

ЖИВОЕ И НЕЖИВОЕ

В ПОИСКАХ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИЗНИ

КАРА ЦИММЕР



Посвящается Грейс, любви и жизни моей

LIFE'S EDGE

THE SEARCH FOR WHAT IT MEANS TO BE ALIVE

Carl Zimmer



DUTTON

КАРА ЦИММЕР

**ЖИВОЕ
И НЕЖИВОЕ**

**В ПОИСКАХ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИЗНИ**

Перевод с английского



Книжные проекты
Дмитрия Зими́на

АНО
альпина нон-фикшн

Москва, 2022

УДК 573.4
ББК 28.01
Ц61

Переводчик Мария Елифёрова
Научный редактор Елена Наймарк, д-р биол. наук
Редактор Анастасия Росточкая

Ц61 **Циммер К.** Живое и неживое: В поисках определения жизни / Карл Циммер ;
Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2022. — 370 с.

ISBN 978-5-00139-472-3

Как отличить живое от неживого? Где пролегает граница между ними? На первый взгляд, детские вопросы. И тем не менее уже много столетий ученые и философы не могут прийти к удовлетворяющему всех ответу. Этой теме — что такое жизнь — и посвящена новая книга Карла Циммера. Автор полагает, что нет другого объекта научного познания, которому было бы дано столь много определений. И существует ли единственное и безусловно верное? Ведь проявлений жизни великое множество. Вирус COVID-19 изменил наш мир, но можно ли его считать живым? А эритроцит или сорванное с дерева яблоко? Оплодотворенная яйцеклетка — живая? Можно ли констатировать смерть человека, мозг которого умер, но тело функционирует? Как зародилась жизнь на Земле и пойдем ли мы, что инопланетяне живые, когда наконец встретимся с неземными формами существования? Темные вопросы! Блестящий популяризатор науки, уже полюбившийся русскоязычной аудитории, приглашает читателя на поиски ответов.

Удастся ли их найти, достигнет ли автор своей цели? Нас ждет поистине интригующее повествование!

УДК 573.4
ББК 28.01

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу tylib@alpina.ru

ISBN 978-5-00139-472-3 (рус.)
ISBN 9780593182710 (англ.)

© Carl Zimmer, 2021
© Издание на русском языке, перевод,
оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2022



Книжные проекты
Дмитрия Зими́на

Эта книга издана в рамках программы
«Книжные проекты Дмитрия Зими́на»
и продолжает серию «Библиотека «Династия».

Дмитрий Борисович Зимин —
основатель компании «Вымпелком» (Beeline),
фонда некоммерческих программ
«Династия» и фонда «Московское время».

Программа «Книжные проекты Дмитрия Зими́на»

объединяет три проекта, хорошо
знакомые читательской аудитории:
издание научно-популярных переводных
книг «Библиотека «Династия»,
издательское направление фонда «Московское
время» и премию в области русскоязычной научно-
популярной литературы «Просветитель».

Подробную информацию
о «Книжных проектах Дмитрия Зими́на»

вы найдете на сайте

ziminbookprojects.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Пограничье 9

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ШЕВЕЛЕНИЕ ПЛОДА

Откуда дыхание жизни приходит в тело младенца 23
Сопrotивление смерти 54

ЧАСТЬ ВТОРАЯ ПРИМЕТЫ ЖИЗНИ

Кушать подано 81
Решительная материя 93
Поддержание постоянства условий жизни
во внутренней среде 104
Копировать/вставить 116
Легкие по Дарвину 124

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ РЯД ТЕМНЫХ ВОПРОСОВ

Чудеса размножения 141
Раздражимость 149
Секта 157

Эта грязь и вправду была живая	165
Игра воды	180
Программы	194

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ ВОЗВРАЩЕНИЕ В ПОГРАНИЧЬЕ

Полужизнь	215
Данные для проекта	227
Не видно кустов	259
Четыре голубые капельки	276
Примечания	301
Библиография	312
Благодарности	347
Предметно-именной указатель	350

ВВЕДЕНИЕ

ПОГРАНИЧЬЕ

Осенью 1904 г. в Кавендишской лаборатории проводились любопытные эксперименты¹. Облака ртути колыхались от синих вспышек молний. Свинцовые цилиндры плясали на медных дисках. В увитое плющом здание на Фрискул-лейн, уютно расположившееся в самом сердце Кембриджа, мечтал попасть каждый физик — и отнюдь не только английский. Там можно было поиграть с фундаментальными составляющими Вселенной. Среди множества магнитов, батарей и вакуумных трубок легко было проглядеть притулившееся немного в стороне оборудование для одного небольшого опыта — заткнутую ваткой пробирку с несколькими ложками студенистого бурого бульона.

Но в этой пробирке что-то зарождалось. Через несколько месяцев весь мир с придыханием заговорит об этом эксперименте. Газеты будут прославлять его как одно из величайших достижений в истории науки. То, что росло в пробирке, один журналист назовет «самой примитивной формой жизни — недостающим звеном между неорганическим и органическим миром»².

Эту «самую примитивную» жизнь создал физик 31 года от роду по имени Джон Батлер Бёрк³. На фотографиях того времени маль-

чишеское лицо Бёрка выглядит немного грустным. Он родился в Маниле, его мать была филиппинкой, а отец — ирландцем. Еще ребенком его перевезли в Дублин, чтобы в школу он пошел там, а по ее окончании Бёрк поступил в Тринити-колледж, где изучал рентгеновские лучи, динамо-машины и таинственные искры, сыплющиеся из сахара. Колледж наградил Бёрка золотой медалью по физике и химии. Один профессор отзывался о нем как о человеке, «заражающем других энтузиазмом, подобным тому, с которым сам занимается исследованиями»⁴. Закончив учебу, молодой физик переехал из Ирландии в Англию, где начал преподавать в нескольких университетах. Отец его вскоре умер, а мать — «весьма состоятельная старушка»⁵, как позже называл ее Бёрк, — обеспечила сыну щедрое содержание. В 1898 г. Бёрк пришел работать в Кавендишскую лабораторию.

Именно здесь — и больше нигде в мире — физикам удалось столь многое узнать о материи и энергии за столь короткое время. Самым свежим на тот момент триумфальным достижением (оно принадлежало директору лаборатории Джозефу Джону Томсону) было открытие электрона. В свои первые годы в лаборатории Бёрк продолжал работу Томсона, проводя собственные эксперименты с таинственными заряженными частицами и исследуя свечение облаков газа под воздействием электронов. Но потом он соблазнился иной загадкой. Подобно другим молодым физикам Кавендишской лаборатории, Бёрк увлекся экспериментами с новым светящимся элементом — радием.

В 1896 г., незадолго до описываемых событий, французский физик Анри Беккерель первым обнаружил, что обычная материя может излучать необычную форму энергии. Соли урана, завернутые в черную ткань, создавали смутное изображение на лежащей рядом фотопластинке. Вскоре стало ясно, что этот элемент непрерывно испускает какие-то активные частицы. Чтобы проверить наблюдения Беккереля, Мария и Пьер Кюри извлекли уран из минерала уранинита*. В ходе работы они обнаружили, что часть энергии излучается каким-то другим элементом. Они

* Ранее его называли «настуран», а также «смоляная обманка». — *Прим. пер.*

назвали его радием, а новую форму энергии окрестили радиоактивностью.

Радий испускал так много энергии, что разогревался. Если ученые помещали кусочек радия на лед, то он мог растопить столько же льда, сколько весил сам. Когда супруги Кюри смешивали радий с фосфором, тот под действием радиоактивности начинал светиться в темноте. Новости о редком, необычном веществе широко распространились и произвели фурор. Выступающие на сценических площадках нью-йоркских казино танцовщицы надевали покрытые радием костюмы, чтобы сиять в полумраке. Публика гадала, не станет ли радий опорой цивилизации. «Неужели сбывается заветная мечта алхимиков — светильник, дающий неугасимый свет без расхода масла?»⁶ — задумывался в те дни некий химик. Кроме того, считалось, что радий обладает животворной силой. Садовники опрыскивали им цветы в убеждении, что те будут лучше расти. А кое-кто пил «жидкий солнечный свет» в надежде исцелиться от всех болезней, даже от рака.

Но жизнь Марии Кюри унесет в 1934 г. именно рак, чему, вероятно, стала причиной ее почти ежедневная работа с радием и другими радиоактивными элементами. В наши дни, полностью осознавая смертельную опасность радиации, мы едва ли в состоянии представить себе, как кому-то могло прийти в голову, будто радий обладает животворными свойствами. Но в начале XX в. наука удивительно мало знала о природе живого. Было известно лишь, что она таится в желеобразном веществе внутри клетки, которое тогда называли протоплазмой, каким-то образом заставляет клетки собираться в живые организмы и передается из поколения в поколение. Надежных знаний, помимо этих, было мало, и приветствовались любые идеи.

Бёрку жизнь и радиоактивность представлялись глубоко сходными явлениями. Подобно тому как гусеница становится бабочкой, атом радия обладал способностью к превращению, которая будто бы имела внутреннюю природу. «Он меняет свою сущность (в некотором смысле он живет) и все же вечно остается собой, — заявлял Бёрк в журнальной статье 1903 г. — Непреодолимая грань, которая, по мнению биологов, разделяет живую и так называемую мертвую материю, должна быть, таким обра-

зом, отброшена как несуществующая... Вся материя живая — вот мой тезис»⁷.

Здесь Бёрк выступал как ученый, а не как мистик. Он предостерегал: «Нам нужна осторожность, дабы воображение не унесло нас в области чистой фантазии, на высоты, недоступные проверке с помощью экспериментальных данных». Для доказательства своего утверждения Бёрк задумал поставить опыт: он решил использовать радий с целью создания живого из неживой материи.

Чтобы осуществить сей акт творения, Бёрк сварил говяжий бульон и добавил туда поваренной соли с желатином. Небольшое количество получившегося отвара он влил в пробирку и поставил на огонь. Дополнительное нагревание разрушило все коровьи или микробные клетки, которые могли еще сохраниться в жидкости. Все, что осталось, — это стерильный бульон, состоящий из разрозненных неживых молекул.

Бёрк поместил немного соли радия в крошечную герметично закрывающуюся склянку, подвешенную над остывшим и застывшим в желе отваром. Склянку обвивала платиновая проволока, один конец которой был пропущен через отверстие в стенке. Эксперимент начался так: Бёрк дёрнул за свободный конец проволоки и склянка лопнула. Радий упал на желе.

Бёрк оставил свой радиоактивный холодец постоять целую ночь и на следующее утро заметил, что тот изменился: на его поверхности образовалось какое-то мутное нарастание. Бёрк взял образец этого нарастания, чтобы проверить, нет ли там бактерий. Он поместил его в чашку Петри с питательной средой для микробов. Если в нарастании есть какие-либо бактерии, они начнут питаться, размножаться и образуют колонии, которые удастся разглядеть.

Но колоний не образовалось. Бёрк заключил, что выросший слой состоит из чего-то другого. Взяв еще один образец мутного нарастания, он размазал его по предметному стеклу и поместил под микроскоп. Теперь исследователь увидел, что нарастание содержит россыпь пятнышек, более мелких, чем бактерии. Через несколько часов оказалось, что они исчезли. Но на следующий день пятнышки появились вновь, и Бёрк принялся их зарисовывать, фиксируя увеличение размеров и изменение очертаний. Еще через несколько дней пятнышки превратились в шарики

с внутренними ядрами и внешними оболочками. Они вытягивались в гантели. Они раздувались и распускались в миниатюрные цветы. Они делились. А затем, через две недели, они распались. Можно сказать, умерли.

Зарисовывая изменчивые формы этих объектов, Бёрк убедился, что это не бактерии. Дело даже не в том, что объекты оказались слишком малы, чтобы быть бактериями. Просто, когда исследователь поместил образцы в воду, они растворились — с бактериями такого не бывает. Однако Бёрк не сомневался, что эти комочки с добавкой радия не кристаллы и вообще не принадлежат ни к одной известной форме неживой материи. «Они с полным правом могут быть причислены к живой природе»⁸, — заключил Бёрк. По его утверждению, он создал «искусственную жизнь» — существ, обитающих на самых дальних границах царства живого. Исследователь дал им имя в честь породившего их элемента — радиобы.

Бёрк мог лишь гадать, как именно ему удалось получить своих радиобов. Должно быть, упав на бульонный студень, радий дал молекулам силу роста, организации и воспроизводства. «Составные компоненты протоплазмы содержатся в бульоне, — писал ученый позже, — но жизненный флюид находится в радию»⁹.

В декабре того же года сотрудники Кавендишской лаборатории отметили открытие Бёрка на ежегодном банкете, проходившем в скрытом от чужих глаз зале одного из кембриджских ресторанов. Облаченные во фраки, ученые декламировали вирши, сочиненные физиком Фрэнком Хортоном, громко распевая «Атом радия»¹⁰ на мотив старой песенки из варьете:

Я бедненький атом радия,
В обманке родился на свет,
Но скоро я стану гелием —
Увянет энергии цвет*.

Далее физики пели о гамма- и бета-лучах, испускаемых радием, а затем переходили к опыту Бёрка:

* Здесь и далее, если не указано иначе, перевод строф выполнен М. Елифёровой.

Я, говорят, создатель живого,
Зверей, мол, из глины лепил,
И, говорят, из бульона мясного
Я жизнь на Земле сотворил*.

Через пять месяцев, 25 мая 1905 г., Бёрк опубликовал свой первый отчет о радиобах в журнале *Nature*¹¹. Описание эксперимента он украсил тремя нечеткими зарисовками «высокоорганизованных телец». В конце статьи Бёрк и окрестил эти тельца радиобами, что, по его словам, «указывало как на их сходство с микробами, так и на их иную природу и происхождение».

К Бёрку валом повалили представители прессы, но поначалу исследователь успешно уклонялся от того, чтобы делать громкие заявления о своем открытии. Однако журналисты подточили его сдержанность, словно термиты трухлявое дерево. Указывая, что радиоактивные минералы, по последним данным, удивительно широко распространены, Бёрк выдвинул гипотезу, будто радиобы населяют всю планету. «Возможно, таким образом на Земле и зародилась жизнь»¹², — сказал он одному репортеру.

Публика приняла это с энтузиазмом. «Радий раскрыл тайну жизни?»¹³ — задавалась вопросом газета *The New York Times*. Бёрковы радиобы, восхищенно писало издание, словно «колебались между инертностью неодушевленного существования и непривычным трепетом нарождающейся жизненности».

Пресса сделала Бёрка столь же знаменитым, как и его радиобы. «О Джоне Батлере Бёрке в одночасье стали говорить больше, чем о каком-либо другом ученом в Великобритании»¹⁴, — писала другая газета, *The New York Tribune*. Лондонская *The Times* провозгласила его «одним из самых блестящих наших молодых физиков», совершившим «одно из величайших открытий всех времен»¹⁵. По мнению другого британского автора, «мистер Бёрк внезапно приобрел такую славу, какая в этой стране обычно достается лишь выдающимся спортсменам»¹⁶. Как позже вспоминал сам ученый, письма с вопросами о радиобах шли к нему «из самых отдаленных уголков мира».

* Пер. науч. ред. Е. Наймарк.

Бёрк почивал на лаврах. Вместо того чтобы продолжать эксперименты в Кавендишской лаборатории, он разъезжал с лекциями, демонстрируя свои предметные стекла. Популярные журналы щедро платили ему за публикации. Один из них — *The World's Work** — даже сравнивал Бёрка с Дарвином. Как заявило это издание, радиобы «вызвали, вероятно, больше споров, чем любое другое событие в истории науки со времени выхода в свет “Происхождения видов”»¹⁷. В 1859 г. Чарльз Дарвин изложил теорию эволюции живого. Теперь, через без малого столетие, Бёрк бился над еще более значительной тайной — тайной самой жизни. Одно из ведущих лондонских издательств, Chapman and Hall, заключило с Бёрком договор на книгу о его теории. Труд «Происхождение жизни: ее физическая основа и определение» (*The Origin of Life: Its Physical Basis and Definition*)¹⁸ вышел в свет в 1906 г.

От первоначальной осторожности Бёрка не осталось и следа. В своей книге он разглагольствовал о свойствах живой материи, о «пограничной зоне между царствами минералов и растений», о ферментах и клеточных ядрах, о собственной электрической теории материи и о каком-то «веществе мысли». Это вещество Бёрк беспомощно охарактеризовал как «восприятие в мировом сознании, образующее “великий океан мысли”, в котором мы обитаем, передвигаемся и обладаем бытием»¹⁹.

И с этого высказывания для Бёрка началось его падение Икара. Вскоре последовал вал разгромных отзывов на «Происхождение жизни»; рецензенты высмеивали самомнение автора. Физик взялся рассуждать о природе живого, не зная даже разницы между хлорофиллом и хроматином. По замечанию одного из рецензентов, «в биологии он решительно не силен»²⁰.

Вскоре последовал еще более убийственный отзыв — от коллеги Бёрка. Это был Уильям Артур Дуглас-Рудж, который тоже несколько лет проработал в Кавендишской лаборатории. Он решил самостоятельно воспроизвести эксперименты Бёрка с радиобами и придумал, как сделать их более строгими, в част-

* Ежемесячный журнал о бизнесе, издавался с 1900 по 1932 г. — *Прим. пер.*

ности провести отдельно опыты с водой из-под крана и с дистиллированной водой. В отличие от Бёрка, который, по словам Руджа, «просто рисовал»²¹, он задокументировал свои результаты с помощью фотографий. Сварив студень на дистиллированной воде, Рудж обнаружил, что радий не подействовал никак. В студне же на воде из-под крана Рудж нашел некие объекты странной формы, но никаких признаков «жизнеподобных» радиобов, зарисованных Бёрком.

Бёрк попытался выставить Руджа дилетантом, но другие ученые сочли, что отчет Руджа Королевскому обществу закрыл тему радиобов. «Мистер Рудж провел эксперименты, которые мистериу Бёрку следовало бы давно провести самому, — заявил Норман Роберт Кэмпбелл, физик из Кавендишской лаборатории. — Мистер Рудж предоставил убедительные доказательства того, что “клетки”, или радиобы, суть не что иное, как пузырьки воды, возникшие в желе под воздействием солей»²².

В сентябре 1906 г. Кэмпбелл выступил в печати с яростными нападками на Бёрка. По форме это была рецензия на «Происхождение жизни», но по сути — волчий билет. «Мистер Бёрк не учился в Кембридже, а пришел туда для продолжения образования после двух других университетов, — саркастически писал Кэмпбелл. — Утверждение, будто он “сотрудник Кавендишской лаборатории”, в отношении его новейших публикаций вводит в заблуждение. Несколько лет назад он действительно выполнял там кое-какие исследования по физике; но на момент своих штудий в области биологических свойств радиобов он всего лишь хранил пробирки с “инкубировавшимися” тельцами в том помещении, где работал прежде».

Примерно в это же время Бёрк оставил работу в Кавендишской лаборатории. Ушел он сам или его «ушли» — неизвестно. В декабре 1906 г. сотрудники лаборатории по обыкновению собрались на банкет отмечать итоги года. У них было что отпраздновать: Томсон только что получил Нобелевскую премию. Но вокальный опус 1906 г. оказался не гимном во славу электрона. Вместо него математик Альфред Артур Робб сочинил песенку на мотив арии «Влюбленная золотая рыбка» из оперетты «Гейша» (1896). Она была озаглавлена «Радиоб»²³.

Болтался в супе радиоб —
 Таков его удел,
 И вот, взглянувши в микроскоп,
 Джон Батлер Бёрк воскликнул: «Оп!» —
 Когда его узрел.
 «Се радиоб; он знак бесспорный
 Природной силы животворной,
 А также, — заметил он сам себе, —
 Знак гениальности Джона Б. Б.!»

В дальнейшем Бёрка ожидало лишь затяжное падение, завершившееся его смертью 40 лет спустя, в 1946 г. После того как исследователь ушел из Кавендишской лаборатории, его больше никогда не приглашали на мало-мальски солидную преподавательскую должность. Журналы утратили интерес к его идеям. Бёрк написал две пространных рукописи, но очень долго не мог найти издателя. Его доход от лекций и публикаций иссяк как раз к тому моменту, когда мать решила урезать ему содержание. Во время Первой мировой войны Бёрку удалось найти работу, просто чтобы держаться на плаву, — техническая проверка самолетов, — однако через несколько месяцев ему пришлось уволиться из-за слабого здоровья. В 1916 г. он вымаливал у Королевского литературного фонда заем, чтобы спастись от «угрожающего банкротства»²⁴. Просьбу отклонили.

В молодые годы Бёрку казалось, что еще чуть-чуть — и он даст определение жизни, очертит ее границы. Но сложилось иначе: жизнь очертила границы Бёрку. В 1931 г., когда минула четверть века с момента его недолгой славы, он издал свой сомнительный главный труд — «Возникновение жизни» (The Emergence of Life). Получилась невразумительная каша. «Бёрка понесло»²⁵, — писал впоследствии историк Луис Кампос. В этой книге Бёрк продемонстрировал свое увлечение левитацией и прочими паранормальными явлениями. Он оставался ярким сторонником своих радиобов, о которых остальной мир давно забыл. Он утверждал, что жизнь зародилась из «временных волн», которые, по его словам, распространяются между частицами сознания, составляющими Вселенную.

Чем больше Бёрк размышлял о жизни, тем меньше понимал ее. В одном из абзацев книги «Происхождение жизни» он дает ей определение, которое больше похоже на крик о помощи: «Жить — это быть»²⁶.

