



ПИТЕР КОВЕНИ
РОДЖЕР ХАЙФИЛД

ВИРТУАЛЬНЫЙ ТЫ

КАК СОЗДАНИЕ
ЦИФРОВЫХ БЛИЗНЕЦОВ
ИЗМЕНИТ БУДУЩЕЕ
ЧЕЛОВЕЧЕСТВА



УДК 57.08
ББК 53.4
К56

Peter Coveney, Roger Highfield
Virtual You. How Building Your Digital Twin Will Revolutionize Medicine and
Change Your Life

Издание опубликовано с согласия и при поддержке The Curious Minds Agency,
Louisa Pritchard Associates и The Van Lear Agency LLC

Перевод с английского Марины Кедровой

Ковени П., Хайфилд Р.

К56 Виртуальный ты. Как создание цифровых близнецов изменит
будущее человечества / Питер Ковени, Роджер Хайфилд ; [пер.
с англ. М. В. Кедровой]. — М. : КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2024. —
384 с. — (Научный интерес).

ISBN 978-5-389-23831-2

Только представьте: вместо утомительного осмотра врача и рецепта на
лекарство с недоказанным действием — мгновенный список рекоменда-
ций, рассчитанных именно на ваш организм и обладающих 100-процент-
ной эффективностью. Невозможно, скажете вы?

Вовсе нет — уверены Питер Ковени и Роджер Хайфилд. Новейшие ис-
следования в области создания цифровых близнецов, о которых они рас-
сказывают в этой книге, помогут предсказать риски появления заболева-
ния, эффективнее испытывать лекарства, выбирать оптимальный режим
дня и питания, а также определить методы лечения для улучшения здоро-
вья и продления жизни человека. Осталось лишь решить несколько про-
блем технологического и этического порядка, чтобы «виртуальный вы»
стали реальностью.

Будущее уже наступило. Осталось сделать последний шаг.

УДК 57.08
ББК 53.4

ISBN 978-5-389-23831-2

© 2023 by Peter Coveney and Roger Highfield
© 2023 by Princeton University Press
© Кедрова М. В., перевод на русский язык, 2024
© Издание на русском языке, оформление.
ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2024
КоЛибри®

*Всем врачам, ученым и инженерам, которые делают
медицину по-настоящему прогностической*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Вступительное слово Венки Рамакришнана	9
Введение	13
<i>Глава 1. Мерило себя</i>	29
<i>Глава 2. За бэконовскими муравьями, пауками и пчелами</i>	58
<i>Глава 3. От аналогового человека к цифровому</i>	93
<i>Глава 4. Большой ИИ</i>	124
<i>Глава 5. Симуляция жизни</i>	149
<i>Глава 6. Виртуальная клетка</i>	181
<i>Глава 7. Как создать человеческое сердце?</i>	208
<i>Глава 8. Виртуальное тело</i>	238
<i>Глава 9. Виртуальный человек 2.0</i>	271
<i>Глава 10. От прогнозов здоровья к постчеловеческому будущему</i>	297
Благодарности	316
Приложение. Навстречу виртуальному космосу	320
Глоссарий	327
Индекс	337
Библиография	359

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

ВЕНКИ РАМАКРИШНАН

Физик Ричард Фейнман однажды сказал: «Чего не могу воссоздать, того не понимаю». Можно дополнить: «Чего не могу точно смоделировать, того не понимаю». Мы уверены, что понимаем, как самолеты летают и как ведут себя во время турбулентности или отказа двигателя, поскольку авиасимулятор может точно предсказать, что произойдет. Пилоты регулярно отрабатывают как обычные, так и непредвиденные ситуации, используя симуляторы и получая опыт, который могут так и не применить при управлении реальным самолетом.

Каковы перспективы моделирования себя на компьютере? На первый взгляд, это звучит скорее как научная фантастика, чем реальность. Однако в этой области был достигнут значительный прогресс. Данная книга знакомит с первыми шагами на пути к созданию собственного цифрового двойника и с трудностями в достижении этой цели, что само по себе является увлекательным путешествием.

