. Тем не менее на примере СПИДа ученые и обыватели предупреждают, что и другие патогены могут представлять серьезную угрозу. Кандидатами в губители человечества являются вирусы экзотических геморрагических лихорадок, таких как лихорадка Эбола и марбургская болезнь, переносимый комарами вирус лихорадки Западного Нила, хантавирус (вызвавший недавнюю вспышку заболевания на юго-западе США) и прион, вызывающий коровье бешенство, а также его форма, поражающая человека, — новый вариант болезни Крейтцфельда — Якоба. Но эти страхи напрасны. Хотя перечисленные патогены и вызывают серьезные болезни, они не представляют опасность в глобальном масштабе. Они не имеют необходимых для этого признаков. Вирус лихорадки Западного Нила не может передаваться от человека комарам. Вирус Эбола слишком плохо выживает в окружающих условиях, чтобы вызывать летальную инфекцию у людей. Прионы передаются между людьми только при необычных

и контролируемых случаях, таких как каннибализм и трансплантация роговицы.

Реальную угрозу представляют возбудители, которые уже среди нас и убивают нас или могут развить такую способность. Если принять факты, указывающие на инфекционную природу этих болезней, то все мы уже вымираем от ужасной глобальной пандемии инфарктов, инсультов, болезни Альцгеймера и злокачественных новообразований — пандемий, вызываемых инфекционными агентами, которые крайне опасны, но не выявлены. Мы опасаемся нескольких беспризорных кошек, когда нас выслеживают леопарды. В следующие полвека мы наконец вычислим этих леопардов и примем меры, чтобы защититься хоть от каких-то из них.

Исключительные права на публикацию книги на русском языке принадлежат издательству АСТ. Любое использование материала данной книги, полностью или частично, без разрешения правообладателя запрещается.

Научно-популярное издание

**Будущее науки в XXI веке
Следующие пятьдесят лет**
Под редакцией Брокмана Джона

Научный редактор Н.Л. Зайцева
Редактор А.М. Либков
Художественный редактор О.Н. Адаскина
Компьютерная верстка: В.Е. Кудымов
Технический редактор О.В. Панкрашина
Младший редактор Н.В. Дмитриева

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2;
953004 — литература научная и производственная

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.007027.06.07 от 20.06.07 г.

ООО «Издательство АСТ»
141100, Россия, Московская обл., г. Шелково, ул. Заречная, д. 96
Наши электронные адреса: WWW.AST.RU E-mail: astpub@aha.ru

ООО Издательство «АСТ МОСКВА»
129085, г. Москва, Звездный б-р, д. 21, стр. 1

ОАО «Владимирская книжная типография»
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7.
Качество печати соответствует качеству предоставленных диапозитивов

Джон Брокман – известный современный писатель и издатель, автор, редактор и составитель двадцати книг, включая четыре международных бестселлера – «Третья культура», «Научная аптечка для ума», «Величайшие научные открытия последних двух тысячелетий» и «Будущее науки в XXI веке. Следующие пятьдесят лет».

За последние пятьдесят лет наука совершила настоящий прорыв.

Освоение космоса и клонирование, Интернет, нанотехнологии и открытие планет за пределами Солнечной системы уже стали для нас реальностью.

Но мир меняется все стремительнее.

Какие же научные прорывы ожидают нас в ближайшее время?

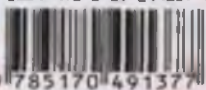
На этот вопрос в простой и необыкновенно увлекательной форме отвечают знаменитые физики и генетики, математики и кибернетики, биологи и психологи, а также специалисты по проблемам искусственного интеллекта.

*Это книга – настоящее интеллектуальное приключение.
Она поможет читателю совершить путешествие в будущее!*
«Publishers Weekly»

*Эта книга должна быть
университетской библиотечной*

«Library Journal»

ISBN 78-5-17-049137-7



9 785170 491377