В юности я даже не слышал о Джоне Батлере Бёрке. Учебники предлагали стандартный пантеон биологов, включавший в себя в основном тех, чьи идеи оказались верными: Дарвина с его эволюционным деревом, Менделя с его генами гороха, Луи Пастера с его болезнетворными микробами. Так проще — галопом по заданному маршруту от героя к герою, игнорируя на этом пути заблуждения, неудачи, померкшую славу.

Даже когда я уже начал популяризировать биологию, мне по-прежнему ничего не было известно о Бёрке. Мне выпало счастье познакомиться со множеством форм жизни и множеством ученых, которые ими занимаются. Я вылавливал миксин в Северной Атлантике, пускался в пешие походы по сосновым лесам Северной Каролины, чтобы отыскать дикорастущую венерину мухоловку, наблюдал орангутанов, нежащихся высоко в ветвях суматранских джунглей. Исследователи делились со мной своими открытиями по поводу удивительной слизи, которую выделяют миксины, ферментов, с помощью которых хищные растения переваривают насекомых, орудий, которые орангутаны делают из палок.

Подобные лучи научных озарений яркие, но лишь потому, что узкие. У того, кто проводит всю жизнь, наблюдая орангутанов, нет времени становиться специалистом по венериным мухоловкам. Венерины мухоловки и орангутаны обладают важнейшим общим признаком: они живые, и тем не менее, когда спрашиваешь биологов, что значит быть живым, разговор не клеится. Они мнутя, мямят или предлагают шаткое определение, которое не выдерживает даже элементарной критики. Большинство биологов в своей ежедневной рутинной работе попросту не особо задаются этим вопросом.

Такая отстраненность с давних пор остается для меня загадкой, ведь вопрос, что значит быть живым, подобно подземной

реке, пропитывал основу науки на протяжении четырех столетий ее истории. Когда натурфилософы задумались о мире, состоящем из материи в движении, они поставили вопрос: что отличает жизнь от всего остального во Вселенной? Поиск ответа принес ученым много открытий, но вместе с тем и много конфузов. Бёрк был отнюдь не единственным примером. Так, в 1870-х гг. ряд ученых пришел к убеждению, что дно океанов покрыто сплошным ковром пульсирующей протоплазмы. Более чем полторы сотни лет спустя, с учетом всех накопленных к настоящему моменту знаний о живых организмах, биологи все еще не могут прийти к согласию по поводу того, как же определить живое.

Вконец озадаченный, я пустился в путь. Я начал его из самого сердца владений жизни — с того, в чем каждый из нас абсолютно уверен: что мы живы, что мы наделены жизнью, крайними точками которой являются рождение в начале и смерть в конце. Тем не менее мы скорее чувствуем, ощущаем нашу собственную жизнь, нежели понимаем ее головой. Мы также знаем, что другие существа, например змеи и деревья, тоже живые, хотя и не можем у них об этом спросить. Здесь мы скорее полагаемся на видимые признаки, общие для всех живых существ. Я сделал обзор этих признаков с учетом тех созданий, что демонстрируют их в самых ярких, самых радикальных проявлениях. В конце концов странствия привели меня к краю живого²⁷, в туманное пограничье между живым и неживым, где я узнал о некоторых — но не всех — вариациях признаков живого. Именно там я в конце концов натолкнулся на упоминание о Джоне Батлере Бёрке и счел, что он вполне заслужил место в нашей памяти. Именно там я встретил его научных преемников, которые все еще пробираются ощупью вдоль самой границы жизни, пытаясь определить, как зародилась жизнь или насколько причудливой она может оказаться в других мирах.

Возможно, когда-нибудь человечество построит карту, которая облегчит путь к разгадке. Не исключено, что через несколько столетий люди будут с изумлением оглядываться на наши представления о живом и удивляться, как мы могли быть настолько ограниченными. Мы сегодня смотрим на жизнь примерно так же, как четыреста лет назад глядели на ночное небо. Люди видели вверху

таинственные огоньки, блуждавшие и вспыхивавшие во мраке. Некоторые астрономы того времени уже начали высказывать первые предположения, почему огоньки следуют по определенным траекториям, но многое из тогдашних объяснений оказалось впоследствии неверным. Когда же вверх глядели следующие поколения, они видели уже не огоньки, а планеты, кометы и красные гиганты, подчиняющиеся одним и тем же законам физики, в основании которых лежит одна и та же теория. Неизвестно, когда будет создана теория живого, но можно по крайней мере надеяться, что это произойдет на нашем веку.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ШЕВЕЛЕНИЕ ПЛОДА

ОТКУДА ДЫХАНИЕ ЖИЗНИ ПРИХОДИТ В ТЕЛО МЛАДЕНЦА

Спускаясь узкой тропой по левую сторону песчаного вала, утыканного мелкими пучками шалфея, я остро чувствовал собственную жизнь. Ногами я ощущал ужасную крутизну склона. Через несколько резких поворотов тропинки дюна сгладилась, и глазам открылся вытянутый безлюдный пляж. Он уходил на север полоской побережья между высокими обрывистыми скалами и Тихим океаном. Солнце над поверхностью воды спряталось за белыми облаками, заполнившими все небо. Утром в гостиничном номере мобильник сообщил мне прогноз погоды: пасмурно, чуть выше 20 °С. Мой мозг отреагировал на эту информацию, выбрав для моей прогулки по берегу легкую рубашку с длинными рукавами. Теперь он сам уточнял свое решение, не сверяясь с сознанием.

Нервные окончания, рассеянные по моей коже, ощущали влажность и температуру окутывавшего тело слоя воздуха. Электрические импульсы бежали от них по длинным веточкам — дендритам, пока не достигали тела нейрона или его сомы. Оттуда уже новые сигналы пускались в путь, они перемещались, словно по кабелям, по длинным выростам — аксонам. Аксоны доходили до моего позвоночника и поднимались вверх к голове. Так от нейрона к нейрону сигналы из внешнего мира пробирались в мозг и в конце концов попадали в комочек нейронов в глубине моего черепа.

В этом комочке телеграфные сообщения со всего моего тела собирались и расшифровывались для генерации новых сигналов,

другого типа. На этот раз нейроны передавали уже не ощущения, а команды. Обновленные электрические импульсы потекли от моего мозга по направленным наружу аксонам через ствол мозга, вниз по спинному мозгу и наконец достигли миллионов желез в моей коже. Там они создали электрический заряд в скрученных трубочках, а те выдавили воду из окружающих клеток. По моей спине заструился пот.

Мое сознательное «я» разозлилось на мозг, который это устроил. У меня с собой было не так уж много рубашек, и вот теперь одна из них оказалась мокрой и соленой. Я не мог непосредственно ощущать трепет электрических импульсов, снующих с посланиями от кожи к мозгу. Я не ощущал прилива крови в глубине моей головы, когда работала терморегулирующая область мозга. В этот момент на берегу моря я просто ощутил, что вспотел. Я ощутил, что злюсь. Я ощутил, что живу.

Осознав собственное существование, я заметил на пляже и других живых существ. В южном направлении неспешно брел какой-то человек с бело-голубой доской для серфинга. Далеко на севере с вершины утеса взлетал парапланерист. Маневры желтого крыла его летательного средства говорили о намерениях, которые возникают в человеческом мозгу и отправляют сигналы рукам, сжимающим клеванты.

Помимо человеческой, я наблюдал и пернатую жизнь. Вдоль полосы прибоя прыгали кулики. Их мозг размером с зернышко воспринимал набегание волны и холодную пену вокруг лапок, заставляя мышцы птичек сокращаться так, чтобы те не упали, смогли перебраться повыше, обшарить песок в поисках зарывшихся улиток. Улитки наделены не мозгом как таковым, а лишь ажурной сетью нервов, подающих собственные команды — медленно, но безостановочно закапываться. Я задумался о скрытых в песке у меня под ногами обладателях тысяч других нервных систем — о червячках, двустворчатых моллюсках и странных киноринхах. А там, в океане, в глубинах подводного каньона крейсировали другие мозги, угнездившиеся в телах куньих акул и скатов-хвостокотов, дрейфовали нервные сети медуз.

Пройдя вдоль полосы прибоя несколько минут, я остановился и посмотрел вниз. На песке лежал гигантский нейрон длиной

более полутора метров. Большую его часть составлял блестящий светло-коричневый аксон. Он был мягко изогнут, словно электрический кабель в толстой изоляции. С одного конца аксон расширялся в луковицеобразную сому, увенчанную, в свою очередь, веточками дендритов. Наверное, это все, что осталось от какого-то кракена, погибшего в бою со стаей косаток где-то между этим местом, где его выбросило на берег, и Гавайями.

На самом деле то был не фантастический нейрон, а водоросль ламинария¹. Ее принесло из подводного леса, кольшущегося в миле от берега. То, что представилось мне аксоном, было стеблем, который еще недавно служил водоросли для прикрепления к морскому дну. А телом нейрона в реальности оказался газовый пузырь, который удерживал водоросль вертикально в подводных течениях. «Дендриты» были ветками, на которых когда-то росли листовые пластины. Эти пластины играли для водоросли роль, подобную той, что играют листья для наземных растений, — они улавливали проходящие сквозь морскую воду малые проблески солнечного света и давали ламинарии энергию, благодаря которой она оказывалась способна потягаться длиной с высокими пальмами, венчавшими горы за моей спиной.

В строении этой водоросли имелась известная сложность, что свойственно живым существам. Но, разглядывая ее, я не мог определить, жив еще данный обрывок ламинарии или нет. Я не мог спросить ее, как она поживает. У нее не было пульса, который можно пощупать, не было легких, заставляющих грудную клетку вздыматься и опускаться. Но водоросль все еще блестела, ее поверхность была целой. Даже если она уже не могла усваивать солнечный свет, возможно, ее клетки продолжали работать, используя остаток энергии для починки своих генов и мембран. И скоро, может уже сегодня или завтра, эта ламинария умрет.

Но после смерти сразу же вольется в прибрежную жизнь. Микробы начнут поедать жесткие оболочки водоросли. А потом к ним присоединятся рачки-бокоплавы и водорослевые мушки — они вгрызутся в более мягкие части ее слоевища. Позже эти пожиратели сами станут пищей для куликов и крачек. Азот из ламинарии уйдет в землю и удобрит растения. А вспотевшая человеческая особь, чей мозг на этом пляже занят раздумьями о мозге,

унесет в своих нейронах память о сходстве слоевища водоросли с нейроном.

На следующее утро мой маршрут пролегал по верху, по горам. Шоссе Норд-Торри-Пайнс-роуд пересекало район Ла-Хойя калифорнийского города Сан-Диего, уходя на север вдоль чащ нависших башенных кранов. На дороге, забитой в час пик машинами, едва ли кто думал о полоске дикого пляжа, притулившегося совсем рядом внизу. Я перешел обсаженную эвкалиптами автостоянку и подошел к Сэнфордскому* консорциуму по восстановительной медицине — целому комплексу лабораторий и офисов. Войдя в богато остекленное здание, я поднялся в лабораторию на третьем этаже, где меня ждал ученый с аккуратной бородкой по имени Клебер Трухильо, уроженец Бразилии. Мы облачились в халаты и натянули синие перчатки.

Трухильо отвел меня в комнатку без окон, набитую холодильниками, инкубаторами и микроскопами. Он широко раскинул руки в синих перчатках и почти дотянулся до стен. «Тут мы проводим половину рабочего времени», — сказал он.

В этом помещении он в сотрудничестве с аспирантами выращивал особый тип жизни. Трухильо открыл инкубатор и вынул прозрачную пластиковую коробку. Подняв руки повыше, он показал мне ее снизу, со стороны дна. В коробке было шесть круглых ячеек диаметром с печенье, наполненных чем-то вроде разбавленного виноградного сока. В каждой ячейке плавало несколько десятков белесых шариков размером не более мушиной головки.

Каждый шарик состоял из сотен тысяч человеческих нейронов. Каждый развился из единственной клетки-предшественницы. Теперь эти шарики могли делать многое из того, на что способен наш собственный мозг. Они обеспечивали себя энергией, поглощая из той похожей на сок среды питательные вещества. Они поддерживали свои биомолекулы в рабочем состоянии. Они испу-

* Назван в честь Томаса Дэнни Сэнфорда (род. 1935), бизнесмена и филантропа из Южной Дакоты. — *Прим. ред.*

скали электрические сигналы в волнообразном ритме, синхронизируя их с помощью нейромедиаторов. Каждый такой шарик, по-научному органоид, был самостоятельным живым существом, его клетки сплелись в единый коллектив.

«Они тянутся друг к другу», — сказал Трухильо, разглядывая донышки ячеек. Он явно любил свои творения.

Лабораторией, где работал Трухильо, заведовал другой ученый бразильского происхождения — Алиссон Муотри². Переехав в США и став профессором Калифорнийского университета в Сан-Диего, он научился выращивать нейроны. Муотри брал у людей частицы кожи и обрабатывал их химическими составами, превращавшими эти клетки в эмбриональные. Воздействовав потом на клетки другим набором реактивов, он заставлял их развиваться в нейроны. На дне чашки Петри из них могли образовываться бляшки, способные потрескивать электрическими разрядами и обмениваться нейромедиаторами.

Муотри однажды понял, что эти нейроны можно использовать для изучения заболеваний мозга, вызванных мутациями. Вместо того чтобы вырезать кусочки серого вещества из человеческих голов, можно брать образцы кожи тех же людей и перепрограммировать их в нейроны. Для первого исследования он взял клетки пациентов с наследственной формой аутизма — синдромом Ретта. Среди симптомов этого заболевания — умственная отсталость и утрата моторного контроля. И вот нейроны выросли, раскинули свои водорослевые ветви в чашках Петри и вступили в контакт друг с другом. Муотри сравнил их с нейронами, полученными из образцов кожи здоровых людей. Выявились некоторые различия. Самым заметным оказалось то, что нейроны, полученные из клеток пациентов, страдающих синдромом Ретта, образовывали меньше веточек. Возможно, разгадка заболевания — в разреженности нейронной сети, из-за которой обмен сигналами в мозг идет не так, как надо.

Однако Муотри прекрасно понимал, что бляшка нейронов космически далека от мозга. Почти полтора кило мыслящей материи в наших головах можно было бы назвать живым кафедральным собором, если бы тот строил сам себя из своих же камней. Мозг развивается из немногочисленных клеток-пред-

шественниц, которые мигрируют туда, где у зародыша будет голова. Они объединяются в нечто вроде кармашка и затем размножаются. Разрастаясь, эта масса выпускает длинные отростки-канатики во все стороны к формирующимся стенкам черепной коробки. Из массы клеток-предшественниц выделяются другие клетки и двигаются вдоль этих канатиков. В разных точках пути разные клетки будто замирают и начинают разрастаться наружу. Они образуют стопку слоев, известную под названием коры головного мозга³.

В этой внешней коже человеческого мозга протекает львиная доля того особого мышления, которое и делает нас людьми: благодаря ей мы понимаем речь, читаем эмоции на человеческих лицах, вспоминаем прошлое и планируем отдаленное будущее. И все эти мысли, омытые океаном сложных сигналов, порождаются клетками, сформированными в особом пространстве внутри головы.

К счастью для Муотри, ученые придумали новые способы убедить перепрограммированные клетки вырасти в миниатюрные органы. Уже были созданы органоиды легких, органоиды сердца, а в 2013 г. — органоиды мозга⁴. И вот исследователи «уговорили» эти перепрограммированные клетки стать мозговыми клетками-предшественницами. Получив нужные сигналы, эти клетки затем размножились и порождали тысячи новых нейронов. Муотри осознал, что органоиды мозга совершат переворот в его исследованиях. Болезнь типа синдрома Ретта начинает изменять кору мозга уже на самых ранних этапах его развития. Но эти изменения даже специалистам уровня Муотри представлялись черным ящиком. Теперь же исследователь мог выращивать органоиды мозга и наблюдать напрямую за этими трансформациями.

Муотри и Трухильо совместно воспользовались методами, уже созданными другими учеными для выращивания органоидов. Затем бразильцы принялись разрабатывать собственные методы, позволяющие вырастить кору мозга. Было непросто подобрать химический состав, который направил бы клетки-предшественницы на нужный путь развития. Те часто гибли на полдороге, лопаясь и разбрасывая свои молекулярные внутренности. В итоге ученые нашли нужное соотношение реагентов. К своему удивлению,

они увидели, что клетки, стоило им двинуться по верному пути, продолжали развитие уже самостоятельно.

Исследователям больше не нужно было терпеливо добиваться, чтобы органоиды росли. Комочки клеток самопроизвольно раздвинулись и образовали полую трубку. Они выпустили отростки, ответвившиеся от этой трубки, и вдоль этих отростков стали мигрировать другие клетки. На внешней поверхности органоидов даже возникли складки, напоминающие извилины нашего мозга. Теперь Муотри и Трухильо умели делать органоиды мозговой коры, разрастающиеся до сотен тысяч клеток. Их творения жили неделями, потом месяцами, а затем и годами.

«И что самое невероятное — они строят себя сами», — сказал Муотри.

В тот день, когда я приехал в лабораторию, ее заведующий обследовал органоиды, отправленные в космос. Муотри сидел у себя в кабинете, откуда через стеклянную дверь можно было выйти на балкон. Исследователь вел себя добродушно и непринужденно — казалось, он вот-вот устроит себе короткий день, возьмет исцарапанную доску для серфинга, прислоненную к стене у его стола, и направится к морю. И тем не менее он был занят самым невероятным из своих многочисленных экспериментов. Вдали за окном летали парапланы. Но завлабу не было до них дела. Ведь в 400 км у него над головой, на МКС, в металлическом ящике летали сотни выращенных им органоидов мозга. Он хотел знать, как они поживают.

Астронавты, работающие на космической станции, уже много лет проводили опыты по выращиванию клеток на околоземной орбите. Обращаясь вокруг родной планеты в состоянии невесомости, клетки уже не испытывали воздействия гравитации, довлеющей над всей земной жизнью последние 4 млрд лет. Но и микрогравитация, как оказалось, творит странные вещи. В некоторых космических экспериментах клетки росли быстрее, чем на Земле. Порой они становились крупнее. Муотри было любопытно, не разрастутся ли его органоиды на орбите в более крупные кластеры и не станут ли они еще больше похожи на человеческий мозг.

Получив одобрение от NASA, Муотри, Трухильо и их коллеги начали совместно с инженерами проектировать космический

домик для органоидов. Они сконструировали инкубатор, способный питать органоиды и поддерживать нужную среду для их развития. За несколько недель до моего визита Муотри влил свежую партию мини-мозгов во флакон и сунул его в рюкзак. Стоя в очереди на досмотр в аэропорту Сан-Диего, он понятия не имел, как ответить, если его спросят, а что это там в пузырьке. «Тысяча миниатюрных мозгов, выращенных мною в лаборатории, и я собираюсь отправить их в космос»?

Судя по всему, органоиды не привлекли внимания досмотрщиков. Муотри удалось сесть в самолет без проблем. Добравшись до Флориды, он вручил инженерам флакон для отправки его на борту транспортного корабля. Несколько дней спустя исследователь следил за тем, как ракета-носитель SpaceX Falcon 9 взлетает в небо.

Когда груз прибыл на космическую станцию, астронавты забрали инкубатор с органоидами и поместили его в один из отсеков. Там он пробыл месяц. По завершении эксперимента астронавтам следовало залить органоиды спиртом. От этого они погибнут, но зато будет зафиксировано их состояние на момент смерти. Как только, возвращаясь на Землю, органоиды упадут в Тихий океан, их выловят, доставят в лабораторию Муотри, и тогда он сможет изучить клетки и узнать, какие гены включались у них в космосе.

Исход затеи зависел от того, доживут ли органоиды до назначенного срока, а Муотри не знал, удастся ли им это. Чтобы наблюдать за подопытными на протяжении всего их месячного космического полета, он снабдил инкубатор миниатюрными камерами слежения, делавшими снимки через каждые полчаса. МКС передавала снимки на Землю, а Муотри скачивал их через удаленный сервер.

Когда он загрузил первую серию изображений, отснятых в самом начале миссии, оказалось, что они никуда не годятся. Из-за пузырьков воздуха ничего было не разобрать. Три недели исследователь не имел ни малейшего представления, что там с его органоидами. Я смотрел, как Муотри очередной раз подключается к серверу. Он обнаружил новый снимок с МКС и скачал его. Тяжелый файл разархивировался, и на экране, полоска за полоской, проявилось изображение.

— Ого! — воскликнул Муотри и издал недоверчивый смешок. — Я их вижу!

Он приблизил лицо к экрану, вглядываясь в изображение. С полдюжины серых шариков парили на бежевом фоне.

— Ага, все они выглядят вполне нормально, — отметил исследователь. — Круглые, более-менее одинакового размера. Не видно, чтобы они сливались или слипались в кучку.

Он откатился в кресле от компьютера.

— Так что новости хорошие. Я счастлив. Просто фантастика.

Муотри сумел определить, что его органоиды живы, даже когда те находились в космосе.

В конце 2015 г. совместно с Трухильо они впервые получили возможность использовать органоиды, чтобы узнать еще кое-что о мозге. В Бразилии врачи бились над вопросом, почему тысячи младенцев рождаются с тяжелыми нарушениями развития мозга, при которых практически отсутствует его кора. Оказалось, что матери этих детей подхватили вирус Зика, который разносят комары; прежде этот вирус не встречался в Новом Свете. Муотри и Трухильо раздобыли образцы вируса Зика и принялись заражать мозги-органоиды. Их интересовало, появятся ли наблюдаемые изменения.