Одна из ключевых тем книги — стремление видеть в биологии столько же теории, сколько и в физике. В 1976 г., сразу после аспирантуры, когда я ушел из физики, чтобы переквалифицироваться в биолога, я сразу заметил разницу. В физике, как и в химии, существовала высокоразвитая теория, которая помогала направлять и даже предсказывать эксперименты и поведение. Так, исходя из теоретических соображений, удалось изобрести транзисторы и лазеры и синтезировать совершенно новые соединения. В результате даже был построен ускоритель стоимостью в несколько миллиардов долларов для поиска

теоретически предсказанного бозона Хиггса. Теория далека от совершенства. Например, не существует хорошей теории высокотемпературной сверхпроводимости, и мы не можем предсказать детальное сверхпроводящее поведение смеси металлов.

Биология в 1970-х гг., напротив, казалась в основном наблюдательной и эмпирической. У нее была одна всеобъемлющая теория — о естественном отборе, действующем как движущая сила эволюции всей жизни. Хотя эта теория обладала огромной объяснительной силой, ей не хватало детальной предсказательной силы. В биологии также было то, что я назвал бы локальными теориями или моделями: понимание того, как импульс распространяется по нерву, как работают различные биологические моторы или как человек реагирует на дозу адреналина. Но чего не было, так это всеобъемлющей способности предсказывать на основе набора начальных условий, как система (даже такая базовая единица, как клетка) будет вести себя с течением времени при произвольном наборе условий.

Проблема заключается в том, что количество факторов, участвующих в поддержании жизни, невероятно огромно. На каком-то базовом уровне существует наш геном, последовательность которого с большой помпой была раскрыта в начале этого столетия с перспективой вступить в новую эру биологии. Геном состоит из десятков тысяч генов, экспрессирующихся в разной степени и в разное время. Более того, экспрессия генов модулируется химическими метками на ДНК или связанными с ней белками, которые сохраняются при делении клеток, что является предметом эпигенетики. Наконец, экспрессия генов и их функции в клетке являются результатом их взаимодействия друг с другом и окружающей средой с образованием гигантской сети. Таким образом, любые надежды на возможность предсказывать на основе генов, зная их последовательность, оказались пустыми. Если это так даже для одной клетки, можно себе представить, насколько сложно теоретически предсказать будущее органа, не говоря уже о целом человеке.

Последние 20 лет биологическая революция XX в. дополнялась революцией в области вычислений и данных. Теперь у нас есть огромные объемы данных. Вместо одной последователь-

ности человеческого генома мы имеем сотни тысяч, а также обширные последовательности геномов огромного числа видов. У нас есть карты транскриптомов, которые сообщают нам, какие гены экспрессируются (процесс, посредством которого информация, закодированная в гене, приводится в действие), в каких клетках и когда, и у нас есть карты интерактомов, отображающие взаимодействие между тысячами генов. Наряду с этим мы располагаем масштабными сведениями о физиологии и заболеваниях человека. У нас есть данные о личных характеристиках здоровья миллионов людей. Анализ и интерпретация всех этих данных находятся за пределами возможностей любого отдельного человека или даже группы. Но в то же время стремительно развивается наука о данных. Вычислительные методы, позволяющие связывать большие наборы данных и понимать их, постоянно совершенствуются.

Позволят ли эти достижения, в сочетании с активным развитием теории, в конечном итоге смоделировать форму жизни? В данной книге утверждается, что сочетание этих разработок даст нам возможность достичь амбициозной цели моделирования практически каждого органа и процесса в теле человека. Когда это будет сделано, мы сможем задавать следующие вопросы. Как этот человек отреагирует на конкретное лечение? В какой момент у него может развиться тяжелая болезнь? Можно ли предотвратить это, приняв меры на раннем этапе, и если да, то какие действия могут помочь? Как иммунная система одного человека отреагирует на инфекцию по сравнению с иммунной системой другого?

В книге описан прогресс практически во всех областях компьютерной биомедицины: от молекул и клеток до органов и человека. Когда я читал ее, у меня сложилось впечатление, что есть области, где цифровая симуляция — виртуальная копия реальности — уже почти существует. Одни цели кажутся достижимыми, но есть и такие, которые во многом напоминают научную фантастику. Да, в принципе, со временем их можно достичь, но практические трудности кажутся бесконечными и в настоящее время непреодолимыми. Ученые спорят о том, какие идеи — чистая фантазия, а какие — взгляд в наше

будущее. Сами Ковени и Хайфилд проводят черту у цифрового сознания.