«Появились, да еще какие!» — сказал мне Муотри.

Вирус Зика тут же разрушал клетки-предшественницы у незрелых органоидов. Без этих клеток органоид оказывался неспособен выпустить канатики и начать формирование коры. Опыты позволили установить, что вирус Зика не убивает кору мозга, а просто изначально не дает ей сформироваться. Как только ученые определили, в чем состоит разрушительное воздействие вируса, они смогли создать лекарства, блокирующие его. Затем последовали испытания этих лекарств на животных, чтобы проверить, смогли ли они защитить мозг от повреждений.

Пошла молва, что Муотри тысячами выращивает суррогаты мозгов. К нему запросились аспиранты и молодые специалисты. Когда они поступали в лабораторию, им приходилось несколько месяцев обучаться у Трухильо сложному искусству создания органоидов. Я попросил аспиранта Седрика Снетледжа рассказать, как проходила его подготовка. Чтобы получить органоид мозга, недо-

статочно установить предписанные протоколом нужные температуры и уровни pH, объяснил он. Снетледжу пришлось на каждом этапе учиться применять интуицию, например определять, на сколько нужно наклонить емкости, чтобы органоиды не прилипли ко дну. Я сказал Снетледжу, что он как будто рассказывает о кулинарных курсах.

«Если сравнивать с кулинарией, то это скорее похоже на то, как делают суфле, чем на то, как варят гуляш», — ответил он.

Снетледж хотел заниматься неврологическими заболеваниями, для этого-то он и учился выращивать органоиды. Другие аспиранты попали в лабораторию Муотри с целью разобраться, как сделать органоиды более похожими на мозг. Чтобы клетки мозга оставались здоровыми, нужны питательные вещества и много кислорода, а значит, тем, которые находятся в глубине органоида, может угрожать истощение. Поэтому одни студенты Муотри добавляли к органоидам новые клетки, способные развиваться в трубочки наподобие артерий, другие же подсаживали иммунные клетки, чтобы посмотреть, не придадут ли те более естественные формы ответвлениям нейронов.

Тем временем Присцилла Негрес, жена Клебера Трухильо, прислушивалась к «разговорам», которые вели между собой клетки органоидов. Когда органоид мозга достигает возраста в несколько недель, его нейроны созревают, начиная порождать электрические импульсы. Эти импульсы могут проходить по аксону и вызывать такое же возбуждение в соседних нейронах. Негрес и ее коллеги сконструировали подслушивающее устройство, которое улавливало треск. На дне миниатюрных ячеек они разместили решетки электродов 8×8. Затем заполнили ячейки питательной средой и поместили поверх каждой матрицы по органоиду.

На компьютере у Негрес расшифровка данных с электродов имела вид сетки из 64 кружочков. Когда какой-нибудь электрод регистрировал возбуждение нейрона, соответствующий кружочек увеличивался и становился из желтого красным. Шли недели, кружочки росли и краснели все чаще, но Негрес никак не могла уловить в этих вспышках закономерности. Время от времени клетки органоидов возбуждались самопроизвольно, создавая неврологический шум.

Но, когда органоиды подросли, Негрес заметила, что в сигналах появилась некая упорядоченность. Порой несколько кружочков загорались красным одновременно. Потом все 64 электрода стали фиксировать сигналы в один и тот же момент. А затем Негрес удалось отследить, как они вспыхивают и гаснут волнообразно.

Неужели исследовательница и впрямь наблюдала развитие настоящих ритмов мозговой активности у органоидов? Очень хотелось бы, конечно, сравнить то, что она видела в своих ячейках, с развитием мозга человеческого эмбриона! Но наука еще не научилась отслеживать электрическую активность мозга внутриутробно. Максимум, что было доступно, — это изучать недоношенных младенцев, надевая на их головки величиной с апельсин миниатюрные шапочки с датчиками для ЭЭГ.

Для сравнительного изучения органоидов и мозга недоношенных детей Негрес и ее коллеги привлекли нейрофизиолога Брэдли Войтека из Калифорнийского университета в Сан-Диего и его аспиранта Ричарда Гао. У детей, рожденных на относительно ранних сроках беременности, с наименее развитым мозгом, фиксировались редкие вспышки волновых ритмов, разделенные длинными промежутками беспорядочной активности. У тех, кто родился ближе к положенному сроку, паузы были короче, а периоды волновой активности — дольше и более упорядочены. Органоиды в ходе созревания демонстрировали отчасти сходные тенденции. Когда у молодого органоида впервые проявлялись волновые ритмы, они возникали редкими всплесками. Но с течением времени, по мере его развития, ритмы становились более долгими и упорядоченными, а паузы укорачивались.

Это жутковатое открытие не означало, что Негрес и ее коллегам удалось создать детский мозг. Во-первых, мозг человеческого младенца в 100 000 раз больше самого крупного органоида. Во-вторых, ученые смоделировали только одну часть мозга — кору. Функциональный человеческий мозг включает в себя много других элементов: мозжечок, таламус, черную субстанцию и т. д. Одни области воспринимают запахи. Другие обрабатывают зрительную информацию. Третьи сводят воедино разные типы данных. Четвертые кодируют память. Пятые отвечают за реакции страха или радости.

И все-таки открытие смутило ученых. У них были все основания подозревать, что в ходе дальнейших исследований органоиды мозга будут все больше походить на настоящий мозг. Если обеспечить им бесперебойное кровоснабжение, они вырастут более крупными. Исследователи смогут подсоединить органоид мозговой коры к органоиду сетчатки, умеющему воспринимать свет. Можно подключить его к моторным нейронам, способным посылать сигналы в мышечные клетки. Муотри даже увлекся идеей подсоединить органоид к роботу.

Чем это может кончиться? Когда Муотри начинал выращивать органоиды, он полагал, что они никогда не обретут самосознание. «Теперь я в этом не так уверен», — признался он.

Уверенность покинула и биоэтиков с философами. Они приступили к обсуждению органоидов мозга, а также к тому, что о них думать. Я обратился к одной из участниц дискуссии, гарвардской исследовательнице Жантин Лунсхоф, чтобы узнать ее мнение.

Лунсхоф не особенно опасалась, что Муотри случайно создаст в пробирке существ, обладающих сознанием. Органоиды мозга настолько малы и примитивны, что им еще очень далеко до этого порога. Занимал ее простой вопрос: что это вообще такое?

«Для ответа на вопрос, что с этим делать, нужно вначале понять, что это вообще, в принципе, — сказала Лунсхоф. — Мы создаем объекты, о которых еще десять лет назад никто и слыхом не слыхивал. Их не было в списках философских проблем».

Вопрос Лунсхоф всплыл в моей памяти, когда Трухильо показывал мне в Ла-Хойя свою подоспевшую партию органоидов.

— Это просто клеточная масса, — сказал он, указав на одну из ячеек. — Рядом с человеческим мозгом это и близко не лежало. Но у нас есть способы изготовить более сложный мини-мозг.

— То есть вас это не смущает, — я подбирал подходящие слова, — поскольку это явно не человеческий мозг..

— Клетки человеческие! — уточнил Трухильо.

— То есть они живые, — заметил я полуутвердительно-полувопросительно.

— Да, — подтвердил исследователь. — И человеческие.

— Но это не человек?

— Не человек, — ответил он.

Трухильо предложил мне представить себе органоид, подключенный к электроду.

— Можно подать на него электрические разряды в определенном ритме, — сказал он.

Во время нашего разговора Трухильо сидел перед микроскопом. Он вытянул два пальца и начал постукивать по столу в ритме галопа.

Та-дам, та-дам, та-дам.

Трухильо оторвал руку от стола.

— А затем — стоп.

Через несколько секунд исследователь снова начал выбивать ритм.

Та-дам, та-дам, та-дам.

— А теперь эта штука отвечает, — сказал он. В ответ на входящий сигнал органоид с помощью своих нейронов выдал собственный сигнал в таком же ритме.

— Вот это беспокоит больше. Она чему-то обучается.

Мы плохо подготовлены к осмыслению этих потрескивающих шариков. Проблема не только в том, что органоиды мозга — нечто новое. Когда вам на день рождения дарят смартфон новой модели, иногда бывает нужно время, чтобы разобраться, как его разблокировать, но из-за смартфона не случится философского кризиса. Органоиды мозга вселяют беспокойство, поскольку нутром мы чуем: жизнь должна быть понятной. А эти комочки нейронов доказывают, что не должна, что чутье нас обманывает.

Чтобы определить, можно ли считать органоиды мозга живыми, мы сравниваем их с наиболее знакомой нам формой жизни, стандартом, используя который выносим суждения обо всех иных возможных формах жизни — с самими собой. Если вас спросят, живы ли вы, для ответа «да» нет нужды щупать свой пульс или доказывать себе, что ваши клетки расщепляют углеводы. Это факт нашего глубинного опыта.

«Наше знание о том, что значит быть живым, — заметил в 1947 г. биолог Джон Холдейн, — подобно знанию о том, что такое “красный”, “боль” или “усилие”⁵. Эти блоки знания кажутся нам совершенно очевидными. И тем не менее, отмечает Хол-

дейн, «мы не можем описать их словами и терминами, относящимися к другим категориям».

Порой люди уже при жизни могут перестать чувствовать, что значит быть живым. Напротив, они настаивают, что умерли. Это заболевание редкое, но страдающих им набралось достаточно много, чтобы оно получило собственное название — синдром Котара⁶.

В 1874 г. французский врач Жюль Котар осматривал женщину, которую привезли в больницу после попытки суицида. Он сделал запись о том, что она «утверждает, будто у нее нет мозга, нет нервов, грудной клетки, желудка и кишечника; есть только кожа и кости разлагающегося трупа»⁷. Тот факт, что она могла излагать это убеждение связными фразами, не заставил ее усомниться в нем.

С тех пор накопились сведения и о других подобных случаях. В Бельгии женщине казалось, что все ее тело состоит лишь из прозрачной кожицы. Она отказывалась мыться из-за опасения, что растворится и утечет в канализацию⁸. Не так давно некий мужчина в Германии заявил врачам, что год назад утонул в озере. Единственное, чем он смог объяснить им свое состояние, — это то, что излучение мобильных телефонов превратило его в зомби⁹.

Поскольку синдром Котара встречается крайне редко, у нейрофизиологов было очень мало возможностей изучать мозг людей с этим синдромом. В 2015 г. индийские врачи описали пациентку, заявившую родственникам, что рак разрушил ее мозг и унес жизнь. МРТ показала, что мозг у нее никуда из черепной коробки не делся и по-прежнему функционирует. Но врачи заметили в заглазничной его области обширный поврежденный участок¹⁰.

Этот участок называется островковой корой, он принимает сигналы со всего организма, а затем придает нашим внутренним ощущениям осознанность. Островковая кора активируется, когда мы испытываем жажду, переживаем оргазм или нас начинает беспокоить переполненный мочевой пузырь.

Сигналы, поступающие в островковую кору, могут играть важную роль в нашем интуитивном ощущении себя живыми. Если эта зона повреждена, такая интуиция может резко исчезнуть и возникает синдром Котара. Наш мозг постоянно корректирует свою кар-

тину реального положения дел в соответствии с обрабатываемыми им сигналами. Когда человек перестает получать информацию о своем внутреннем состоянии, ему приходится что-то себе придумывать, чтобы объяснить эту образовавшуюся пустоту. И единственным непротиворечивым объяснением оказывается: «Я умер».

Однако мы не просто знаем, каково это — быть живым; мы также распознаем живое вне пределов нашего тела. Но опознание других живых существ — более сложная задача для нашего мозга, ведь наши нервы не проникают внутрь чужих организмов. Нам приходится восполнять эту недостачу с помощью сигналов, поступающих от наших сенсорных нейронов, — иными словами, посредством того, что мы видим, слышим, осязаем, ощущаем на вкус и с помощью обоняния.

Чтобы ускорить процесс распознавания, мы используем бессознательные способы срезать путь¹¹. Мы исходим из того, что живые существа способны к целенаправленному движению. Когда волки преследуют лося по склону холма, они, крадучись за деревьями, стараются окружить свою добычу. Камень, скатывающийся вниз по тому же склону, движется предсказуемо и пассивно. Наш мозг настроен на подобные различия и за долю секунды определяет, какое движение совершает объект — биологическое или физическое¹².

Согласно научным исследованиям, наша способность быстро распознавать живое обусловлена тем, что для активации нужных нейроконтуров в мозгу нам требуется совсем небольшое количество информации. В серии экспериментов психологи засняли на камеру шагающих, бегающих и танцующих людей, а затем отметили их суставы десятью светлыми точками на каждом кадре. После этого экспериментаторы показали испытуемым записи, где были заметны только эти движущиеся точки, чередуя их с другими записями, на которых десять точек двигались независимо друг от друга. Люди быстро определяли, в чем различие¹³.

Непосредственное восприятие — не единственное свойство нашего мозга, настроенное на определение живого. То же относится и к нашей памяти. Накапливая информацию о предметах, мы раскладываем ее в мозгу по категориям «живое — неживое». Данное разграничение может ярко продемонстрировать поврежде-

ния мозга¹⁴. Люди, у которых задеты определенные его области, испытывают затруднения с названиями живых объектов, например насекомых или плодов. При этом с игрушками или инструментами у них подобных проблем не возникает.

Психологов давно интересует, насколько указанное разграничение присуще нам от рождения, а насколько мы обучаемся ему по мере взросления. К примеру, вы мгновенно распознаете слова в этом предложении, но это не значит, что вы родились с этим навыком. Исследования с участием детей подтверждают присутствие изначальных интуитивных представлений о живом. Младенцы предпочитают разглядывать точки, движущиеся в биологическом порядке, а не в случайном. Они дольше смотрят на геометрические фигуры, которые выглядят самостоятельно передвигающимися, нежели на те, что кажутся передвигаемыми сторонней силой¹⁵. Кроме того, дети в процессе обучения явно пристрастны к живому миру: они усваивают сведения о животных быстрее, а потом дольше сохраняют их в памяти. Иными словами, наше знание о живом складывается задолго до появления способности сформулировать, что же мы знаем.

«Если разобрать человеческое сознание на составные части, — пишут психолог Джеймс Нэрн и его коллеги, — естественную границу членения образует именно различие живых и неживых предметов»¹⁶.

Наше чувство живого гораздо древнее собственно нашего вида. Эксперименты показывают¹⁷, что животные тоже способны различать живое и неживое, пусть и не так точно, как мы. В 2006 г. два итальянских психолога, Джорджио Вальортигара и Лючия Реголин¹⁸, сняли на видео собственную версию фильма с точками — только они помечали движения не людей, а кур — и показали записи свежевылупившимся цыплятам. Если обозначенный точками силуэт курицы разворачивался влево, цыплята обычно тоже поворачивались в этом направлении; соответственно, если «курица» поворачивалась направо, они чаще смотрели направо. А когда Вальортигара и Реголин демонстрировали цыплятам видео с движениями случайных точек или перевортывали «точечную курицу» вверх ногами, то никакого закономерного поведения у цыплят они не наблюдали.

Подобные исследования наводят на мысль, что для распознавания других живых существ животные вот уже миллионы лет пользуются зрительным упрощением⁹. Эта стратегия позволяет хищникам быстро замечать добычу. Она полезна и для возможной жертвы, поскольку дает подсказку, что пора убегать. Спасение от волка и уворачивание от падающего камня требуют совершенно различных — и очень быстрых — реакций.

Первые приматы, наши предки, получили в наследство это древнее инстинктивное чутье на живое около 70 млн лет назад. Но в ходе дальнейшей эволюции они освоили и новые способы распознавать живое. У их потомков постепенно сформировались зоркие глаза и большой мозг, а сложные сети нейронов объединили зрение с другими чувствами. По ходу эволюционного развития некоторые виды приматов достигли высокого уровня социальности и стали жить большими группами. Для благополучного сосуществования им стала необходима повышенная восприимчивость к лицам других приматов — умение считывать их выражения и следить за направлением взгляда.

Обезьяноподобные прародители человечества появились около 30 млн лет назад. У них продолжил укрупняться мозг, углубилось понимание поведения собратьев. Наши ближайшие современные родичи в сообществах человекообразных — шимпанзе и бонобо — умеют, опираясь на едва заметные особенности мимики и голоса, улавливать, что чувствуют другие и что им известно. У них нет речи, чтобы выразить понятое словами. Попросите шимпанзе дать определение живому, и вас постигнет горькое разочарование. И тем не менее у них присутствует глубинное представление о том, что другие обезьяны живые, — и это чувство мы вместе с ними унаследовали от общих предков до того, как 7 млн лет назад наши эволюционные пути разошлись.

В человеческой линии мозг продолжал расти; по его относительному размеру наш вид опередил всех остальных животных. Помимо этого, у наших предков развилась способность говорить, а вместе с ней — и более эффективная возможность залезать в головы другим людям. Но все эти признаки сформировались на базе, унаследованной нами от древних приматов.

Вот этот-то глубинный фундамент, возможно, и объясняет нашу самонадеянную уверенность, будто бы мы знаем, что такое быть живым, пусть даже мы этого не знаем.

Как только новый представитель нашего вида появлялся на свет, у наших предков, по-видимому, включался в мозгу какой-то нейроконтур, распознающий очередного живого человечка. Но эволюция не снабдила пращуров интуитивным пониманием того, как возникла эта новая человеческая жизнь. Им пришлось придумывать для себя объяснения.

В книге Екклесиаста, например, говорится о том, что «дыхание жизни приходит в тело младенца» во чреве матери*. Позднее талмудисты учили, что зародыш до 40-го дня представляет собой «лишь воду». Христианские богословы, объединив библейский вариант с версиями греческих философов, предложили свою трактовку. В XIII в. Фома Аквинский описал процесс «одушевления»²⁰. Он утверждал, что сперва человеческий эмбрион получает растительную душу, т. е. способность расти, подобно дереву или цветку. Растительная душа затем поглощается чувственной, как у животного. И наконец, приходит разумная душа, которая содержит в себе также совершенства растительной и чувственной душ.

Другие культуры давали свои объяснения. Народность бен — сообщество земледельцев Берега Слоновой Кости — считает начало жизни переходом из иного мира²¹. Дети — духи, пришедшие из *уругбе*, поселения мертвых. Новорожденный будет по-настоящему принадлежать этому миру лишь через несколько дней, когда отпадет пуповина. Если он умрет раньше, бен не устроят для него похорон. С их точки зрения, никакой смерти не было.

Из представлений о том, как начинается жизнь, складывались обычаи и законы, связанные с беременностью. Для древних рим-

* В английской Библии короля Якова эта фраза звучит так: “How the spirit comes to the bones in the womb of a woman with child”. В русских переводах Библии упоминание духа отсутствует. Наиболее подходящим представляется перевод стиха 11:5, выполненный ИПБ при Заокской духовной академии и Библейско-богословским институтом св. апостола Андрея под редакцией Кулаковых. — *Прим. науч. ред.*

лян жизнь человека вела отсчет с его первого вдоха. Регулярно случалось, что римские медики и лекари провоцировали выкидыши, давая беременным особые травы. Однако у самой женщины не было права голоса в этом вопросе — решение об аборте принималось патриархом ее семьи. В средневековой Европе христианские богословы считали, что плод обладает душой, а следовательно, аборт — преступление. Спорили же они о том, как это соотносится с самой беременностью. Сторонники Фомы Аквинского утверждали, что есть разница между ранними и поздними ее сроками. В 1315 г. богослов Иоанн Неаполитанский дал врачам руководство на случай, когда беременность угрожала жизни женщины. Если плод еще не был одушевлен, врачу следовало провести аборт. По мнению богослова, хотя врач «и препятствует одушевлению будущего плода, он не станет виновником смерти человека»²².

Однако, если плод уже обзавелся разумной душой, врач не должен пытаться спасти жизнь матери с помощью аборта. Когда «нельзя помочь одному, не повредив другому, — писал Иоанн, — лучше не помогать никому».

Проблема с руководствами подобного рода заключалась в том, что никто понятия не имел, когда именно плод обретал душу. Одни теологи считали, что для медика лучший способ справиться с этой неопределенностью — вообще не делать абортов. Другие оставляли решение на совести врача. В XVI в. итальянские судьи постановили считать плод одушевленным с 40-го дня после зачатия. А в 1765 г. британский судья Уильям Блэкстон предложил новый критерий — шевеление плода.

«Жизнь — непосредственный дар Божий, неотъемлемое природное право каждого индивидуума, — писал Блэкстон, — и с точки зрения права она начинается, как только ребенок становится способен шевелиться в утробе матери»²³.

В американских колониях начало шевеления плода также было принято за критерий. В течение нескольких поколений аборты были хоть и негласным, но тем не менее заметным фактом американской жизни. Беременные женщины, стремившиеся сделать аборт, не подвергались особым гонениям. Чтобы вызвать выкидыш, американские домохозяйки использовали травы, которые сами же и выращивали в своих огородах. Позже, в эпоху промышленной

революции, женщины хлынули из сельской местности в города, где пытались избавиться от плода с помощью «женских ежемесячных таблеток», рекламировавшихся в газетах. Эти примитивные средства медикаментозного аборта часто оказывались неэффективными, и женщины были вынуждены искать врача, который тайно проведет требуемую процедуру хирургическим путем.

В XIX в. противодействие абортам постепенно стало принимать всё более организованный характер. Папа римский Пий IX объявил их смертным грехом — даже если они сделаны до шевеления плода. В США борцы за нравственность опасались, что доступность этой процедуры склоняет женщин к греховной жизни. Американская медицинская ассоциация согласилась с этим, и ведущие врачи начали выступать с речами об опасности абортотворения как для плода, так и для самих беременных. В 1882 г. доктор из Массачусетса по имени Чарльз Пибоди разразился одной из таких инвектив, призвав собратьев-медиков отказывать беременным женщинам в их просьбах об аборте.

«Это грех против Господа, преступление в самом своем худшем проявлении»²⁴, — предостерегал Пибоди.

Для врачей, получивших, подобно Пибоди, образование, соответствующее уровню медицинских знаний конца XIX в., споры по поводу беременности шли в совершенно иных категориях, нежели в предшествующие столетия. Средневековые ученые слабо представляли себе, что происходит внутри матки. Они опирались на Библию, Аристотеля и шевеление плода. Пибоди же жил в эпоху, когда уже изучали сперматозоиды, яйцеклетки и оплодотворение, отслеживали развитие эмбрионов. В конце XIX в. многие ученые продолжали мыслить о жизни в категориях таинственной витальной, жизненной силы — до открытия фундаментальной роли генов и хромосом оставались еще десятилетия. Считалось, что эта сила раскрывается в момент зачатия.

«Когда начинается жизнь? — спрашивал Пибоди. — Наука дает только один ответ, и никакой другой невозможен. Жизнь начинается с начала, с первым движением этого жизненного начала, с первым сосредоточением его сил».

Согласно подобной логике, аборт нельзя было считать легитимным, даже если плод еще не начал шевелиться. «Нет! — гре-

мел Пибоди. — Жизнь начинается с начала, и на всем протяжении своего природного пути человек имеет на нее право».

К 1882 г., к тому времени как Пибоди нанес свой удар, во многих американских штатах аборт уже были безжалостно запрещены по закону. Однако оставались лазейки, позволявшие врачам принимать по этому поводу самостоятельные решения. Иногда они делали аборт ради блага матерей. Депрессия, угроза самоубийства или крайняя нищета женщины могли стать достаточным для этого основанием. Многие доктора соглашались делать аборт жертвам изнасилования. Такие процедуры редко выплывали на свет. Еще реже случались аресты врачей.

Эта невидимая, полуполюгальная система просуществовала в США много десятилетий, вплоть до 1940-х гг., когда очередная антиабортная кампания внезапно лишила беременных целого ряда доступных ранее и относительно безопасных способов избавления от плода. Теперь же многие женщины становились жертвами халтурных аборт, часто сделанных ими самими, и толпами попадали в больницы. Ежегодно сотни из них умирали.

Реформаторы призывали к законодательным изменениям. Массовая вспышка кори в начале 1960-х гг. вызвала волну тяжелых врожденных уродств, и женщины потребовали доступа к безопасным абортам. Штаты откликнулись, узаконив аборт при определенных условиях. В 1973 г. в ходе судебного процесса «Роу против Уэйда» Верховный суд постановил, что запрет на аборт нарушает право женщины на частную жизнь. Согласно постановлению, штаты имели право ограничивать аборт только после 28 недель беременности, когда плод уже в состоянии выжить вне матки.

В своем решении суд, впрочем, касался вопроса о том, что считать началом жизни, — но только затем, чтобы отказать от его рассмотрения. «Нам нет нужды разрешать сложный вопрос, когда же начинается жизнь, — объявил суд. — Коль скоро те, кто имеет подготовку по соответствующим специальностям — медицине, философии и богословию, не в состоянии прийти к консенсусу, судебная власть на данном этапе развития человеческого знания не обладает полномочиями додумывать ответ».

В ответ на такое решение суда активисты движения против аборт принялись искать не противоречащие ему способы про-

должать свою деятельность. Они бойкотировали компании, занимавшиеся разработкой препаратов для медикаментозного аборта. Они лоббировали законы, затруднявшие работу абортариев. Чтобы перетянуть на свою сторону избирателей, активисты ссылались на новейшие научные исследования — или, по крайней мере, на старательно надерганную из них информацию.

Согласно исследованиям, утверждали они, эмбрион начинает ощущать боль на более ранних сроках, чем считалось прежде. Некоторые настроенные против абортов законодатели внесли проекты законов, касающихся «биения сердца плода». Они игнорировали тот факт, что, когда сердечные клетки начинают сокращаться, сердца как такового еще нет. Собственно к сердцу эти законопроекты не имели никакого отношения, поскольку их целью был фактический запрет на аборты уже с седьмой недели.

Не довольствуясь подобными полумерами, многие антиабортные группы хотели вообще отменить решение по делу Роу. Сделать это можно было единственным способом — найдя ответ на вопрос, что считать началом жизни, а точнее, определив с юридической точки зрения, в какой момент эмбрион становится личностью со всеми соответствующими правами²⁵. Возникло так называемое движение за права личности, боровшееся за то, чтобы распространить их на только что оплодотворенную яйцеклетку. Если бы удалось это осуществить, любой аборт подлежал бы запрету.

Некоторые лидеры движения указывали, что придется также запретить те методы контрацепции, которые построены на том, что не дают едва сформировавшемуся зародышу прикрепиться к матке. Чтобы оформить это юридически, активисты апеллировали к результатам научных исследований — подобно тому как поступал Чарльз Пибоди более чем за сто лет до них.

«Жизнь начинается с зачатия, — заявил в 2017 г. гуру консерваторов Бен Шапиро. — Это не религиозное верование. Это наука»²⁶.

Следует отметить, что сам Шапиро наукой не занимался. Он получил юридическое образование и вел свой подкаст. Так что, сделав свое заявление, Шапиро не подкрепил его научными данными. Ученые-то как раз оспаривают подобное черно-белое пони-

мание жизни с тех самых пор, как стали известны ее молекулярные основы. В 1967 г. по поводу батальи из-за абортов, предшествовавших делу Роу, высказался нобелевский лауреат, биолог Джошуа Ледерберг. В своей статье «Юридическое начало жизни» (*The Legal Start of Life*), опубликованной газетой *The Washington Post*, он писал: «Нет простого и однозначного ответа на вопрос, когда начинается жизнь. Согласно тому, что мы сейчас знаем, у нее вообще нет начала»²⁷.

Ледерберг пояснял: оплодотворенная яйцеклетка живая, но в том смысле, в каком живы клетки, а не люди. Некоторые организмы, например бактерии, на протяжении всего своего существования остаются одноклеточными и благоденствуют в океане или почве, однако клетки, из которых состоит наш организм, не столь неприхотливы. Если вы уколете палец и капля вашей крови упадет на стол, ваши клетки не уползут искать счастья. Они высохнут и умрут. Для клеток смерть означает, что белки перестают работать, химическое равновесие внутри нарушается и мембрана лопается. В организме же клетка успешно выживает. Там она может поглощать омывающие ее питательные вещества, поддерживать свои белки в рабочем состоянии и избавляться от отходов. Получая нужные сигналы, она растет и делится. Из одной клетки образуются две, и материнская клетка отдает все свое молекулярное наследие паре дочерних. И ни на каком этапе клеточного деления материнская клетка не умирает. И ни на каком этапе дочерние клетки вдруг не оживают. Жизнеобеспечение передается непрерывно от «матери» к «дочкам».

Некоторые виды клеток умеют прокручивать этот фильм назад. Вместо того чтобы делиться, они сливаются. Например, когда мы тренируемся, мы стимулируем мышечные клетки размножаться и сливаться, благодаря чему образуются новые мышечные волокна. Иммунные клетки в наших костях сливаются в гигантские пузыри — остеокласты, которые выедают старую костную ткань, чтобы та могла заместиться новой. Каждая мышечная клетка и каждый остеокласт содержат множество ядер, и все они укомплектованы собственной ДНК. Те отдельные клетки, из которых они образовались, не умерли. Они просто объединили свои молекулы в новую форму жизни²⁸.

Таков клеточный мир, в котором существует оплодотворенная яйцеклетка. Она, безусловно, живая, однако не соединение неживых молекул вызывает ее к жизни. Она возникает из слияния двух живых клеток. Но ведь материнская яйцеклетка, равно как и отцовский сперматозоид, тоже не зародились внезапно. Яйцеклетка образовалась из клеток, которые делились, когда мать сама была еще зародышем. Мужчина производит сотни миллионов сперматозоидов в день, но в конечном итоге все они происходят из той же оплодотворенной яйцеклетки, из которой развился весь его организм. Река жизни течет и течет непрерывно от поколения к поколению. Чтобы добраться до ее истоков, понадобится отгрести вверх по течению на миллиарды лет.

«Жизнь начинается с зачатия» — простой лозунг, который несложно запомнить, несложно и выкрикивать. Воспринимая этот слоган буквально, нельзя не заметить ложности его посыла. Однако сторонники движения за признание эмбриона личностью всегда так или иначе дают понять, что о буквальном толковании и речи нет. Когда они говорят о том, что жизнь начинается с зачатия, то имеют в виду конкретного индивида. Но не всякого — не броненосца, скажем, или кустик петунии, а человеческого со всеми полагающимися ему по закону правами, включая право на жизнь.

«Самостоятельная живая человеческая особь возникает при оплодотворении ооцита сперматозоидом»²⁹, — писали в 2001 г. два противника абортот, Патрик Ли и Роберт Джордж. Самостоятельной, по их мнению, ее делает наличие уникальной комбинации ДНК, унаследованной от обоих родителей и способной управлять развитием эмбриона. Пусть оплодотворенная яйцеклетка и не видна невооруженным глазом, но, как утверждают Ли и Джордж, она уже обладает потенциалом к мышлению и всеми прочими способностями, которые делают нас людьми.

Тем не менее реальный процесс человеческого развития не позволяет установить, в какое конкретно мгновение возникает новая человеческая особь³⁰. Момент слияния яйцеклетки со сперматозоидом, безусловно, не может быть такой точкой отсчета. Наши клетки содержат, как правило, 46 хромосом — по 23 от каждого родителя. Но в момент оплодотворения комбинация отцовской и материнской ДНК в действительности дает 69 хромосом.

Дело в том, что неоплодотворенная яйцеклетка, как любая другая клетка в организме женщины, уже содержит 46 хромосом, объединенных в 23 пары.

Из клетки с 69 хромосомами никогда не смог бы получиться здоровый человек. Ее гены пошли бы вразнос. Чтобы избежать подобной катастрофы, яйцеклетка при контакте со сперматозоидом отщипывает от себя маленький пузырек. В этот пузырек она помещает 23 лишние хромосомы, и у нее остается как раз 23 для точного соответствия отцовской ДНК.

Но даже на данном этапе у оплодотворенной яйцеклетки еще нет единого нового генома, который можно было бы назвать ее собственным. Материнские и отцовские хромосомы продолжают существовать раздельно, они окутаны собственными мембранами, внутри которых претерпевают независимые друг от друга изменения. Можно представить себе оплодотворенную яйцеклетку начальной стадии как пространство коворкинга, где мужской и женский геномы работают сами по себе.

Затем оплодотворенная яйцеклетка делится на две, причем каждая наследует как отцовский, так и материнский набор хромосом. Этот этап наступает через сутки после оплодотворения. И лишь тогда хромосомы покидают свои раздельные контейнеры. Только когда эмбрион становится двухклеточным, два набора ДНК сливаются.

Однако новый зародыш все еще не обладает молекулярной независимостью. Практически все белки в его клетках — от матери и кодируются ее генами. В этом существенном отношении эмбрион по-прежнему ведет себя как скопление материнских клеток. Отдельный человеческий индивид пока не располагает собственной судьбой. До пробуждения отцовских хромосом — до того как заработает новый геном — еще предстоит немало дел. В яйцеклетке имеется специальный набор белков-убийц, его производят материнские гены. «Злоумышленники» бродят по клеткам эмбриона и уничтожают другие материнские белки. Еще один набор белков матери связывает как ее собственные, так и отцовские хромосомы, и подготавливает их к новой работе. Теперь клетки производят свежую партию белков, переработанных из вторсырья — остатков материнских молекул³¹.

Пока внутри эмбриона происходят описанные изменения, он сам выплывает из материнского яйцевода и спускается в матку. По пути он может разделиться надвое. Тогда уже два комочка клеток продолжают деление, и каждый станет отдельным эмбрионом. В конечном итоге из двух комплектов клеток получатся однояйцовые близнецы. Если считать, что оплодотворенная яйцеклетка сразу становится личностью, то остается только недоумевать, куда она делась, когда вместо нее появились две³².

Разнойяйцовые близнецы развиваются иначе. У матери в матку выходят одновременно две яйцеклетки, и обе оплодотворяются — но разными сперматозоидами. Иногда, будучи еще микроскопическими комочками клеток, такие близнецы сталкиваются друг с другом и сливаются. Благодаря своей пластичности клетки перестраиваются в единый эмбрион, который продолжает нормально развиваться несмотря на то, что часть клеток содержит один геном, а часть — другой.

Такие слияния ученые называют химерами³³. Химера может вырасти в здорового взрослого человека и прожить всю жизнь, обладая двумя популяциями клеток, у каждой из которых самостоятельный геном. Если каждая оплодотворенная яйцеклетка — отдельная личность, наделенная всеми соответствующими правами, значит ли это, что химера, участвуя в выборах, имеет право на два голоса?

Когда мы, уже живущие люди, оглядываемся на развитие человеческого эмбриона, легко поддаться соблазну рассматривать этот процесс как поразительно точный, подобный часовому, механизм химии, превращающий единственную клетку в организм из 37 трлн клеток. В учебниках каждый этап развития выглядит гладко. Но тем не менее случаются неудачи, и плод нередко гибнет на той или иной стадии беременности³⁴. Самая большая угроза выживанию эмбриона — если он не получит необходимые 23 пары хромосом. Иногда у какой-то хромосомы оказывается третья копия. А с тремя копиями каждого гена вместо двух эмбрион способен синтезировать слишком много белков и этим отравить себя. Или же у него может оказаться только одна копия хромосомы, что не позволит синтезировать все требуемые для выживания белки.

Порой нарушение возникает и в самой яйцеклетке. При ее попытке избавиться от лишних хромосом, убирая их в пузырьки, одна из них может случайно остаться. В других случаях проблема возникает после оплодотворения, когда эмбрион начинает делиться. Или же при делении у клеток не всегда получается поровну распределить свои хромосомы между дочерними клетками. И тогда в одной из них может оказаться избыток хромосом, а в другой — недостаток. При дальнейших делениях дочерние клетки передают эти нарушения своим потомкам.

В биологии это нарушение называется анеуплоидией. Она не обязательно означает, что зародыш обречен. Если в нем присутствуют и нормальные, и аномальные клетки, то аномальные могут перестать расти, а нормальные продолжают развиваться, пока не возобладают в организме. Даже если эмбрион целиком состоит из анеуплоидных клеток, у него все-таки есть шанс на выживание. Все зависит от характера нарушения. Эмбрион с лишней копией 21-й хромосомы может дожить до окончания беременности, тогда родится ребенок с синдромом Дауна. Однако в большинстве случаев анеуплоидные эмбрионы гибнут. Иногда они просто перестают расти. А иногда — не закрепляются в матке и вымываются наружу.

Анеуплоидия — не единственная причина самопроизвольного прерывания беременности. случается, что женщине не хватает гормонов, чтобы матка нормально подготовилась к приему эмбриона. Подхваченная весьма не ко времени инфекция может создать избыточную нагрузку на материнскую иммунную систему, которая начинает принимать эмбрион и плаценту за врагов и атакует их.

Ученые пытаются оценить, сколько беременностей прерывается естественным путем, и получают чудовищные значения. Согласно одному из исследований, опубликованному в 2016 г., от 10 до 40% зародышей гибнет, не успев закрепиться в матке. По мнению авторов работы, при включении в расчеты всего периода от зачатия до рождения, эта доля поднимается до 40–60%. Если бы на уровне государства было принято постановление, что началом жизни следует считать зачатие и что оплодотворенные яйцеклетки обладают правами лично-

сти, то пришлось бы признать эти потери поистине катастрофическими для здравоохранения. В мировом масштабе они будут означать ежегодную гибель до 100 млн человек, на фоне которой померкнут смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и других основных причин³⁵.

Однако это бедствие не становится неотложным приоритетом для противников абортов³⁶. Напротив, некоторые из них сомневаются в этих оценках, предполагая потери завышенными — можно подумать, что, если бы речь шла о десятках миллионов смертей, от этого стало бы легче. Иные утверждают, что причины выкидышей, такие как анеуплоидия, неотвратимы, а значит, эти жизни в любом случае не подлежали спасению³⁷. Но это неверно. Немало исследовательских усилий вложено в работы по сокращению количества выкидышей — и вовсе не потому, что ученые разделяют представление, согласно которому жизнь начинается с зачатия, а потому, что они хотят помочь семьям, которым трудно завести детей. Иногда женщинам, страдающим от постоянных выкидышей, можно повысить шансы на успешные роды, введя гормоны³⁸. Другие ученые исследуют новые способы сохранения плода — от управления иммунной системой матери до редактирования ДНК зародышевых клеток.

Противники абортов при этом противоречат собственным решительным заявлениям алогичными исключениями. В 2019 г. власти штата Алабама выдвинули законопроект, согласно которому проведение абортов приравнивалось к особо тяжким преступлениям. Врачам по этому обвинению грозило до 99 лет тюремного заключения. Однако создатели законопроекта сделали исключение для женщин, которым беременность угрожала серьезными рисками здоровью. Когда законопроект вызвал споры, юридический комитет сената штата Алабама добавил дополнительные исключения для случаев изнасилования и инцеста.

Один из соавторов законопроекта, сенатор Клайд Чемблисс, выступил с возражением. «В случаях изнасилования и инцеста имеет место очень, очень сложная ситуация, связанная с чудовищным поступком, — сказал сенатор журналистам. — Но если мы верим, что жизнь начинается с зачатия, — а я верю, — тогда мы потеряем эту жизнь»³⁹.

Но Чемблисс не смог последовать собственному убеждению до его логического завершения. Когда семьи заводят детей с помощью экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), врачи репродуктивных клиник обычно выращивают не один эмбрион, а несколько. Они могут взять одну из клеток эмбриона на исследование ДНК, чтобы проверить его жизнеспособность. Поскольку любая такая клетка на раннем этапе развития способна стать самостоятельным эмбрионом, подобный анализ, по логике Чемблисса, является убийством. Выбрав наилучшие варианты для имплантации, репродуктологи могут заморозить или выбросить остальные. Если аборты недопустимы, потому что эмбрион есть личность, то недопустима и гибель эмбрионов в ходе ЭКО. Неважно, убивают их прямо или косвенно.

Однако во время дебатов по алабамскому законопроекту Чемблисс заявил, что запрет не распространяется на ЭКО. Когда один из соавторов упрекнул его в противоречии, он выдал непостижимый ответ.

«Яйцеклетка в лаборатории не считается, — заявил он. — Она же не в женщине. Беременности нет».

После этого законодательное собрание штата Алабама отклонило поправку, разрешающую аборт в случае изнасилования и инцеста. Губернатор утвердила* законопроект.

Мало того что ЭКО усложнило вопрос о начале жизни, так ведь перепрограммирование клеток сулит ныне усложнить его еще сильнее. Если правильно подобрать химическую стимуляцию, перепрограммированная клетка⁴⁰ способна развиваться в зародыш. Ученые уже превращают клетки кожи взрослых мышей в мышечные эмбрионы, которые могут стать мышатами. Возможно, вскоре подобное будет осуществимо и для людей. Когда это произойдет, триллионы клеток в организме каждого из нас обретут потенциал стать человеком. По логике движения за права личности всем им понадобится их даровать. Пыль в наших домах состоит в зна-

* Губернатор Алабамы с 2017 г. — Айви Кэй (род. 1944), ее саму считают противницей абортов. — *Прим. ред.*

чительной степени из мертвых клеток кожи, которые ежедневно отшелушиваются у нас миллионами. Неужели каждая из них — загубленная потенциальная жизнь?

Все эти осложнения не означают, что мы можем забыть о нравственных обязательствах перед братьями-людьми. Суть в том, что не существует легкого способа очертить их. И по мере усложнения органоидов нам станет всё труднее решать, в чем же состоит нравственный долг по отношению к ним. Да, нынешние органоиды мозга живые и да, человеческие, но они не способны переживать жизненный опыт, как люди. Это переживание связано с холдейновским определением ощущения быть живым. Вполне можно допустить, что у более крупного и сложного органоида появятся сложные ритмы мозговой активности или даже способность к обучению. Возможно, он обретет даже начатки ощущения жизни.

Как определить, появилось ли у него это ощущение? Кристоф Кох, директор Института Аллена по изучению мозга в Сиэтле, придумал некий способ. Он считает, что ученые смогут измерить сложность переживаний органоида, прослушивая его сигналы. Предложенная Кохом идея возникла из исследований природы сознания, проведенных им самим и его коллегами. Ученые полагают, что сознание — это интегрирование информации от всех частей мозга⁴¹. Когда мы в сознании, она распространяется по всему мозгу, обеспечивая нам адекватное и гармоничное ощущение реальности. Когда мы спим или впадаем в кому, поток информации ослабевает. Области мозга остаются активными, но содержащиеся в них данные больше не участвуют в формировании единого, целостного опыта.