Те из нас, кто настроен более скептически, должны помнить, что у новых технологий есть две почти универсальные характеристики. Во-первых, на начальных этапах они обычно не работают должным образом, а их применение кажется очень узким и ограниченным. В результате, казалось бы, резкой трансформации (на самом деле являющейся результатом десятилетий работы) они внезапно становятся повсеместными и воспринимаются как нечто само собой разумеющееся. Мы увидели это на примере интернета, который в течение первых двух десятилетий был прерогативой горстки ученых в академических кругах и правительственных лабораториях, прежде чем стал константой в нашей жизни. Вторая особенность, на которую указал Рой Амара, заключается в том, что, когда дело доходит до прогнозирования эффекта и силы новой технологии, мы склонны переоценивать краткосрочную перспективу и недооценивать долгосрочную. Это часто приводит к большой шумихе, сменяемой неизбежным разочарованием, за которым в конечном итоге следует успех. Например, выстрелившая в 1970-х и 1980-х гг. идея искусственного интеллекта десятилетиями нас разочаровывала, но сегодня эта область невероятно успешна. Возможно, мы наблюдаем ту же ситуацию с беспилотными автомобилями.

Будет ли так же с идеей виртуальных людей — остается предметом споров, но в этой книге Ковени и Хайфилд предлагают нам увлекательный отчет об усилиях ученых по всему миру, которые сейчас работают ради достижения этой необычной цели.

В 2009 г. Венки Рамакришнан получил Нобелевскую премию за исследования рибосомы — молекулярной машины, превращающей гены в плоть и кровь.

ВВЕДЕНИЕ

Представьте себе виртуального человека, состоящего не из плоти и костей, а из битов и байтов, и не просто человека, а виртуальную версию вас, точную во всем, от биения сердца до букв ДНК-кода.

ПРЕМЬЕРА ФИЛЬМА «МУЗЕЙ НАУКИ», ЛОНДОН

В стенах часовни XIX в. на окраине Барселоны начинает биться сердце. Оно не настоящее, а виртуальная копия того, что бьется в груди пациента. Благодаря миллиардам уравнений и 100 миллионам участков смоделированных клеток цифровой двойник бьется со скоростью около одного удара в час, тестируя методы лечения — от лекарств до имплантатов.

Несмотря на то, что часовня Торре Жирона была секуляризирована десятилетия назад, над входом до сих пор красуется крест. В архитектуре романтизма чувствуется высшая сила и цель. Когда солнечный свет струится сквозь витражные окна, вы предстаёте перед огромной комнатой из стекла и стали, внутри которой стоят три ряда черных шкафов, усеянных зелеными огнями.

Это MareNostrum (римское название Средиземного моря), суперкомпьютер в кампусе Политехнического университета Каталонии, который Питер Ковени и коллеги со всей Европы используют для моделирования электрических, химических и механических процессов в человеческом организме. На вид симуляции не отличить от настоящих, будь то трепещущее сердце или наполняющееся воздухом легкое. Однако гораздо важнее то, что эти виртуальные органы ведут себя как настоящие.

Чтобы показать ошеломляющий диапазон и потенциал виртуальных исследований человека, мы использовали MareNostrum



Рисунок 1. Кадр из фильма «Виртуальные люди» (CompBioMed и Суперкомпьютерный центр Барселоны)

для создания фильма с помощью моделирования, запущенного на других суперкомпьютерах, в частности SuperMUC-NG в Германии (суффикс MUC относится к коду близлежащего аэропорта Мюнхена). Работая с международной командой, мы хотели, чтобы фильм «Виртуальные люди» продемонстрировал, куда наши усилия по созданию тела *in silico*¹ могут привести медицину.

В сентябре 2017 мы провели премьеру в огромном кинотеатре IMAX Музея науки в Лондоне, вместе с Фернандо Куккетти и Гильермо Марино, нашими коллегами из Суперкомпьютерного центра Барселоны. Несмотря на то, что мы работали над фильмом несколько месяцев, мы все равно затаили дыхание, увидев бьющееся виртуальное сердце размером с четыре двухэтажных автобуса.