Кох и его коллеги убеждены, что эту целостность можно измерить, нарушив ее, подобно тому как, бросив в пруд камень, мы замечаем рябь. Исследователи надевают на головы добровольцев магниты и посылают на магниты безвредные импульсы. Те вызывают кратковременные сбои ритмов мозговой активности. У бодрствующих импульсы запускают потоки информации по сложным траекториям в мозгу. Та же закономерность возникает при сновидениях. Но у людей, находящихся под действием наркоза, импульсы порождают простые реакции — все равно что звон колокольчика в сравнении с органной фугой.

Кох предлагает ученым применить такие же магнитные импульсы к органоидам и посмотреть на их реакцию. Его предложение выглядит особенно захватывающим в свете того, что они с коллегами изобрели способ оценить интегрированность мозга всего одним числом. Нечто вроде термометра для сознания. Можно договориться, что у органоидов мозга этот показатель не должен превышать определенного значения. А если мы обнаружим, что данная партия органоидов умудрилась пересечь этот порог, то будем знать, что отныне нам придется принимать решение, как относиться к их жизням⁴².

«Что могло бы означать для органоида страдание? — спросил Кох в завершение лекции, прочитанной им в 2019 г. — Ответ на этот вопрос не очевиден»⁴³.

Еще в 1967 г., когда никто даже и помыслить не мог об органоидах, Джошуа Ледерберг предвидел грядущие затруднения.

«От биологов, следовательно, законодательству мало проку, — сказал Ледерберг. — Ответ на вопрос, с какого момента начинается жизнь, зависит от того, с какой целью мы спрашиваем».

СОПРОТИВЛЕНИЕ СМЕРТИ

В 1765 г. пятнадцатилетний юноша по имени Джеймс Форбс сел в Англии на корабль и отправился в Бомбей¹. Там он устроился работать в Ост-Индскую компанию и за следующие 19 лет исколесил по служебным делам всю Индию и сопредельные страны. В ходе этих путешествий Форбс превратился в естествоиспытателя и художника; он зарисовывал дроздов бюльбюль и семьи парсов. Ко времени возвращения из Индии у Форбса скопилось 52 000 страниц текстов и рисунков.

Дома он привел свои труды в порядок и в 1813 г. издал в четырех томах книгу «Восточные записки» (*Oriental Memoirs*), предлагавшую британским читателям совершить роскошное путешествие по Индии, сидя у камина. Ежемесячник *The Monthly Magazine* восхвалял этот «представленный нам ПОИСТИНЕ ВЕЛИКОЛЕПНЫЙ труд»². По мнению редакции, благодаря энциклопедическому масштабу многотомника Форбса теперь и в Индию ездить было незачем. «Он оставляет мало простора для новых открытий будущим путешественникам».

Как-то в ходе своих странствий Форбс остановился у невероятного гигантского баньяна на берегу реки Нармада. Дерево вздымало в небо сотни стволов, образуя полог, под которым могла уместиться семитысячная армия. Время от времени к этому дереву приезжал местный владыка и устраивал под ним колоссальные пиры. Там ставились роскошные шатры, служившие обеденным залом, гостиной, салоном, кухней и банями. И еще оставалось достаточно места, чтобы разместить верблюдов, коней, повозки, стражу и слуг, а также друзей владыки и их стада скота.

Помимо людских собраний, баньян у Нармады давал приют птицам, змеям и обезьянам лангурам. Форбс наблюдал, как обезьяны учат своих детенышей прыгать со ствола на ствол и убивать опасных змей. «Убедившись, что ядовитые зубы удалены, они швыряют рептилию своему молодняку вместо игрушки и как будто радуются уничтожению общего врага», — писал натуралист³.

Однажды приятель Форбса во время охоты подъехал к нармадскому баньяну. Он застрелил из дробовика самку лангура и унес тушку с собой в шатер. Но снаружи поднялся неистовый визг. Выглянув, охотник увидел десятки обезьянок, которые, по словам Форбса, «громко вопили и приближались к нему с угрожающим видом».

Друг Форбса погрозил животным дробовиком. Те отступили, за исключением одного самца, по-видимому вожака стаи. Лангур приблизился к охотнику, злобно тараторя что-то. Но постепенно интонация звуков изменилась — они перешли, как описывает Форбс, в «жалостные стоны».

Охотнику показалось, что обезьяна выпрашивает у него тело убитой самки. Он отдал его.

«С нежной скорбью он взял его на руки, обнял с супружеской любовью и с выражением некоего торжества понес его своим ожидающим товарищам», — пишет Форбс. Вскоре обезьяны ушли, оставив компанию охотников в полном потрясении. «Они решили больше никогда не поднимать ружья ни на кого из обезьяньей породы».

Рассказанная Форбсом история обезьяньей скорби произвела на английских читателей столь сильное впечатление, что они вспоминали о ней еще много десятилетий⁴. Она как будто шла вразрез с викторианскими представлениями об уме животных. Люди, обладая рациональным мышлением, могли осознавать жизнь. Осознавая жизнь, они были способны также осознавать и ее границу — смерть. Но здесь твари неразумные вели себя удивительно похоже на скорбящих людей — они, по-видимому, знали, что жизнь их сородича прекратилась. Похоже, из этого можно было сделать вывод, что у обезьян более развитое сознание, чем считалось. Или же — что мы, люди, слишком льстим себе насчет нашего высокого уровня понимания жизни и смерти.

К рассказу Форбса о скорбящем лангуре прибавились другие истории о горящих приматах, но никого они не увлекали так, как Чарльза Дарвина. Обдумывая свою теорию эволюции, Дарвин (которому тогда не было и 30 лет) осознал, что она объясняет происхождение человека точно так же, как и любого другого вида. Следы эволюции он смог подметить в нашей анатомии, в ее поразительном сходстве с анатомией шимпанзе и других обезьян. Дарвин пошел посмотреть на самку орангутана в Лондонском зоопарке и увидел эволюционный след в ее поистине человеческой мимике. И, конечно, он распознавал его в рассказах о том, как обезьяны проявляют эмоции, некогда считавшиеся уникальными для нашего вида. В частности — горе. «Печаль обезьяны-самки о потере детеныша так сильна, что она положительно была причиной смерти некоторых особей»*, — писал Дарвин в своей книге «Происхождение человека» (*The Descent of Man*, 1871)⁵.

С дарвиновских времен миновало почти столетие, прежде чем ученые начали специально организовывать экспедиции в естественную среду обитания обезьян, чтобы в подробностях наблюдать их поведение. И стоило им этим заняться, как стали накапливаться непосредственные, из первых рук, сюжеты об удивительных реакциях приматов на смерть. Исследователи стали рассматривать эти сюжеты как самостоятельную область научных исследований, которая получила название танатологии приматов. Здесь первое наблюдение столкновения обезьян со смертью было сделано в 1960-е гг. Джейн Гудолл⁶, молодой британской исследовательницей, которая приехала в Танзанию с намерением поселиться поблизости от шимпанзе. Однажды Гудолл наблюдала за самкой, которую прозвала Олли. Та недавно родила, однако Гудолл вскоре заметила, что детеныш нездоров. «Ручки и ножки его бессильно болтались, — вспоминала она позже, — и он громко кричал, как только мать делала шаг»**.

* Пер. с англ. под ред. И. М. Сеченова и др.

** Здесь и далее пер. Е. З. Годиной.

Поскольку детеныш был слишком слаб, чтобы цепляться за шерсть Олли, той приходилось бережно носить его на руках. Она забралась с ним на дерево, уселась на ветке и осторожно положила его себе на колени. Разразился ливень; полчаса и шимпанзе, и исследовательница мокли. Когда дождь закончился, Гудолл увидела, как Олли слезает на землю. Детеныш больше не пищал. Его головка свисала столь же безжизненно, как и его конечности. И Гудолл обратила внимание, что теперь Олли обращается с детенышем по-другому.

«Неужели она понимала, что ее отпрыск умер?» — пишет Гудолл.

Олли уже не баюкала малыша, а таскала его за ногу или за руку. Иногда она перебрасывала его тельце через плечо.словно в оцепенении, она носила с собой детеныша еще два дня. Другие шимпанзе глазели на нее и на мертвую кроху, но Олли просто смотрела невидящим взглядом в пространство. В конце концов Гудолл потеряла ее из виду в густой чаще. Она обнаружила Олли лишь на следующий день. Детеныша с ней уже не было.

В последующие десятилетия приматологи наблюдали и других самок, реагиовавших на потерю детенышей подобно Олли. Они видели бдения молодых горилл над телами их мертвых матерей. Занимаясь исследованиями в джунглях Берега Слоновой Кости, приматолог Кристоф Бёш как-то увидел на земле труп шимпанзе. Похоже, обезьяна погибла при падении с дерева. Затем исследователь увидел, как пришли пятеро других шимпанзе и тоже заметили тело. Они быстро взобрались на соседние деревья, где несколько часов ухали и кричали.

Наше представление о том, что значит быть живым, отчасти проистекает из нашего осознания собственной жизни, а отчасти — из нашей интуитивной способности отличать живые организмы от неодушевленных предметов. Но оно обусловлено также тем, что мы понимаем разницу между жизнью и смертью. Другими словами, быть живым — значит не быть мертвым. К этому осознанию человечество пришло не через логику и дедукцию. Наше понимание смерти — иной природы, нежели теория эволюции Дарвина или открытие электрона Томсоном. Оно уходит корнями в древнюю интуицию.

Разное поведение по отношению к живым и мертвым сложилось у животных в ходе эволюции, вероятно, уже сотни миллионов лет назад. Современных млекопитающих, птиц и даже рыб может отпугнуть запах разлагающейся плоти⁷. Зловоние смерти вызвано летучими молекулами с говорящими названиями — кадаверин и путресцин*. Однако причина появления этих молекул — не смерть, а жизнь, произрастающая из смерти. Когда животное умирает, его клетки разрушают сами себя и становятся пищей бактериям, обитающим внутри тела. Бактерии проедают стенки кишечника и распространяются по телу. В качестве побочных продуктов метаболизма они и выделяют кадаверин и путресцин⁸. Эти молекулы не особенно опасны для людей. Они не убьют нас — не то что имеющие слабый запах зарин или цианид. И тем не менее у наших предков развилось острое чутье на эти молекулы, а с ним — инстинктивная реакция отпрянуть, едва лишь немного запахнет. Дело в том, что, не будучи опасными сами, эти молекулы надежно предупреждают об опасностях, связанных с мертвым телом.

Благодаря танатологии приматов⁹ теперь известно, что нашим обезьяноподобным предкам 70 млн лет назад не требовалось дожидаться, пока трупы их сородичей начнут разлагаться, чтобы понять, что с ними произошло нечто очень важное. Однако некоторые ученые утверждают, что их обостренное чувство смерти проистекает из обостренного чувства жизни. Когда примат умирал, окружающие его живые сородичи продолжали видеть обычное существо с глазами и ртом, и этот облик должен был включать в соплеменниках нейронные контуры определения живого. Но контуры, предназначенные для восприятия биологического движения, уже ничего не регистрировали — ни единого подергивания. Противоречие в сигналах между привычным обликом и отсутствием движения у тела может объяснять, почему обезьяны так часто устраивают бдения над своими умершими. Возможно, им нужно время, чтобы осмыслить этот диссонанс, чтобы переместить собрата, рядом с которым они жили многие годы, в категорию неживого.

* От лат. *cadaver* — «труп» и *putridus* — «гнилой» соответственно. — Прим. пер.

Как было сказано выше, около 30 млн лет назад от прочих приматов отделилась линия человекообразных обезьян — эволюционная ветвь, которая впоследствии даст орангутанов, горилл, шимпанзе и нас. Изучение шимпанзе указывает на то, что у наших с ними общих предков развилось еще более глубокое чувство смерти, быть может, в результате появления более крупного и мощного мозга. Шимпанзе не только по-другому реагируют на своих умерших сородичей — они также демонстрируют признаки понимания причинно-следственных связей жизни и смерти. Судя по их поведению, они осознают, что падение с дерева или атака леопарда могут покончить с жизнью обезьяны.

Наша собственная линия, напомним, отделилась от линии шимпанзе около 7 млн лет назад. Ранние гоминины постепенно осваивали прямохождение, но, если не учитывать этот признак, они не особенно отличались от других обезьян, живших вместе с ними в лесах. Нет в ископаемой летописи и никаких следов того, что они обращались со своими покойниками как-то иначе, нежели свойственно обезьянам. Первые намеки на современное отношение к смерти появляются лишь в последние сотни тысяч лет¹⁰. И древнейшие из этих свидетельств, естественно, самые сомнительные.

В нескольких пещерах Европы и Африки палеоантропологи обнаружили скопления скелетов древних людей. Эти люди относились к тому же роду, что и мы, — *Homo*, но к двум другим видам: *Homo heidelbergensis* и *Homo naledi*. Не исключено, что останки этих людей были в ходе какого-то ритуала перенесены к местам их упокоения и брошены на дно узких пещер. Но пока маловато данных, чтобы уверенно отстаивать эту версию. Возможно, наших пращуров затаскивали в узкие пещеры хищники или их останки сносило туда потоками воды.

Первым бесспорным свидетельствам нового представления о смерти примерно 100 000 лет. Представители нашего вида, *Homo sapiens*, начали совершать похоронные обряды. В пещерах Израиля ученые нашли скелеты, старательно уложенные в окружении оленьих рогов, кусочков охры и раковин с дальних берегов. В Австралии аборигены копали могилы для покойников уже 40 000 лет назад.

Эти ритуалы кое-что говорят нам о мышлении людей, их практиковавших. У них появилось иное понимание смерти, отличное от того, которое было у других приматов: что ее вызывают болезни и травмы, что оттуда никто не возвращается обратно. Предки чтили память умерших, бережно погребая их тела.

К тому времени как люди стали совершать первые погребальные обряды, у них уже существовала полноценная речь. Звуки песен, которые они могли петь, или сказок, которые они могли рассказывать, развеялись в далеком прошлом. Чтобы узнать о происхождении наших представлений о смерти, приходится довольствоваться письменными источниками и записями устных рассказов народов всего мира. Очевидно, что люди изобретают много разных объяснений смерти, но в них есть общие элементы. К примеру, никто не считает, что смерть — это просто физическое изменение. Она мыслится также как социальная трансформация. В одних культурах смерть воспринимается как расставание — уход покойного в другой мир. Другие рассматривают ее как некое преобразование, позволяющее предкам всегда пребывать с живыми. Буддисты, помимо прочего, полагают смерть исчезновением самости — подобно тому как капля росы на травинке испаряется с зарей¹¹.

Западная наука приподздналась с созданием подробной концепции смерти. Эта тема была по большей части оставлена на откуп медикам, которые были слишком заняты спасением жизни, чтобы объяснять то, от чего они ее спасают. «Представители медицины редко обсуждали, так сказать, смысл и сущность смерти; они оставляли это философам и богословам»¹², — отметил историк Эрвин Аккеркнехт.

Первым врачом, попытавшимся исследовать природу смерти с научной точки зрения, был, вероятно, французский доктор Ксавье Биша¹³. В конце XVIII в. он изучал недавно умерших людей и животных. После казни преступников на гильотине Биша обследовал их отрубленные головы и обезглавленные тела. Он вскрывал грудные клетки живым собакам, чтобы приделать вентиль к трахее. Завернув его, Биша перекрывал поступление воздуха в легкие собаки. Он обнаружил, что после того, как кровь собаки из красной станет черной, смерть наступит быстро.

Эти жестокие опыты позволили Биша увидеть тесную связь между сердцем, легкими и мозгом — тремя столпами жизни, как их стали называть. Если отказывали легкие, то они уже не могли превращать темную кровь в красную — животворную — форму, необходимую для поддержания работы мозга. Если отказывало сердце, оно не могло доставлять кровь к остальным двум органам. Разрушая мозг животных, Биша обнаружил, что пропадает ключевая связь между сердцем и легкими и животные гибнут. Биша убедился, что ни одна часть организма не обладает монополией на жизненные силы. Эти силы оказались распределены по всему телу, они составляли взаимосвязанную систему.

«Жизнь, — заключил Биша, — состоит из суммы функций сопротивления смерти»¹⁴.

Биша видел ясную границу, разделяющую жизнь и смерть, но ее ясность была обусловлена теми видами живого, которые он изучал. Обезглавленные преступники и обескровленные собаки оставляли мало места для сомнений, по какую сторону границы они находятся. Однако, если бы Биша занялся другими животными, он столкнулся бы с тем, что грань размыта.

В конце XVII в. голландский купец Антони ван Левенгук¹⁵ сконструировал первые микроскопы, открывшие для нас микромир. В единственной капле воды из пруда мог оказаться целый рой странных форм. Они не походили ни на какие объекты макромира, но при этом двигались, и по их движениям Левенгук инстинктивно понял признаки живого. Он рассматривал эти формы как мелких животных. Когда отчеты Левенгука вышли в журнале *Philosophical Transactions of the Royal Society*, оказалось, что английские переводчики воспользовались словом *animalcules*, «зверушки». «Движения большинства этих зверушек в воде были так быстры и так разнообразны — вверх, вниз, кругами, — что дивно было это наблюдать», — сообщал голландец.

Вслед за тем Левенгук открыл эритроциты, сперматозоиды, бактерии, простейших и целый букет миниатюрных видов животных. А затем, в один из летних дней 1701 г., он заметил, что свинцовый водосточный желоб на фасаде его дома заполнен рыжеватой водой. Он зачерпнул немного этой воды и рассмотрел ее каплю под микроскопом. И увидел новый вид «зверушек». Это были

существа грушевидной формы с чем-то вроде двух колес на голове. (Ныне они известны как коловратки.)

Затем Левенгук оставил часть этой воды испаряться. Ранее он уже проводил подобный опыт с другими «зверушками», и обычно они, высыхая, лопались. Но в этот раз произошло нечто иное, необычное. Пока вода испарялась, коловратка просто уменьшалась и переставала двигаться. «Она сохраняла свои овальные и круглые формы в целости», — отметил Левенгук.

Настала жара, все высохло, и рыжая вода в том желобе обратилась в пыль. Левенгук решил поискать коловраток в этой пыли, для чего полил ее водой, а затем рассмотрел капли в микроскоп. Он увидел «зверушек» съезжившимися, лежащими неподвижной кучкой, словно мертвые. Но стоило им немного намочнуть, как они набухли и задвигались.

«Вскоре после этого они стали расправляться, и через полчаса не менее сотни их плавало на стекле», — писал натуралист впоследствии.

Левенгук сохранил оставшуюся пыль из желоба. Через несколько месяцев он снова достал ее и смешал с водой. Коловратки приняли свой нормальный вид и ожили, несмотря на то что прошло столько времени.

«Признаюсь, я никогда бы не подумал, что в субстанции, столь иссушенной, как эта, может найтись живое существо», — говорил голландский исследователь.

Более 40 лет спустя, в 1743 г., британский натуралист Джон Нидхем открыл еще одно существо, способное «воскресать». Он изучал колосья пшеницы, пораженные тиленхозом, из-за которого зерна сморщивались и чернели. Фермеры называли такие большие зерна «перечными». Разрезав одно из них, Нидхем обнаружил внутри пучок сухих белых волокон. Он капнул туда водой, ожидая, что так будет легче разделить этот пучок.

Что было дальше, описывается в *Philosophical Transactions of the Royal Society*: «К его великому изумлению, эти мнимые волокна как бы мгновенно распались, обрели жизнь, стали беспорядочно двигаться — не поступательными, а извивающимися движениями, — и так продолжалось на протяжении девяти или десяти часов, пока он их не выбросил».

Нидхем открыл личинок червя-нематоды, известного ныне как *Anguina tritici*, или пшеничная угрица. Но в то время многие натуралисты ему не поверили. Королевское общество передало пшеницу Нидхема другому натуралисту, Генри Бейкеру, чтобы тот высказал свое мнение. Бейкер последовал инструкции Нидхе-ма, и червяки ожили. Заинтригованный, Бейкер принялся за собственные эксперименты. В ходе одного из них он хранил боль-ные зерна в течение четырех лет. Червячки пережили этот дол-гий срок; когда он залил водой белые волоконца, то снова увидел копошащуюся жизнь.

«Здесь мы находим Пример того, как Жизнь может замереть и, по видимости, прекратиться», — заявил Бейкер в своей книге 1753 г. «Занятия с микроскопом» (*Employment for the Microscope*)¹⁶. Каким образом черви могли сохранять свою *жизненную Силу* (по его терминологии), Бейкер и гадать не решался: «Вопрос, что есть Жизнь *в действительности*, представляется слишком тонким, чтобы наше Понимание могло поставить его или разрешить, а наш Разум — распознать ее и исследовать».

Скоро полку восстающих из мертвых нематод и коловраток прибыло. К ним присоединились тихоходки — беспозвоночные, напоминающие безголовых восьминогих медведиков, размером всего с точку в конце этого предложения. Натуралисты впервые обнаружили этих животных в моховой подстилке, а затем оказа-лось, что они живут в сырой почве, озерах и даже в океане. Когда исследователи высушивали тихоходок, те втягивали ножки и при-нимали форму кунжутного семечка. Достаточно было поместить их на несколько минут в воду, чтобы они выпустили ножки снова.

Многие натуралисты отказывались верить, будто живое суще-ство способно переживать подобное грозящее ему гибелью обезвоживание. Они полагали, что здесь должно иметь место что-то более простое. Может быть, обезвоженные животные умирали, а когда ученые наливали воду, то пробуждались невидимые яйца этих существ и вылуплялись новые особи. Баталии бушевали десятилетиями, представителей противоборствующих сторон окрестили воскресителями и антивоскресителями. Спор достиг такого накала, что ведущая организация биологов Фран-ции — Биологическое общество — в 1859 г. назначила специаль-

ную комиссию, чтобы его разрешить. Светила науки потратили целый год на эксперименты и в итоге выпустили 140-страничный отчет, решавший вопрос в пользу воскресителей. Однако антивоскресители еще несколько десятилетий сопротивлялись.

Ныне все биологи — воскресители. Нет сомнений, что тихоходки, нематоды и коловратки способны высухать, а затем возвращаться к жизни. Чем больше специалисты изучают этих животных, тем очевиднее становится, что сроки выживания подобных существ в таком подвешенном состоянии, из которого они могут вернуться в мир живых, даже еще длиннее. В 1950-е гг. группа исследователей собрала высохших тихоходок в Антарктиде. Беспозвоночных оставили в холодильнике на 30 лет, после чего поместили в теплую воду, и животные пробудились совершенно здоровыми. Нематоды, поражающие зерна пшеницы, способны выживать еще дольше — безжизненные волокна снова стали червяками через 32 года.

В последние десятилетия наука пополнила список воскресающих мухами, грибами, бактериями и другими видами. В Антарктиде с отступлением ледников обнажился мох, который высох и замерз как минимум 600 лет назад. После бережной посадки он дал новые зеленые побеги. В Сибири ученые нашли норы, вырытые сусликами ледникового периода 30 000 лет назад, в них оказались высохшие семена растения, известного под названием смолевки узколистной. Ученые вырастили из них здоровые растения, которые дали собственные семена⁷.

Современным воскресителям пока еще не вполне ясно, как эти существа переживают подобную трансформацию. Обычно вода — необходимое условие бесконечных химических реакций, происходящих ежесекундно в каждой клетке. Она также помогает мембранам поддерживать нужную гидрофобную структуру и направляет белки так, чтобы их спирали и листы сохраняли требуемую укладку. Когда клетка теряет воду, химические реакции буксуют и останавливаются. Белки слипаются вместе, образуя токсичные агрегаты; клеточные мембраны превращаются в липкое желе. В принципе, наш организм способен переносить временную потерю небольшого количества воды — почки выделяют меньше мочи, сердцебиение учащается, чтобы увеличить поступление

кислорода в клетки, — но стоит потере воды превысить несколько процентов от массы нашего тела, как у нас начинают отказывать внутренние органы и вскоре наступает смерть.

Тихоходки же и им подобные способны терять всю воду. Можно сказать, что они в таком виде больше не относятся к живым, ведь уже не могут осуществлять химические реакции, необходимые для жизни. Однако они и не мертвы. Если полить водой кого-то, кто умер от обезвоживания, он не поднимется. Будет мокрый труп, и всё. Но если оросить высушенную тихоходку, то через считанные минуты перед вами будет подвижное, способное к питанию и размножению животное. Эта серая зона существования получила собственное название — криптобиоз, описанный одним из научных коллективов как «третье состояние — между жизнью и смертью»¹⁸.

Когда представитель криптобиотического вида начинает высыхать, он облегчает себе переход в это состояние. Некоторые виды реагируют на обезвоживание, синтезируя сахар под названием «трегалоза». Благодаря своему химическому строению трегалоза способна удерживать белки в нужной конфигурации так же, как вода. Но, в отличие от воды, она не испаряется в сухих условиях. Этот запас псевдоводы дает высыхающему организму дополнительное время для подготовки к долгому криптобиозу. Многие виды синтезируют новый набор белков, которые связываются друг с другом и образуют нечто вроде биологического стекла. Оно укрывает ДНК и другие молекулы клетки в их трехмерной конфигурации, так что они будут готовы ожить, когда вода вернется.

Это третье состояние настолько устойчиво, что позволяет организмам переносить не только обезвоживание. Они способны выживать даже в космосе.

В 2007 г. группа ученых собрала тихоходок в Германии и Швеции, высушила их и положила в контейнер. Этот контейнер отправили с российской ракетой на околоземную орбиту. Десять дней животные находились в открытом безвоздушном пространстве. По возвращении на Землю они ожили от капли воды.

В 2019 г. люди отправили тихоходок еще дальше. Фонд Arch Mission Foundation затеял проект, который в журнале *Wired* был назван созданием «резервной копии нашей планеты»¹⁹. Участники

проекта разработали миниатюрную Лунную библиотеку, в которую внесли 30 млн страниц информации вместе с образцами человеческой ДНК и тысячами высушенных тихоходок. Частная израильская авиакосмическая компания поместила эту библиотеку на борт аппарата «Берешит», который отправили на Луну.

Прямо перед посадкой отказал двигатель аппарата, и израильские инженеры потеряли след зонда. Скорее всего, он разбился о лунную поверхность. Может быть, библиотека осталась цела и лежит на месте падения. Земля всходит и заходит над тихоходками, а они, с клетками, замурованными в стеклянной гробнице* между жизнью и смертью, все ждут воды, которой им не суждено дожждаться.

Левенгук вводил своих зверушек в состояние, подобное смерти, и европейцы беспокоились, что сами могут испытать нечто подобное. Они читали брошюры с жуткими историями припадков, жертвы которых утрачивали признаки дыхания или сердцебиения²⁰. Их принимали за мертвецов, опускали в могилы, и они приходили в сознание в гробу, когда спастись было уже невозможно.

Страх перед этим готическим кошмаром на протяжении XVIII в. набирал силу, а в следующем только укрепился. Эдгар Аллан По использовал подобный кошмар для своего рассказа «Преждевременное погребение», опубликованного в 1844 г. «Границы между жизнью и смертью темны и очень приблизительны, — писал По. — Кто скажет, где кончается одна и начинается другая?»**

Напуганные подобными рассказами семьи приобретали гробы, оборудованные веревкой и колокольчиком, чтобы их не до конца почившие близкие смогли поднять тревогу. В XIX в. во многих немецких городах строились изукрашенные «усыпальницы ожидания», где тела, выглядящие мертвыми, можно было хранить до тех пор, пока они не начнут разлагаться. Одно из таких учреждений во время поездки в Мюнхен в начале 1880-х гг. посетил Марк Твен.

* На самом деле они заключены в эпоксидную смолу. — *Прим. ред.*

** Пер. В. А. Неделина.

«Страшное место... — писал он впоследствии. — В стенах комнаты были сделаны глубокие альковы вроде окон, и в них лежали с мраморными лицами дети, совершенно спрятанные под ворохом живых цветов, так что виднелись только личики и сложенные накрест руки. И у каждой из пятидесяти фигур — больших и маленьких — на пальце было кольцо; от кольца шла проволока к потолку и оттуда — к звонку в дежурную комнату»^{*21}.

Все это была затейливая трата времени: страхи перед погребением заживо подкреплялись скорее слухами, нежели фактами. Но, не имея быстрого и надежного способа установить смерть, врачи не могли успокоить сомневающихся родственников. Один медик рекомендовал ставить пациентам клизмы из табачного дыма. Если они не реагировали, их можно было уверенно считать мертвыми. К середине XIX в. многие врачи стали осваивать новое изобретение — стетоскоп. Даже слабое «тук-тук» говорило о том, что пациент еще жив. Лишь продолжительное молчание сердца стало считаться надежным признаком того, что человек действительно умер.

Уже Биша понимал, почему остановка этого органа — подходящий критерий для определения смерти. Наряду с мозгом и легкими сердце принадлежит, как уже было сказано, к трем столпам жизни. Если оно отказывает, отказывают и остальные два. В XX в. ученые опишут прекращение работы этих органов на клеточном уровне. Сердце может остановиться при недостаточном притоке кислорода из легких — если те повреждены или заполнены жидкостью. Клетки сердца нуждаются в кислороде и сахарах, чтобы получать энергию, а без нее не способны сокращаться. Если они не сокращаются, сердце не может подавать кровь к мозгу. Мозговые клетки потребляют еще больше кислорода, чем сердечные, и при его дефиците начинают гибнуть через несколько минут.

Но и удар по голове может остановить сердцебиение. При ударе мозг вжимается в свод черепа, нежные кровеносные сосуды рвутся. Изливается кровь, мозг разбухает и выдавливается в затылочном направлении, к отверстию в основании черепа. В резуль-

* Твен М. Жизнь на Миссисипи. Гл. 31. Пер. Р. Райт-Ковалевой.

тате перекрываются кровеносные сосуды, несущие кислород большим участкам мозговых тканей. Мозговой ствол — часть мозга, которая посылает сигналы сердцу биться, а легким дышать, — нередко гибнет первым.

Биша был прав, полагая, что если врачи поймут смерть, то они лучше научатся спасать жизнь. Они научились лечить потерю крови переливаниями. Они научились справляться с отравлениями и бороться с патогенными микроорганизмами. Ближе к середине XX в. американские врачи столкнулись с чередой эпидемий полиомиелита, после которых тысячи детей оставались парализованными и медленно умирали от удушья. Инженеры разработали для маленьких пациентов дыхательный аппарат «железное легкое»²². В нем применялись насосы, создававшие вокруг груди ребенка отрицательное давление и способствующие свободному течению воздуха в легкие. По сути, три столпа жизни получали podporку до того времени, пока организм ребенка не справится с вирусом и не восстановит способность самостоятельно дышать.

К 1950-м гг. на смену «железному легкому» пришли трубки, нагнетающие воздух непосредственно в дыхательные пути пациента. Благодаря появлению вакцины от полиомиелита эпидемии параличей ушли в прошлое, но врачи продолжали использовать искусственную вентиляцию легких при лечении других пациентов: провалившихся под лед, жертв передозировки наркотиков, недоношенных младенцев — всех, кто нуждался в поддержке дыхания.

Однако французские неврологи Пьер Молларе и Морис Гулон пришли к выводу, что вентиляция — палка о двух концах²³. Она спасла много жизней, но в некоторых случаях лишь растягивала умирание. У пациентов с обширным повреждением мозга вентиляция поддерживала работу сердца и легких — но мозг-то не восстанавливался! Молларе и Гулон старательно фиксировали результаты лечения этих страдальцев и обнаружили, что вентиляция не приводит их в сознание. Как правило, пациенты умирали через несколько часов или дней. Вентиляция, по-видимому, лишь продлевала терзания их родных.

Это бесперспективное состояние было, по словам Гулона, «новым, доселе не описанным»²⁴. На одной из конференций 1959 г.

они с Молларе дали ему название: *coma dépassé* — «запредельная кома».

Современная медицина поставила под сомнение привычную черту смерти — точно так же, как она изменила наше понимание рождения. Начало жизни не подчинялось нашему контролю, пока исследователи стволовых клеток не научились превращать заурядную клетку кожи в эмбрион, потенциально способный стать человеком или чем-то новым, вроде органоида мозга. Смерть когда-то тоже была неизбежной, если один из трех столпов Биша рушился. Теперь же искусственная вентиляция пошатнула «правило» Биша, породив новую вариацию жизни.

Другие врачи разделяли тревоги Молларе и Гулона по поводу *coma dépassé*²⁵. «Успехи реанимационной и поддерживающей терапии привели ко множеству отчаянных попыток спасти умирающего пациента, — говорил гарвардский анестезиолог Генри Бичер в 1967 г.²⁶ — Порой это удается только в отношении организма, без мозга. Таких людей в стране становится все больше, и встает ряд проблем, требующих обсуждения»²⁷.

По горькой иронии, *coma dépassé* явилась на сцену своевременно. В то время как искусственная вентиляция оставляла пациентов в ловушке безысходности, хирурги-трансплантологи учились спасать жизни, пересаживая органы от доноров к реципиентам. В 1954 г. бостонский хирург Джозеф Мюррей заменил пациенту больную почку почкой его брата-близнеца. Найти людей, согласных пожертвовать этот орган, было непросто, к тому же донорский материал мог вообще не подойти пациенту. Если же речь шла о сердце или поджелудочной железе, то этим органом поделиться вообще никто не мог — за неимением парного.

Мюррей и его коллеги решили изымать нужные органы у только умерших людей, но у этого метода оказались свои недостатки. Хирургам-трансплантологам приходилось готовиться к изъятию органа, пока пациент был еще жив. Затем, прежде чем хвататься за скальпель, им приходилось ждать, когда остановится сердце и врач официально констатирует смерть потенциального донора. Чем больше времени проходило между смертью и пересадкой, тем сильнее разлагались органы и тем хуже становились перспективы для реципиентов.

Тем временем трансплантологи видели, что все больше и больше пациентов в состоянии *coma dépassé* лежит в ожидании смерти при сохранности органов. «Пациентов доставляют по скорой уже мертвыми, а почки, которые могли бы принести пользу, выбрасывают»²⁸, — жаловался Мюррей.

Некоторые врачи тихонько брали инициативу в свои руки. Они подготавливали пациента к пересадке органа и привозили каталку со вторым пациентом, находящимся в *coma dépassé*. Отключали искусственную вентиляцию легких и ждали надежного признака смерти — остановки сердцебиения. Затем как можно скорее извлекали орган у донора и пересаживали его живому пациенту. Эта процедура сокращала время пересадки, но даже за столь короткий срок органы могли испортиться.

Бельгийский хирург Ги Александр решил, что не станет больше ждать так долго. Готовясь провести пересадку почки²⁹, Александр выбрал пациента с необратимыми повреждениями мозга, у которого отсутствовали признаки мозговой активности. Не отключая ИВЛ, он извлек почку, которую тут же пересадил новому хозяину. Донор вскоре умер, а пересаженная почка продолжила работать без перерыва. Она проработала еще три месяца, но затем пациент Александра скончался от сепсиса.

В 1966 г. Александр описал свои действия на одной из конференций хирургов. Но врачи в аудитории не поддержали его. «По моим ощущениям, если у пациента бьется сердце, он не может считаться трупом», — заявил британский хирург Рой Калне.

Председательствующий на конференции попросил поднять руки хирургов, которые согласны с определениями жизни и смерти, данными бельгийцем, и готовы последовать его примеру. Поднялась только одна рука — самого Александра.

В 1967 г. Бичер собрал в Гарварде рабочую группу с целью установить, как классифицировать это загадочное новое состояние. В нее вошли Мюррей и другие врачи, а также юрист и богослов. Между членами свежееобразованной комиссии тут же вспыхнули ожесточенные дебаты, продлившиеся несколько месяцев, но в итоге все пришли к консенсусу и в 1968 г. опубликовали отчет в *The Journal of the American Medical Association*. В работе предлагался новый критерий констатации смерти пациента — смерть мозга³⁰.

Комиссия согласилась, что медицине следует избавляться от устаревших представлений о жизни и смерти. Остановка сердца когда-то была надежным способом констатировать смерть, поскольку приводила также к отказу легких и мозга. Теперь же врачи располагали возможностями поддерживать сердцебиение даже тогда, когда мозг был безнадежно поврежден. «Нынешние усовершенствования способны вернуть “жизнь” в ее древнем понимании стабильного дыхания и непрерывного сердцебиения», — сообщила комиссия.

Бичер и его коллеги заключили слово «жизнь» в кавычки. Обширные повреждения мозга зачастую не оставляли пациентам ни малейшей надежды вернуться в сознание, заявила комиссия. Если врачи установят, что наступил «синдром смерти мозга», как обозначили его в отчете, то пациента пора считать мертвым.

Комиссия рекомендовала врачам провести ряд проверок, прежде чем сделать это заявление. Линии ЭЭГ пациента должны быть прямыми. Зрачки — неподвижными и суженными. Врачам следует отключить аппарат ИВЛ на несколько минут, чтобы убедиться, что пациент не способен дышать самостоятельно. Некоторые члены комиссии считали, что врачам следует повторять эти тесты три дня подряд. Но трансплантологи сочли такую задержку слишком долгой — их пациенты не могли дожидаться органов столько времени. Они убедили своих коллег понизить рекомендательный срок до одного дня. После этого врач мог объявлять пациента мертвым и отключать вентиляцию. Комиссия советовала медикам никогда не менять этот порядок действий: «В противном случае врачи будут отключать дыхательный аппарат человеку, который по букве нынешнего закона в его строгом понимании все еще жив», — предостерегали ее члены.

Доклад комиссии изобилдовал ценными практическими указаниями, но ему безнадежно недоставало аргументированности³¹. Бичер и его соавторы просто утверждали, что пациентов с синдромом смерти мозга следует считать мертвыми, никак не обосновывая это. Они затронули глобальные вопросы, которые повисли в воздухе. В частности, когда комиссия утверждала, что у людей с синдромом смерти мозга нет надежды на возвращение сознания, имелось ли в виду, что сознание — квинтэссенция жизни?

Эти лакуны были обойдены вниманием при публикации отчета. Газета *The New York Times* поместила его на первую полосу под заголовком «Гарвардский совет настаивает на определении смерти через состояние мозга»³² (“Harvard Panel Asks Definition of Death Be Based on Brain”). Врачи США и других стран вскоре присоединились к этому предложению. Десятилетие спустя, оглядываясь на работу комиссии 1967 г., гарвардский хирург Уильям Свит оценивал ее как безусловный успех.

«Неотвратимая логика подхода, согласно которому смерть мозга приравнивается к смерти личности, ныне обрела широкое признание»³³, — писал он. Постепенно это признание закрепилось и юридически. Штаты начали вводить так называемый комплексный мозговой стандарт: человек с «необратимым прекращением всех функций всего мозга, включая его ствол» юридически считался мертвым³⁴.

Девятого декабря 2013 г. в детскую больницу Окленда, штат Калифорния, поступила девочка по имени Джахи Макмат. Ей предстояла небольшая операция, которая должна была помочь девочке избавиться от храпа. Хирург удалил ей гланды и часть нёба; через несколько часов Джахи очнулась и стала есть мороженое. Но еще через час изо рта у девочки пошла кровь. После этого не прошло и пяти часов, как ее сердце остановилось.

Медицинский персонал бросился на помощь Джахи, и ее сердце удалось запустить снова, но пришлось прибегнуть к ИВЛ. На следующее утро, обследовав девочку, врачи установили, что она подверглась разрушительной гипоксии. На ЭЭГ отсутствовала мозговая активность. Зрачки не реагировали на свет. Минуту уже 45 лет с тех пор, как комиссия Бичера ввела понятие смерти мозга, и врачи Джахи решили, что она явно подпадает под соответствующие критерии. Через три дня после злополучной операции Джахи Макмат была объявлена умершей.

Благодаря аппарату ИВЛ ее легкие все еще наполнялись воздухом, а сердце билось. Социальный работник пришел поговорить с ошеломленными, убитыми горем родителями Джахи об отключении ее от аппарата. Но опыт общения родственников девочки

с медицинским персоналом был крайне неприятным. Когда у Джахи пошла горлом кровь, родители умоляли оказать ей помощь, но слышали их не сразу. Позже выяснилось, что лечащий врач оставил пометку о необычном расположении сонной артерии их дочери — слишком близко к миндалинам, — но в больнице на эти сведения явно не обратили должного внимания. Теперь же встреча с социальным работником произвела на родителей Джахи впечатление, что больница склоняет их убить дочь. Они отказались дать согласие на отключение ИВЛ и настояли на том, чтобы аппарат продолжал работать. Кроме того, они потребовали ввести Джахи зонд для кормления, чтобы она не умерла от голода.

Больница отказалась предоставлять уход после констатации смерти. Родители перенаправили свое требование в суд. «Истцы — христиане, обладающие твердым религиозным убеждением, что, пока сердце Джахи бьется, она жива», — заявил судье их адвокат Кристофер Долан³⁵.

Судья постановил, что в этом деле требуется экспертиза независимого невролога. Тот пришел к тому же выводу, что и больничные врачи: Джахи умерла. Сердцебиение не имело значения — все решало состояние ее мозга. После очередных переговоров родители и руководство больницы достигли соглашения. Коронер выписал свидетельство о смерти, а затем больница отдала Джахи родителям вместе с аппаратом ИВЛ.

На собранные посредством интернета деньги мать Джахи, Наиля Уинкфилд, на самолете переправила дочь через весь континент. Они приземлились в Нью-Джерси — штате, где законодательство позволяет родственникам пациентов не признавать смерть мозга по религиозным соображениям.

Большинство докторов и биоэтиков глубоко встревожил такой поворот в деле Джахи. Смерть мозга действительно означала смерть. Некоторые эксперты намекали, что перевозка тела Джахи в Нью-Джерси была всего лишь тактическим ходом, придуманным Доланом с целью отсудить у больницы деньги. «Она же начнет разлагаться», — сказал биоэтик Артур Каплан журналистам газеты *USA Today*³⁶.

К тому времени как Джахи оказалась в новой больнице, она не ела уже три недели. Когда ей вставили пищевой зонд, состоя-

ние девочки стало улучшаться. Большинство пациентов после констатации смерти мозга умирает в течение первых часов или дней, но Джахи жила неделями, месяцами. Ее юное тело росло. У нее начались менструации.

В августе 2014 г. Наиля перевезла Джахи из больницы на квартиру. Сиделки ухаживали за девочкой круглосуточно, и Наиля помогала им поворачивать дочку каждые четыре часа, чтобы уберечь ее от пролежней.