SuperMUC-NG и MareNostrum 4 — две из примерно нескольких сотен огромных вычислительных машин,

¹ Термин, обозначающий компьютерное моделирование (симуляцию) эксперимента, чаще биологического. Фраза была создана по аналогии с фразами *in vivo* (в живом организме) и *in vitro* (в пробирке).

ВВЕДЕНИЕ

разбросанных по всему миру. Эти машины используются для моделирования космоса, понимания закономерностей природы и решения основных задач, стоящих перед нашим обществом, таких как изучение изменения климата, разработка низкоуглеродных источников энергии и моделирование распространения виртуальных пандемий.

Подобно великим средневековым соборам, воздвигнутым архитекторами, каменщиками, геометрами и епископами, чтобы дать человечеству представление о бесконечности, суперкомпьютеры — это соборы информационной эпохи, где новые миры и даже целые вселенные бесконечного разнообразия могут быть смоделированы внутри великих двигателей логики, алгоритмов и информации.

Они также могут воссоздать внутренние миры человеческого тела, и не любого или «среднего» тела, а тела конкретного человека: от тканей и органов до молекулярных машин, работающих



Рисунок 2. Суперкомпьютер MareNostrum (wikimedia commons: Gemmaribasmaspoch. cc-BY-SA-4.0)

внутри клеток, их составных белков и ДНК. Конечная цель этой работы — запечатлеть на компьютере жизненные ритмы, закономерности и нарушения, причем не просто какой-то средне-статистической жизни, а одного конкретного тела и одной конкретной жизни — вашей [1].

На премьере к нам присоединились коллеги, разработавшие виртуальные сердца, артерии и вены, а также скелет и его мускулатуру. На великолепном экране IMAX в Музее науки переполненная аудитория увидела будущее, когда лекарства можно будет разрабатывать с учетом индивидуальных потребностей каждого пациента, когда мы сможем визуализировать движение мутировавшего белка в организме, отследить турбулентный поток частиц лекарства глубоко в легких, изучить волны клеток крови через мозг и смоделировать давление и напряжение, оказываемые на ослабленные кости.

РАСЦВЕТ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

В технике виртуальные копии известны как цифровые двойники. Эту концепцию обычно приписывают статье Джона Викерса и Майкла Гривза из Мичиганского университета от 2002 г. [2], в которой говорилось о «модели зеркальных пространств». НАСА ввело термин «цифровой двойник» в 2010 г. [3] и применило к космическим кораблям [4]. Однако истоки двойников можно найти гораздо раньше. Многие в качестве яркого примера ссылаются на лунную программу «Аполлон»: наземные симуляторы использовались в качестве аналоговых двойников космических кораблей. Этот подход был использован в 1970 г., чтобы помочь успешно вернуть трех астронавтов злополучной миссии «Аполлон-13» после взрыва в 200 000 милях от Земли [5].

Сегодня цифровые двойники хорошо зарекомендовали себя. Многие промышленные процессы и машины слишком сложны для понимания одним мозгом, поэтому эксперименты с цифровыми двойниками облегчают изучение и понимание их

поведения [6]. Уроки, извлеченные таким образом, преобразуют будущее производства и, ускоряя автоматизацию, меняют будущее труда. Цифровые копии машин и даже целых заводов помогают предвидеть препятствия, совершенствовать конструкции и предотвращать ошибки еще до их возникновения.

Цифровые двойники используются для оптимизации цепочек поставок и планировки магазинов. General Electric использовала двойника для повышения эффективности на алюминиевом заводе в Индии; двойник маршрута предполагаемой железнодорожной линии на северо-западе Англии — в виде 18 миллиардов точек данных, собранных дронами, — был создан, чтобы помочь управлять этим огромным транспортным проектом; «фабрика будущего» в Австралии отточила виртуальную копию роботизированной рабочей станции, прежде чем создать настоящую; инженеры используют цифровые двойники, чтобы оценить срок службы реактивного двигателя и способы его эффективного обслуживания. Цифровые двойники использовались для создания ветряных турбин, нефтяных вышек, автомобилей, реактивных двигателей, самолетов, космических кораблей и многого другого. Некоторые считают, что цифровые двойники городов являются ключом к будущему городскому планированию.