Параллельно с этим родные Джахи начали тяжбу с детской больницей Окленда, обвиняя ее в халатности. Одна из некоммерческих организаций оплатила визит врача, который подверг девочку новой череде неврологических обследований. Позднее Долан сообщил, что, согласно осмотру, некоторые области ее мозга оказались сохранными, в них присутствовал кровоток. Адвокат подал в суд в штате Калифорния иск о признании Джахи живой. Иск снова отклонили.

Три года спустя Джахи и Наилю посетила Рейчел Авив, штатный корреспондент газеты *The New Yorker*. Наиля показала Авив видеозаписи, снятые ею на мобильник. На этих жутковатых видео Джахи шевелила пальцами рук и ног, вроде бы отвечая на просьбы родственников и сиделок. Когда мать попросила Джахи пошевелить пальцем, Авив показалось, что в движении той присутствует элемент целенаправленности.

Позже журналистка писала: «Возможно, я вкладывала слишком много смысла в едва уловимые движения».

Случай Джахи Макмат положил начало дискуссии о том, что такое смерть мозга. Чем активнее разворачивалась эта дискуссия, тем яснее становилось, что ход дебатов удивительно напоминает споры об абортах. Все сводилось к вопросу, что с нашей точки зрения означает быть живым — а точнее, что значит быть живым для человека.

Еще со времен работы гарвардской комиссии 1967 г. были критики, оспаривавшие такой подход к смерти мозга, и случай Джахи выветрил их претензии особенно выпукло. Как может человек, у которого констатирована смерть мозга, годами сохранять сердцебиение? Как Джахи могла достичь половой зрелости и, возможно, даже реагировать на просьбы? Калифорнийский нев-

ролог Алан Шьюмон, давний противник диагноза «смерть мозга», по приглашению семьи Макмат ознакомился с видеозаписями и результатами обследований. «Я убежден, что с начала 2014 г. Джахи Макмат находилась в “минимально сознательном состоянии”»³⁷, — заявил он затем.

По версии Шьюмона, когда у Джахи отсутствовало дыхание, ствол ее мозга необратимо пострадал, но кора частично осталась сохранной. Следовательно, она не отвечала критериям комплексного мозгового стандарта для установления смерти мозга, пусть даже результаты обследований говорили иное. Шьюмон предположил, что врачи, обследовавшие Джахи, упускали краткие моменты, когда она была способна реагировать на внешний мир.

Роберт Труог, детский реаниматолог из Гарварда, допускал другую возможность. После операции в 2013 г. состояние Джахи действительно подпадало под критерии смерти мозга. Но теперь, по мнению Труога, положение изменилось.

«Возможно, состояние Макмат действительно несколько улучшилось, поднявшись чуть-чуть вверх по спектру повреждений мозга, — писал Труог в 2018 г. — Само по себе это не так уж удивительно. Но в теоретическом плане это значимо, поскольку в таком случае она пересекла четкую правовую границу, которую мы проводим между живыми и мертвыми»³⁸.

Другие врачи оказались настроены более скептически. Их не впечатлили рассказы из вторых рук о видеозаписях с мобильного. Однако никто не отрицал, что Джахи достигла половой зрелости. Вступлением в переходный возраст управляет гипоталамус, находящийся в мозгу. Среди прочих функций он отвечает за выделение гормонов, которые запускают созревание детского организма. Факт наступления у Джахи половой зрелости означает, что как минимум этот небольшой участок ее мозга был сохранным.

Возможно, гипоталамус выносливее других областей мозга благодаря особенностям своего строения. Он находится у основания черепа, где его питает специальный комплекс артерий. Никто не знает наверняка, сколько еще людей, у которых констатировали смерть мозга, обладали на тот момент сохранным гипоталамусом. Но есть косвенные данные, что немало.

Одна из функций этой небольшой области мозга — управление солевым балансом в организме. Гипоталамус осуществляет ее, выделяя в кровоток гормон вазопрессин. Гормон этот чрезвычайно нестойкий и активен лишь несколько минут после выработки. Чтобы поддерживать постоянный уровень солей в организме, гипоталамус вынужден отслеживать его и обеспечивать стабильное поступление вазопрессина. Если он гибнет из-за инсульта или опухоли, то сбрасывает настройки солевого баланса, что приводит к так называемому несахарному диабету, способному разрушить почки.

В 2016 г. коллектив исследователей проанализировал истории болезни 1800 пациентов, у которых была констатирована смерть мозга³⁹. Некоторые из них страдали несахарным диабетом, что подразумевало отказ гипоталамуса. Но не у всех было это заболевание. Ученые заключили, что около половины пациентов демонстрировали признаки того, что регуляция солевого баланса гипоталамусом у них все еще сохранялась. Одним из соавторов этого исследования был Майкл Нейр-Коллинз, биоэтик из Университета штата Флорида⁴⁰. Также он выступил в печати с серией нападок на критерии комплексного стандарта касательно смерти мозга⁴¹. Исследователь утверждал, что в принципе невозможно говорить об отказе всего мозга пациента, раз его часть — в данном случае гипоталамус — сохраняет работоспособность.

Если врачи по итогам обследования приходят к подобному заключению, писал Нейр-Коллинз, то беда не с мозгом пациента, а с обследованием — или, возможно, с представлениями о жизни и смерти, на которые опираются врачи.

Гипоталамус — один из множества органов, жизненно важных для поддержания порядка в нашем организме. Нужный баланс солей необходим, но точно так же необходим нужный уровень кровяного давления, которое регулируется гормонами почек. Помимо этого, организм нуждается в непрерывной выработке эритроцитов. Селезенка разрушает старые эритроциты, а костный мозг производит новые. Иммунной системе приходится бороться с патогенами, одновременно поддерживая мирные отношения с триллионами обитающих в нашем организме бактерий. Поступающая в организм пища — неважно, происходит это обычным

способом или через зонд, — должна расщепляться на сахара и другие питательные вещества. Печень и другие органы призваны запасать излишки сахаров, а затем — выделять, чтобы поддерживать их стабильный уровень в крови.

На самом деле аппараты ИВЛ эффективны лишь потому, что организм, который они снабжают воздухом, в состоянии поддерживать свое внутреннее равновесие сам. Воздух, закачиваемый в легкие, должен добраться до концов тончайших трубочек, где кислород уже сможет отправиться в кровеносные сосуды. Клетки этих трубочек имеют специальное жироподобное покрытие, оно предотвращает слипание клеток и просвет всегда остается открытым для поступления воздуха.

«ИВЛ умеет гонять воздух по бронхиальному дереву, — говорит Нейр-Коллинз. — Все остальное организму приходится делать самому».

По его словам, вышеизложенное применимо не только к Джахи Макмат, но и к любому пациенту, который после констатации смерти мозга все еще способен дышать на ИВЛ. Во всех этих случаях тело пациента остается живым в фундаментальном смысле. «Выводы насчет понятия смерти мозга очевидны, — заявляет Нейр-Коллинз. — Пациент, подпадающий под критерии смерти мозга и находящийся на искусственной вентиляции, несомненно, с биологической точки зрения жив».

В то время как Нейр-Коллинз призывал отменить понятие смерти мозга, адепты этого критерия продолжали его отстаивать. Джеймс Бернат, невролог из Дартмутской медицинской школы, впервые выступил в печати с защитой понятия смерти мозга в 1981 г. Когда 33 года спустя случай Джахи Макмат привлек всеобщее внимание, Бернат не счел его достаточным основанием, чтобы упразднить это понятие. Проблема была не в нем, а в обследованиях. Диагноз Джахи, утверждал Бернат в 2019 г., «мог представлять собой ложноположительную констатацию смерти мозга»⁴².

Но единственный ложноположительный случай не означает, что само понятие смерти мозга ошибочно, доказывает Бернат. Клетки нашего организма живые, но жизнь человека определяется не только жизнью его составляющих. Если говорить о человеческом существовании, то важна взаимосвязь этих составляющих,

образующая новые уровни сложности. Наш мозг интегрирует сигналы, поступающие со всего организма, и посылает команды, управляющие телом. Из этой интеграции рождаются мышление, самосознание и все то, что мы называем человеческой психикой.

«Смерть — биологическое необратимое событие, общее для всех организмов»⁴³, — говорит Бернат. Для них всех смерть есть утрата целостности. Микроб гибнет, если теряет ее в пределах одной клетки. Людям, утверждает Бернат, есть что терять в гораздо более крупных размерах: «Хотя и живая бактериальная клетка, и человек в конце концов умрут, события смерти у них существенно различаются». У человека функционирование организма как единого целого организуется мозгом. Поэтому смерть мозга выливается в необратимую утрату такого целостного функционирования — именно это и является критерием смерти отдельного представителя нашего вида.

Пока разворачивались споры, Джахи начала угасать⁴⁴. Проработав три года нормально, ее печень отказала, и у девушки началось внутреннее кровотечение. Диагностическая операция не помогла установить причину болезни, и состояние Джахи продолжало ухудшаться. Врачи предложили еще одну операцию, но Наиля Уинкфилд решила, что ее дочь достаточно настрадалась.

«Я сказала ей: “Просто хочу, чтобы ты знала — не надо оставаться здесь ради меня. Если ты хочешь уйти, можешь уйти”»⁴⁵, — делилась она впоследствии.

Джахи скончалась 22 июня 2018 г. в возрасте 17 лет. Мать наконец отвезла ее домой в Калифорнию и похоронила там. Штат Нью-Джерси, до тех пор признававший ее живой, выдал новое свидетельство о смерти. С точки зрения слепой Фемиды, Джахи Макмат умерла дважды.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ ПРИМЕТЫ ЖИЗНИ

КУШАТЬ ПОДАНО

Однажды вечером в Таскалусе я познакомился с самкой питона; ее звали Хайди. К трехлетнему возрасту змея уже достигла двухметровой длины, ее мускулистое тело в диаметре было толще, чем бицепс бодибилдера. Питон лежал в террариуме из стеклопластика, свернувшись кольцами и поблескивая под лампами, словно разукрашенный узором из ромбиков темный шланг.

Пока я любовался Хайди, ее хозяин, Дэвид Нельсон, бросил ей живую крысу. Та застыла в углу террариума, но поначалу Хайди как будто не обратила на нее внимания. Вместо этого змея уставилась на Нельсона. С ее предыдущего обеда прошло две недели, и, возможно, она хотела узнать, сколько крыс сегодня в меню¹.

Нельсон пошел дальше — кормить остальных змей, а Хайди спустя некоторое время лениво развернулась к новоприбывшей. Подергала раздвоенным языком — а затем совершила молниеносный бросок вперед. Ее вялое тело превратилось в боевую ракету.

На верхней челюсти у Хайди была пара длинных кривых зубов. Впечатавшись в крысу головой, змея вонзила их в свою добычу и двумя кольцами обернула тело вокруг крысы. Поверх колец виднелись розовые лапки и торчащий вертикально голый хвост. Между кольцами я различал белое брюшко, которое все еще двигалось в такт дыханию.

Снаружи представляется, будто бы Хайди душит крысу, но ученые подозревают, что на самом деле питоны убивают добычу не так. Та умирает слишком быстро для подобного способа. Возможно, змеи прекращают жизнь своей жертвы, избыточно выдавливая ее кровь в мозг. И вместо последнего вздоха у жертвы про-

исходит последний взрыв². Хайдина крыса затихла меньше чем через минуту.

Змея расправила свои кольца и заскользила прочь, словно забыв о трупике животного. Потом как бы нехотя, бочком, вернулась. Оказавшись нос к носу с мертвой крысой, Хайди снова разинула пасть. На этот раз ейгодились мелкие боковые зубы — чтобы ухватить добычу за голову. Хайди не то чтобы глотала крысу, она, скорее, натягивала на нее собственную голову. Из желез во рту змеи сочилась слюна, смазывая тельце крысы, — так питону легче было натянуть челюсти на плечи и передние лапки зверька. Пасть раздвигалась вширь, увеличивая проход для пищи. Извиваясь из стороны в сторону, Хайди проталкивала крысу в пищевод. Через несколько минут подобных экзерсисов она подняла голову повыше и обратила взор к стеклянной дверце террариума. Змея словно предоставляла публике возможность попрощаться с крысой, прежде чем задние лапки и хвост животного скроются в питоньем нутре.

За исключением людей с синдромом Котара всякий из нас знает, что жив. Благодаря тому что наш мозг настроен на общение, мы обладаем мгновенным интуитивным чутьем на присутствие жизни и в наших собратях-людях. На других видах это чутье срабатывает хуже, ведь мы не можем поговорить с ними или уловить смысл улыбок, озаривших их мордочки. Но и тут прямо с младенчества мы умеем срезать мысленные пути, например распознаем жизнь по движениям, порождаемым изнутри. Дети в раннем возрасте уже догадываются, что животные, подобно людям, живые, хотя, чтобы усвоить то же в отношении растений, им требуется больше времени. Взрослея, дети не только не утрачивают это внутреннее понимание, но в придачу развивают способность выражать его словами. Если спросить их, откуда им известно, что змея или папоротник живые, они сошлутся на ту или иную примету живого — нечто общее для всех живых существ. Получается, что дети — маленькие биологи. А биологи, в свою очередь, великовозрастные дети.

С Хайди я познакомился, когда затеял свои поездки, чтобы пообщаться с такими вот великовозрастными детьми. Каждый

биолог, исследующий приметы жизни, назовет вам свой список этих примет. Но некоторые будут неизменно повторяться: метаболизм, сбор информации, гомеостаз, размножение и эволюция. От вида к виду каждая примета может принимать невообразимое разнообразие форм. Однако даже самые крайние варианты обладают глубинным единством.

К примеру, я, в отличие от Хайди, не сумею проглотить крысу целиком, но мне тоже необходимо есть, чтобы выжить. Колибри нужно пить нектар, жирафам — жевать листья с вершин деревьев. Секвойя не поедает других живых существ, но в некотором роде она все же ест, хотя ее пища лишь воздух и солнечный свет.

Эта пища затем претворяется в энергию и плоть. Хайди превращала съеденных ею грызунов в свои мышцы, кишечник, мозг и кости. Секвойи превращают свою пищу в кору и древесину. Вот эти-то превращения и называют метаболизмом (от греческого слова μεταβολή — «изменение»).

Вряд ли кто разбирается в метаболизме питонов лучше биолога Стивена Секора из Алабамского университета. Это он «познакомил» меня с Хайди. Я встретился с Секором у него в лаборатории, и мы поехали из кампуса на восточную окраину города, мимо баптистской церкви Надежды Сиона и мотеля Moon Wink к дому Дэвида Нельсона и его жены Эмбер. «Тойота» Секора свернула на подъездную дорожку Нельсонов как раз в тот момент, когда Дэвид направлялся в свой модернизированный подвал, таща с собой синий термоконтейнер. Нельсон был очень большим и лысым, из-под рукавов его зеленой футболки выглядывали вытатуированные на плечах полосы. Контейнер же был набит дохлыми крысами.

Мы с Секором последовали за Нельсоном внутрь. Бетонный пол подвала был покрыт черными губчатыми матами. Половину пространства занимали снаряды для тяжелой атлетики, на стенах висели плакаты с надписями типа КМП США* или ТОЛЬКО ДЛЯ ФАНАТОВ ТОНИ СТЮАРТА**. Другая половина подвала была

* Корпус морской пехоты США. — *Прим. пер.*

** Автогонщик. — *Прим. пер.*

забита поставленными друг на друга ящиками из стеклопластика, которые напоминали опрокинутые набок холодильники. В передней части каждого ящика была стеклянная дверца, сквозь которую можно было разглядеть крупную змею.

Нельсон и Секор стали вынимать змей из ящиков и позволили им ползать у себя по плечам и шее. «Как там мой пусечка?» — спросил Секор питона по кличке Монти. А потом уточнил: «Монти хороший, правда?»

«Конечно», — ласково ответил Нельсон, как будто речь шла о карликовом шпице в гостиной. Однако, общаясь со змеями, Дэвид никогда не терял бдительности. Биолог непрерывно следил за их движениями, хотя и позволял рептилиям трепетать языком у самых своих глаз. «Любая из них может убить вас при случае», — сказал он жизнерадостно.

Секор был заметно ниже Нельсона, однако умел не хуже справляться с могучими животными. Он вырос на коневодческой ферме и полагал, что станет ветеринаром. В колледже одной из его обязанностей было ухаживать за лошадьми, которым провели хирургические операции.

У лошадей есть дурная привычка вскакивать на ноги, еще не отойдя от наркоза, — при этом они спотыкаются и ломают себе конечности. Секор должен был удерживать животных, чтобы те не вставали, пока окончательно не придут в себя. Он садился верхом на шею коня и прижимал его морду руками к полу. Поначалу, слишком еще одурманенные, лошади не могли ему сопротивляться. Затем, набравшись сил, они скидывали «наездника».

«Если лошадь меня сбросила, значит, она уже может вставать», — объяснил мне Секор. Как раз тогда-то, в период коневодства, Секор и раздумал становиться ветеринаром, а решил поступить в аспирантуру, чтобы изучать змей.

Нельсон же в рабочее время руководил производством автозапчастей на местном заводе. В остальное время был змееводом. В детстве он ловил змей в лесах Алабамы, а едва купив собственный дом, начал разводить их у себя. Нельсон научился купать питонов. Он придумал, как умерщвлять крыс без мучений, смешивая уксус с пищевой содой, чтобы заполнить их контейнер углекислым газом. Он наловчился ухаживать за линияю-

щей змеей так, чтобы ее кожа сходилась сплошным чехлом. Он постил фотографии своих питонов и удавов в «Инстаграм» и приносил их на занятия воскресной школы своего прихода, чтобы помочь детям избавиться от неприязни к змеям. «А по вечерам я занимаюсь вот этим», — сказал Нельсон, оглядывая свое змеиное царство.

В подвал спустилась Эмбер — посмотреть на кормление. У нее были светлые мелированные волосы и большие серьги со стразами. Поначалу, рассказывала мне она, ей не особенно нравилось быть женой змеевода. Но все изменилось, когда одна из змей Дэвида заболела. Эмбер, по специальности медсестра, помогала мужу прочищать ноздри змеи, чтобы та могла дышать. Поправившись, змея взяла в привычку нежиться, свернувшись на коленях у Эмбер, пока та смотрела телевизор в гостиной. «Наверное, у меня включился режим мамочки», — говорит она.

С Секором Нельсона познакомил общий друг — на тот момент у Стивена были змеи, которые слишком выросли для его исследований, и он хотел найти для них хороший приют. В итоге Нельсон поставил в свой подвал новые штабеля ящиков, а змеи с помощью Эмбер поменяли свои бывшие бездушные номера, присвоенные им Секором, — AL1, AQ6 и т. п. — на имена типа Хайди или Самсон.

Эмбер полюбила всех рептилий Секора, кроме одной — самца, которого она прозвала Люцифером. «Вы бы слышали, как его называли раньше!» — сказала она.

Секор и Нельсон, оба с висящими на шеях змеями, обсуждали характер каждого животного. Монти, к примеру, добродушно относился к детям. Некоторым змеям больше всего нравились темные углы. Другие научились открывать дверцы ящиков и любили заползать наверх к потолочному вентилятору. Делайла, питон-альбинос, месяцами не ела. По словам Нельсона, «подобное оцепенение нападает на нее ежегодно, зато потом она обжирается».

Дэвид вернулся к своему делу — кормлению змей. Сегодня в меню были крысы, но иной раз в нем бывали и кролики. «С кроликами быстрее, — пояснил Нельсон. — Дал одного, и готово». Иногда ему удавалось достать для самых крупных змей поросят-

отъемышей. В дикой природе питоны охотно едят крупную добычу — в половину собственного веса. Известны случаи, когда они заглывали оленей и аллигаторов.

Из подобных гигантов питоны производят внутреннее топливо. Это то же самое топливо, которое производим мы, которое производят лишайники на вершинах Анд и крабы, ползающие по дну в глубинах Тихого океана. Оно состоит из молекул, образованных атомами углерода, водорода, кислорода, азота и фосфора, эти молекулы называются АТФ*. Змеи и другие животные синтезируют АТФ в своих клетках, используя сахара из пищи и кислород, которым дышат. Растения сначала с помощью фотосинтеза производят собственные сахара, а затем перерабатывают их для получения АТФ. Некоторые бактерии получают АТФ, утилизируя энергию солнечного света, пока колыхаются на освещенной солнцем поверхности океана. Глубоко под землей другие бактерии производят АТФ, овладевая энергией, скрытой в атомах железа.

Как только живые существа накапливают достаточное количество молекул АТФ, они могут начать пользоваться ими в качестве топлива, высвобождая для себя энергию их молекулярных связей. Хайди нужна была эта накопленная в АТФ энергия, чтобы мышечные волокна могли сокращаться и ей бы удавалось ползать по своему ящику. Еще ей необходимо было обеспечить энергией каждый удар своего сердца. Почка питона тоже требовала АТФ — для выведения токсинов из кровотока. А самый большой объем топливных запасов змеи уходил исключительно на то, чтобы поддерживать ее клетки в равновесии.

Клеткам требуется обильный запас ионов калия, так как с их помощью осуществляются многие жизненно важные реакции. Однако когда внутри клетки калия много, то его начинает выталкивать наружу мощная сила. Но если калий просто утечет, то клетка погибнет. Поэтому она закачивает внутрь все новые порции калия, для чего использует молекулярные насосы, которыми утыкана вся ее поверхность. Каждый насос состоит из трех переплетенных молекул белка. Подобно тому как дренажный насос тре-

* Аденозинтрифосфат, его формула $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$. — Прим. ред.