Цифровые двойники появляются и в медицине благодаря революции данных в биологии. Одним из легионов людей, анализирующих данные о здоровье, является Лерой Худ из Института системной биологии в Сиэтле. Один из самых влиятельных современных биотехнологов, Худ десятилетиями работал на передовых позициях в области медицины, инженерии и генетики, начиная с первой встречи по программе генома человека в 1985 г. В 2015 г. он запустил проект, собравший множество данных о 5000 пациентах за пять лет. Все их данные хранились в том, что Худ называет «облаками личного здоровья»¹. Анализ облака пациента может выявить характерные сигналы того, что Худ называет «пред-предболезнью», которые врачи могут

¹ Лерой Худ, интервью с Питером Ковени и Роджером Хайфилдом, 12 августа 2021 г.

использовать, чтобы предвидеть проблему, а затем вмешаться для поддержания здоровья.

Худ говорит о «научном благополучии», которое «использует личные, плотные, динамические облака данных для количественной оценки и определения здоровья, а также выявления отклонений от состояния здоровья в сторону болезни». Живое воплощение его подхода, 82-летний мужчина, был в отличной форме («Я не планирую выходить на пенсию»), когда мы говорили с ним о его видении будущего «4П», где лечение будет прогнозирующим, профилактическим, персонализированным и партиципаторным. Моделирование тела поможет вступить в это будущее, выявив закономерности в данных пациента.

В действительности, конечно, мы обходимся неполным пониманием и неполными данными. Но, как показали достижения в области прогнозирования погоды, эти недостатки можно преодолеть и сделать полезные прогнозы. Мы прошли долгий путь с 1922 г., когда британский математик Льюис Фрай Ричардсон (1881–1953) в замечательной книге «Прогноз погоды с помощью численного метода» (*Weather Prediction by Numerical Process*) изложил идею фантастической фабрики прогнозов, где тысячи человеческих «компьютеров», использующих логарифмические линейки и калькуляторы, координируются «дирижером». Ричардсон размышлял: «Возможно ли будет когда-нибудь в туманном будущем проводить вычисления быстрее, чем меняется погода?» Но даже он признал, что фабрика прогнозов была всего лишь мечтой.

Столетие спустя его необыкновенное видение стало реальностью. Суперкомпьютеры могут делать прогнозы на несколько дней вперед с достаточной точностью, постоянно обновляя сложные компьютерные модели данными с орбитальных спутников, буев, самолетов, кораблей и метеостанций.

Типичная модель прогнозирования опирается на систему уравнений, позволяющую моделировать: будет идти дождь или сиять солнце. Существует уравнение для импульса, плотности и температуры в каждой из трех фаз воды (пар, жидкость и твердое состояние), а также, возможно, для других химических переменных, таких как озон, который поглощает вредное

ультрафиолетовое излучение. Во второй главе мы объясняем, почему эти нелинейные дифференциальные уравнения, особенно уравнения в частных производных, управляют климатической системой. В целом, чтобы смоделировать планету с разрешением, составляющим в настоящее время около 60 км, требуются миллиарды уравнений¹. Модель должна учитывать постоянно меняющиеся термодинамические, радиационные и химические процессы, действующие в масштабах от сотен метров до тысяч километров и от секунд до недель [7]. Это представляет собой проявление силы моделирования, которое, как утверждают некоторые, уже приближается к сложности, необходимой для моделирования человеческого мозга.

Благодаря потоку биомедицинских данных, доступных сегодня, а также все более мощной теории и расчетам, мы считаем, что в биологии моделирование произведет революцию так же, как и в метеорологии. Американский метеоролог Кливленд Эббе (1838–1916) однажды заявил, что прогресс в его области зависит от «посвящения в эту науку физиков и математиков» [8]. Вторя его видению прогнозирования из 1895 г., мы с нетерпением ждем того дня, когда будет недостаточно знать, что кто-то нездоров, — мы хотим иметь возможность понять, заболит ли он в будущем и почему, чтобы мы могли его вылечить.

Оптимизм в отношении потенциала цифровых двойников в медицине подкрепляется нашей нынешней способностью прогнозировать погоду, которая поразила бы Эббе. Мы воспринимаем ежедневные прогнозы как нечто само собой разумеющееся, но этот подвиг на стезе предсказания поистине выдающийся. Маркус Коверт из Стэнфордского университета, разработавший виртуальные клетки, заметил: «Прогнозирование таких бедствий, как ураган «Сэнди», за десять дней до выхода на берег — с соответствующей эвакуацией сотен жителей, спасающей как жизни, так и имущество, — возможно, стоит причислить к величайшим техническим триумфам в истории человечества» [9].

¹ Тим Палмер, электронное письмо Питеру Ковени, 2 июня 2021 г.

Что касается прогнозов климата, разрабатываются планы по созданию «цифрового двойника» Земли, который будет моделировать атмосферу, океан, ледники и сушу с разрешением в 1 км, предоставляя прогнозы рисков наводнений, засух и пожаров, а также океанских вихрей, которые перемещают тепло и углерод по планете. Эта европейская модель (Destination Earth) объединит другие данные, такие как использование энергии, структуру дорожного движения и перемещения людей (отслеживаемые с помощью мобильных телефонов), чтобы показать, как изменение климата повлияет на общество и как общество может изменить его траекторию во времени, которое некоторые уже называют антропоценом — геологической эпохой, когда человеческая деятельность оказывает значительное влияние на нашу планету [10].

Подробности создания цифрового двойника планеты Земля ошеломляют. Возьмем, к примеру, облака. Они состоят из воды, которая также является основным компонентом человеческого тела (около 68 %) [11]. Однако, в отличие от нас, облака кажутся простыми — огромные шлейфы капель воды или кристаллов льда, плывущие по небу. Их формирование имеет решающее значение для нашей способности предсказывать погоду, важно для нашего понимания последствий глобального потепления и занимает центральное место в спорных схемах сдерживания изменения климата с помощью геоинженерии [12].

От пучков кучевых облаков причудливых форм до огромных серых пластов — облака являются прекрасным примером того, как сложность может возникнуть из простоты — капель воды, переносимых воздушными потоками в результате конвекции. Когда эти капли конденсируются внутри облаков, выделяется немного тепла, что поддерживает облака в воздухе. На больших высотах, где температура падает значительно ниже нуля, капли превращаются в кристаллы льда, придавая облакам тонкий, перистый вид.

Внутри облака процессы наименьшего масштаба управляют образованием капель. Но, хотя эти особенности и взаимодействия микроскопичны, они имеют крупномасштабные макроскопические эффекты. Чем меньше и многочисленнее

капельки, тем сильнее рассеивается свет. На уровне микрометров турбулентность ускоряет образование облаков и вызывает ливни [13]. Крупномасштабные движения воздуха могут создать обширные облачные системы, которые могут охватить весь континент. Отражая свет в космос, облака могут охлаждать поверхность Земли, поэтому некоторые считают, что их следует возвращать, чтобы помочь обуздать безудержное глобальное потепление [14].

По существу, все законы, лежащие в основе формирования облаков, известны, поэтому мы должны быть в состоянии представить, как они развиваются, с помощью известных математических уравнений. Мы надеемся добиться того же для виртуальных людей, вплоть до последней молекулы воды. Это кажется настоящей фантастикой, но оптимизм по поводу способности математики описать теплый, сложный и динамичный мир тела, существует не первое столетие. Английский врач Уильям Гарвей (1578–1657) в своей демонстрации кровообращения опирался на расчеты [15], а в 1865 г. французский физиолог Клод Бернар (1813–1878) заявил, что «применение математики к природным явлениям является целью всей науки» [16].

Наша способность создать виртуальную копию человека зависит от описания тела языком математики. Несмотря на то что работа еще продолжается, уравнения, написанные с использованием математического анализа и выражающие скорость изменений, уже могут отображать сложные процессы, открытые молекулярными биологами, клеточными биологами и многими другими представителями биологических наук. Эти математические выражения — обычные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных — могут в любой момент описать, как меняется кровяное давление в зависимости от того, где в организме вы проводите измерения, или движение электрического импульса, проносящегося по нейрону в мозге, или насколько быстро вирус проникает в дыхательные пути человека.

Чтобы заставить эти уравнения работать, все, что нужно для начала расчетов, — это граничные условия для рассматриваемой задачи. Под условиями может подразумеваться состояние

нейрона или инфицированной клетки в данный момент или в различные промежутки времени, скорость их изменения в различные моменты времени или верхний и нижний пределы данной величины. Эти условия привязывают математику к реальности, поэтому мы можем делать прогнозы о теле или «медицинские прогнозы» по аналогии с погодой.

Но хотя мы признаем, что законы природы универсальны, в ключевом и практическом смысле науки о жизни, — под которыми мы подразумеваем биологию и медицину, — весьма отличаются от физических наук — физики и химии, — которые мы используем для описания облаков. Они более эмпиричны, больше зависят от измерений и экспериментов и до сегодняшнего дня меньше всего зависели от теоретического понимания.

Теория (то есть математическое представление законов природы) в медицине и биологии играет меньшую роль. Даже теория эволюции Дарвина — Уоллеса, которую некоторые считают величайшей научной теорией из всех, не допускает математического описания. Может показаться шокирующим, но реальность такова: хотя с XIX в., когда Грегор Мендель изучал горох, были сделаны основные предсказания о закономерностях наследования, ход эволюции невозможно предсказать каким-либо количественным способом [17].

Некоторые влиятельные фигуры слишком хорошо осведомлены об этом недостатке. Пол Нерс, директор Института Фрэнсиса Крика в Лондоне и бывший помощник редактора *Journal of Theoretical Biology*, рассказал нам, как ему надоело читать статьи, в которых умные технологии используются для проведения измерений, но «почти не приводят к каким-либо значимым выводам»¹. В обзорной статье для журнала *Nature* он процитировал Сиднея Бреннера (1927–2019), своего старого друга и коллегу-нобелевца: «Мы тонем в море данных и жаждем знаний» [18]. Нерс жаловался, что важностью теории и принципами жизни пренебрегают в пользу зубрежки фактов,

¹ Пол Нерс, интервью с Питером Ковени и Роджером Хайфилдом, 25 сентября 2021 г.

Научно-популярное издание
Танымал ғылыми басылым

Питер Ковени, Роджер Хайфилд

ВИРТУАЛЬНЫЙ ТЫ

Как создание цифровых близнецов
изменит будущее человечества

Ответственный редактор *М. Исаева*
Редактор *К. Загайнов*
Художественный редактор *Ю. Меньшикова*
Технический редактор *К. Кочурина*
Корректоры *Е. Шумская, О. Левина*
Верстка *Л. Харченко*

Подписано в печать / Баспаға қол қойылды 30.10.2024.

Формат 72×100^{1/16}. Гарнитура «Filosofia».

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 49,21.

Тираж 2000 экз. W-SCI-32786-01-R. Заказ №

Изготовитель: ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» – обладатель товарного знака «КоЛибри» 115093, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Даниловский, пер. Партийный, д. 1, к. 25 Тел. (495) 933-76-01, факс (495) 933-76-19 E-mail: sales@atticus-group.ru	Өндіруші: «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» ЖШҚ – «КоЛибри» тауар белгісінің иесі, 115093, Мәскеу, қ. іш. аум. Даниловский муниципалдық округі, Партийный т.ш., 1-үй, к. 25 Тел. (495) 933-76-01, факс (495) 933-76-19 Эл. поштасы: sales@atticus-group.ru
Филиал ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» в г. Санкт-Петербурге 191024, Санкт-Петербург, Херсонская ул., д. 12–14, лит. А Тел. (812) 327-04-55 E-mail: trade@azbooka.spb.ru	Санкт-Петербург қаласындағы «Азбука-Аттикус» Баспа Тобы» ЖШҚ филиалы, 191024, Санкт-Петербург, Херсон көшесі, 12–14 үй, лит. А Тел. (812) 327-04-55 Эл. поштасы: trade@azbooka.spb.ru
www.azbooka.ru; www.atticus-group.ru	www.azbooka.ru; www.atticus-group.ru
Отпечатано в России.	Ресейде басып шығарылған.

Техникалық реттеу туралы РФ заңнамасына сай басылымның сәйкестігін
растау туралы мәліметтерді мына адрес бойынша алуға болады:
<http://atticus-group.ru/certification/>.

Знак информационной продукции (Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.)
Ақпараттық өнім белгісі (29.12.2010 ж. № 436-ФЗ федералдық заң)