бует подключения к генератору, так и молекулярный насос нуждается в источнике энергии — АТФ. На каждые два атома калия, закачиваемые внутрь, используется одна молекула АТФ. Насосам приходится работать круглосуточно, потребляя огромное количество этих молекул.

Как и у всякого организма, калиевые насосы Хайди живут лишь несколько дней, а затем начинают изнашиваться. Ее клеткам приходится разбирать их, когда они приходят в негодность, и взамен собирать новые — на эту задачу уходит еще больше АТФ.

Инструкции по сборке новых насосов закодированы у Хайди в ДНК. Дезоксирибонуклеиновая кислота — таково название этой молекулы — состоит из двух длинных цепочек, закрученных друг вокруг друга. Конструкция молекулы напоминает винтовую лестницу из миллиардов ступенечек. В ДНК питонов таких ступенечек 1,4 млрд, у нас — более 3 млрд. (Прежде чем вы уверитесь в своем генетическом превосходстве над питонами, примите во внимание, что у лука их 16 млрд.) Каждая ступенька слагается из двух частей, по одной от каждой цепочки. Из этих частей (их называют основаниями) и состоит текст инструкций по синтезу молекул. В алфавите ДНК всего четыре буквы: А (аденин), Ц (цитозин), Г (гуанин) и Т (тимин).

Каждый из трех белков калиевого насоса кодируется отдельным отрезком ДНК — геном. Чтобы построить новый калиевый насос, змеиная клетка доставляет ферменты и другие молекулы к началу каждого из этих генов и прочитывает основания подряд по одному. Получается сокращенная, одноцепочечная расшифровка, которая называется матричной РНК. Эту молекулу быстро подхватывает плавучая клеточная фабрика, которая тоже прочитывает ее основания и строит соответствующий белок. И на каждом этапе его создания клетке снова нужно расходовать АТФ.

Хайди не просто заменяла старые белки на новые. Ее организм еще и рос. Змее было три года, она уже утроилась в размерах с момента своего вылупления, и ей предстояло расти всю жизнь, пока ее будут кормить раз в несколько недель. А на увеличение своих габаритов змее понадобится еще больше энергии. Для создания одной лишь копии своей ДНК клетке нужно расщепить миллиарды молекул АТФ.

Даже для получения энергии Хайди требовалось расходовать энергию. Она тратила АТФ, когда атаковала крыс и душила их. Она нуждалась в АТФ, чтобы синтезировать пищеварительные ферменты, а эти ферменты, в свою очередь, нуждались в АТФ, чтобы расщепить молекулы крысы. Все живые существа сталкиваются с этой дилеммой: они платят метаболическую цену за поддержание своего метаболизма. Но у Хайди, как и у всех остальных змей, проблема обострилась до предела. Жизнь питонов, удавов, гремучих змей и ряда других видов — чередование поста и пиршеств. Они неделями живут без пищи, затем заглатывают дичь целиком и в последующие дни извлекают из нее максимум АТФ.

Эта живая алхимия увлекла Стивена Секора в начале 1990-х гг. В то время науке почти ничего не было известно о том, как змеи переваривают свою добычу. Никто даже не измерял, сколько энергии змея затрачивает на пищеварение. Секор решил это узнать и начал с рогатых гремучих змей, которых наловил в пустыне Мохаве. Он привез их в Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе, где стажировался после аспирантуры. Исследователь скармливал змеям крыс, а затем сажал их в ящик.

Ящик был сконструирован для измерения уровня метаболизма змеи: сколько энергии она затрачивает в час. Секор исходил из того факта, что стоит змее израсходовать АТФ, как тут же ей потребуются произвести новую его порцию. А для синтеза этой молекулы любому животному нужен кислород. Всякий раз, когда змея в ящике Секора делала вдох, уровень кислорода в окружающем пространстве падал. Время от времени Секор открывал клапан на стенке ящика, вставлял туда шприц и брал пробу воздуха. Уровень кислорода подсказывал ему, сколько АТФ расходует змея внутри.

«За два дня я получил результаты, которые не знал, как объяснить», — сказал он мне.

После того как мы пообедаем, наш уровень метаболизма повышается на 50%, пока мы перевариваем пищу. Так же дело обстоит у большинства других млекопитающих. Но у гремучих змей в опыте Секора он подскочил в семь раз. Полученный результат побил все известные рекорды по уровню пищеварительного метаболизма. Но и этот рекорд пал, как только Стивен перешел от гремучих змей к питонам. Если он скармливал питону коли-

чество крыс, равное четверти питоньей массы, уровень метаболизма змеи подсккивал десятикратно. Некоторых питонов Секор кормил до тех пор, пока они не поглощали столько крыс, сколько весили сами. Их уровень метаболизма возрастал в 45 раз! Для сравнения: когда лошадь от полной неподвижности разгоняется до галопа, ее уровень метаболизма возрастает примерно в 35 раз. Но лошадь не может скакать галопом долго, она быстро выдыхается. А вот питон, переваривая пищу, расходует энергию со скоростью лошадиной скачки на протяжении двух недель.

Теперь перед Секором встала еще более трудная загадка: каким образом змеи умудряются так разогнать свой метаболизм и куда именно они девают всю эту энергию? Путь к ответу лежит через желудок, который вырабатывает соляную кислоту, необходимую при расщеплении пищи. У нас он выделяет несколько порций соляной кислоты в день, поскольку мы приспособлены к регулярным приемам пищи. Но постящийся питон не вырабатывает ее вовсе. Жидкость у него в желудке нейтральна, наподобие воды. Как только Хайди в день моего посещения проглотила первую крысу, ее желудок получил сигнал к обильному выделению свежей кислоты. К тому моменту как голова крысы дошла до конца пищевода змеи, утроба рептилии была уже готова приступить к растворению пищи.

Этот кислотный потоп был лишь одним из множества изменений, которые претерпела Хайди, заполучив крысу. Внутренние органы питона стали расти, чтобы справиться с внезапной пищевой лавиной. Секор установил, что тонкая кишка змеи за сутки удваивается по массе, а похожие на пальцы ворсинки клеток этой кишки удлиняются в шесть раз. Когда полупереваренная крыса поступает в кишечник, он уже готов усваивать глюкозу, аминокислоты и прочие питательные вещества, а затем переправлять их в кровоток. Печень и почки тоже увеличивают свою массу вдвое, готовясь к предстоящей работе — запастись питательные вещества и удалять отходы. А сердце вырастает на 40% — чтобы перегонять дополнительный груз сахаров и других питательных веществ по всему организму.

Но это открытие еще больше озадачило Секора. У него не было адекватного ответа на вопрос, как же змеи перестраивают свое

тело. Их анатомия и биохимия в принципе те же, что у любых позвоночных. У них есть печень, желудок и сердце, устроенные во многом так же, как наши. У них в основном те же типы клеток, что и у нас, — от нейронов до иммунных клеток, уничтожающих патогены. Многие из змеиных генов почти неотличимы от наших — они кодируют те же гормоны, ферменты и нейромедиаторы. Секор заподозрил, что змеи умеют переделывать себя столь радикально не потому, что у них есть необычные гены, а потому, что нашли своим генам необычное применение. Их генетический оркестр использует те же инструменты, что и наш, но играет по другим нотам.

Когда клетки выполняют какую-то работу, будь то борьба с вирусом или же построение костного вещества, они вначале считывают определенные гены, а затем, основываясь на их последовательности, синтезируют белки. Некоторые из этих генов кодируют белки, которые действуют подобно центральному рубильнику: цепляясь к другому гену, они включают его. Эти гены способны, в свою очередь, кодировать следующие рубильники. Регуляторный белок может в конечном итоге запускать сотни генов, синтезирующих тысячу белков, которые совместно выполняют сложные задачи. Секор выдвинул гипотезу, что змеи применяют свои регуляторные белки каким-то особым способом. Но, чтобы проверить ее, исследователю понадобилось бы отследить у своих змей активность генов. В начале 2000-х гг., когда Секор стал искать поддержки, генетики говорили ему, что это бесполезная затея.

«Я спрашивал: “Почему бесполезная?”, — вспоминал он. — А они отвечали: “Потому что это нереально сделать. Понадобится много-много лет, ибо вам придется выдергивать каждый ген, а затем разбираться, как он работает”».

В 2010 г. Секор наконец нашел генетика, который не отмахнулся от него, — Тодда Касто. В то время Касто занимался в Медицинской школе Колорадского университета секвенированием небольших участков ДНК рептилий. Секор и Касто вместе приступили к делу, собрав команду исследователей для секвенирования полного генома тигрового питона. Завершив работу, они получили в свое распоряжение как каталог генов, так и их карту, которыми можно было руководствоваться в исследованиях. Отныне стало

возможным отслеживать активность генов в период перестройки организма змеи для пищеварения.

Касто и Секор принялись собирать образцы мышечной и других тканей питонов, регистрируя в образцах матричную РНК, которую производили клетки. Они сверялись со своим каталогом и сопоставляли найденную мРНК с генами в геноме питона. Секор и его студенты сравнивали активность генов у змей до и после еды, чтобы выявить изменения, связанные с метаболизмом. Исследователи ожидали, что включаться будут два-три десятка генов. Но змеи проворачивали куда более масштабную трансформацию.

Ученые обнаружили, что в течение 12 часов после того, как крыса оказывалась внутри питона, у него включались несколько тысяч генов в самых разных органах. Многие из них работали совместно, активируя метаболические (или, по-другому, сигнальные) пути, известные для множества других видов. Когда змея питается, включаются, например, пути, которые у большинства животных участвуют в процессах роста. Другие связаны с реакцией на стресс. Третьи — с выработкой белков, необходимых для ремонта поврежденной ДНК.

Благодаря активации генов, запускающих сигнальные пути роста, змеи способны увеличивать размер своих внутренних органов, чтобы подготовиться к перевариванию крупной порции пищи. Но образование миллиардов новых клеток за считанные часы может повредить змеям. Клетки растут так быстро, что иной раз производят и испорченные белки — источник клеточного стресса. Подобные молекулы могут болтаться в клетках, повреждая их ДНК. Змеям необходимо исправлять клеточные повреждения, и эта задача еще сильнее повышает метаболическую цену пищеварения.

Следующую неделю или даже две Хайди предстояло переваривать сегодняшний обед. В общей сложности она затратит треть содержащейся в крысе энергии только на то, чтобы ее переварить. Змея будет сжигать топливо так интенсивно, что температура ее тела поднимется. На инфракрасном приборе ночного видения питон будет выглядеть столь же теплокровным, как и живая крыса. Однако это не бесполезная трата топлива, ведь в метаболическом горни-

ле Хайди еще останутся две трети энергии крысы для собственных питоньих нужд. Кровь змеи насытится жирными кислотами в концентрации, смертельной для человека. Клетки всего ее организма усвоят кальций, аминокислоты и сахара, полученные из добычи. Хайди нарастит мускулатуру, кости скелета, запасет новый жир.

А чтобы дожить до следующей крысы, которую даст ей Дэвид Нельсон, Хайди разберет свое телесное оборудование, экстренно созданное для того, чтобы переварить еду. Ее диковинные, включившиеся на время генетические каскады отключатся. Ее органы уменьшатся до прежнего размера. Клетки в кишечнике змеи втянут свои ворсинки. Она извергнет все, что осталось от крысы, — шерстяной валик — и вступит в новый затяжной период полного поста. В основе этого гипертрофированного цикла лежит простая логика, но он столь чужд нашему опыту, что может показаться диким даже маститому ученому. Иногда Секор демонстрировал снимки кишечника некармливаемых змей патологам. Он указывал на съезжившиеся и втянутые ворсинки и спрашивал, что, по мнению врачей, происходит со змеями.

«Ваши животные больны. Они умирают. Их кишечник одолевают паразиты», — отвечали ему.

«Нет, они здоровы», — настаивал Секор.

Исследователь так и не сумел убедить патологов, что перед их глазами всего лишь иной тип метаболизма. «Они просто качали головой и отправляли меня восвояси», — сетует Стивен.

К тому времени, как мы с Секором собрались уходить от Нельсонов, Хайди утихла и улеглась, напоминая небрежно свернутую бухту каната из блестящей биомассы. Я уже с трудом различал бугры в тех местах, где проглоченная ею крыса скользила навстречу пищеварительной утилизации. Нелегко было поверить, что сейчас у питона обмен веществ, как у скаковой лошади. Через несколько дней, когда Хайди закончит усваивать питательные вещества, уровень метаболизма постепенно спадет обратно. Ей еще придется затрачивать немного энергии на то, чтобы поддерживать сердцебиение, перекачивать ионы внутрь и вовне клеток, чтобы еще немного вырасти в длину. Базовый уровень метаболизма питона никогда не опустится до нуля. Однако он будет удивительно близок к этому значению.

РЕШИТЕЛЬНАЯ МАТЕРИЯ

Субаш Рэй выдвинул ящик стола и достал оттуда грязную бумажку. Она выглядела как клейкий листочек для заметок, который забрызгали кофе, оставили так на несколько дней, а затем бросили в стол вместо мусорной корзины. Но Рэй собирался показать с ней кое-какой фокус. «Сейчас мы пробудим там жизнь», — сказал он.

На круглом лице Рэя сидели квадратные очки. Он был одет в джинсы и рубашку-поло с вышитым на ней малюсеньким темным орлом. Говорил Субаш тихо — настолько тихо, что порой мне приходилось переспрашивать, когда он объяснял мне, что делает. Я приехал к Рэю и его коллегам в Ньюарк, точнее, в Технологический институт штата Нью-Джерси, где Рэй писал диссертацию, изучая эти пятна «кофе» и то, во что они превращаются.

Рэй вытянул руку и уцепил с одной из верхних полок банку агара — сухого экстракта из водорослей. Он поставил ее на сиденье лабораторного кресла, словно в тележку супермаркета. Туда же отправилась бумажка с пятнами, которую ради сохранности поместили в коробочку из особого стекла. Субаш также прихватил пару лабораторных стаканов и венчик для сбивания.

Нагрузив стул всем необходимым, Рэй покатил его в другое помещение лаборатории. Я проследовал за ним вместе с его научным руководителем — биологом Симоном Гарнье, рыжебородым французом, который носил толстовку с капюшоном и играл в европейский гандбол («это вроде водного поло, только на суше», как он безуспешно пытался объяснить одному озадаченному американцу).

Рэй подошел к раковине, налил воды в электрический чайник и включил его. Когда тот нагрелся, исследователь поставил на стол

стакан и наполнил его горячей водой. Позвякивая венчиком, он размешал в стакане агар, а затем перелил раствор в пустую чашку Петри.

Как только агар застыл в виде ровного желе, Рэй взял пинцет, вытащил грязный листочек из коробочки и перенес его в чашку Петри. Затем он вдавил бумажку в агар и опрыскал водой.

Потом Рэй перекатил кресло от раковины в помещение без окон, где было жарко и парко, — в таких условиях любят расти многие живые организмы. Вдоль стен стояли столы, а на них — большие белые ящики. Рэй повернул ручку на передней стенке одного из таких ящиков и откинул ее, как дверцу. Внутри я разглядел пару металлических рельсов, на которые были установлены три направленные вниз камеры со вспышками. Рэй сунул чашку Петри с листочком в желе под одну из камер.

Гарнье сел за ноутбук и начал вводить команды. Вскоре ящик озарился белым светом, а затем сработала камера. После того как свет в ящике погаснет, а мы уйдем из лаборатории, камера будет фотографировать чашку каждые пять минут.

В тот вечер Гарнье пригласил меня поужинать вместе со своими коллегами-биологами. Мы шли по бульвару Рэймонд — улице, бурлящей человеческой жизнью и заполненной человеческими постройками: маленькими маникюрными салонами и огромными складами, пустыми зданиями в стиле ар-деко с табличками «Сдается» и автобусными остановками, на которых толпились пассажиры. Мы дошли до дорогого ресторана и расселись вокруг деревянного стола; там, перекрикивая шум, мы обсуждали живых существ, служивших темой исследования сидящих с нами биологов. Они говорили о нервной системе червя размером с запятуя, о прозрачном теле рыбки данио рерио. А тем временем камеры в лаборатории Гарнье сверкали вспышками всю ночь напролет.

На следующее утро я вернулся в лабораторию в корпусе Сен-трал Кинг, и мы снова пошли в помещение с фотокамерами. И заглянули в чашку. Грязные пятна исчезли, а на их месте оказалась лепешка лимонного цвета. Лепешка вышла за края бумажки и немножко распространилась по чашке. Гарнье с улыбкой созерцал эту перемену.

«Ну вот, они живые, — сказал он. — Не очень подвижные, но живые».

Приглядевшись к лепешке, я увидел, что она представляет собой гущу щупалец-ниточек, которые разветвились, расплзшись из центра чашки. На самом деле они не прекращали ползти и в то время, что я на них смотрел, — просто слишком медленно, чтобы мой мозг с его краткосрочным вниманием мог это воспринять.

Пробужденным к жизни существом оказался *Physarum polycephalum*, известный также как слизевик многоголовый¹. На улицах Ньюарка слизевика не встретишь, но стоит отъехать за город на несколько миль в природоохранную зону — в заповедники Игл-Рок или Грейт-Свомп, и в теплый и влажный летний день легко увидеть его золотистую сеточку на гниющем бревне или шляпке гриба. Да практически везде на планете, где растет лес, можно найти физарум или один из сотен других видов слизевиков. Их странный внешний вид порождает причудливые народные названия, к примеру «волчье молоко» или «собачья рвота».

Летом физарум растет, а к зиме дает споры. Они переживают холода, в то время как остальное тело слизевика отмирает и превращается в черную корочку. Весной споры снова прорастут. Но если этот цикл нарушает катастрофа — засуха или падение дерева, защищавшего лесную подстилку от слишком яркого света, слизевик принимает экстренные меры. Его тело полностью высыхает, превращаясь в серое ломкое образование — склероций. Склероций рассыпается на кусочки, и его сдувает ветром. Если такой кусочек упадет на влажный участок земли, он оживет. Исследователи слизевиков могут получить склероций, просто положив кусочек живого физарума на промокашку и высушив его. Его можно хранить неделями или месяцами. Если потом поместить склероций в чашку с агаром, то можно пробудить его к жизни.

Щелкая и вспыхивая всю ночь, камера покадрово отсняла движения такого слизевика. В ускоренном темпе, пригодном для человеческого восприятия, запись показывала, как пятно меняет цвет на золотистый, а затем распространяется за пределы бумажки и расплзается по агару. Ближе к утру щупальца с противопо-

ложной стороны листочка тоже стали расползаться. Теперь слизевик превратился в расширяющийся диск.

Причиной его движения было не воздействие гравитации на пассивную материю. Слизевик расползлся не так, как растекается капля воды. Он проявлял признаки жизни, используя собственные запасы энергии, собственные белки, логику, закодированную в собственных генах, — то же сочетание, которое встречается у всех живых существ, — чтобы принимать решения, как поступать дальше. Он обладал стремлением. Он охотился.

Аспиранты и молодые ученые, работавшие с Гарнье, составляли пеструю компанию. Некоторые уехали в Намибию надевать ошейники на павианов, чтобы отслеживать их передвижения и записывать их крики. Они исследовали, как павианы сохраняют компанию, обмениваясь информацией о своем местоположении. Еще один студент изучал в Панаме, как миллионы бродячих муравьев составляют из своих тел живое гнездо, а в нем и камеры, в которых может поселиться их царица. Говоря о принятии решений, мы представляем себе человеческий мозг — объемистый, весь в извилинах, подбирающий словесную форму для размышлений о будущем. Мозг муравья меньше нашего в десятки тысяч раз, и тем не менее муравьи способны строить жилище из собственных тел. Слизевики, у которых вовсе нет мозга, свели данное свойство живого — принимать решения — к еще более базовым действиям. «Мне очень нравится вся эта тема — ведь речь идет о самых истоках интеллекта», — сказал мне Гарнье.

В лесу слизевик питается бактериями и грибными спорами. Он тянет свои нити по бревнам и поверхности почвы, пока не найдет добычу. Заползая на жертву, физарум выделяет ферменты, разрушающие клетки, и поглощает продукты распада. По словам Гарнье, «это ползучий желудок».

Когда Рэй оживил для меня своего слизевика, тот начал искать пищу, но искать было нечего — еды не дали. Чтобы показать мне, как слизевик находит себе очередной обед, Субаш приступил к новому эксперименту. Он поместил на агар три бледных комочка овсянки, расположив их треугольником.

«Умеете варить кашу — сумеете и слизевиков выращивать», — сказал Рэй. Я огляделся и увидел на лабораторных полках ряды

банок с овсяными хлопьями Quaker Oats. Квакеры смотрели на ученых свысока, сияя жизнерадостными улыбками колониального периода.

«Они предпочитают старые марки», — сказал Гарнье. «Они» подразумевало слизевиков. Точнее, они предпочитают бактерий, растущих на старых марках хлопьев*. Еда стерильной не бывает.

Рэй перенес каплю живого физарума в середину чашки Петри. Слизевик не видел комочков каши. Но он ощущал сахара и другие молекулы, распространявшиеся от пищи по агару. Как только нити слизевика потянулись в стороны, белки на их поверхности уловили сигналы от еды. Затем слизевик воспользовался набором простых правил поиска пищи.

Перемещаясь, каждая нить сравнивала концентрацию молекул в различных точках своей траектории. Если концентрация падала, слизевик больше не вытягивал нити-щупальца в этом направлении. Если она росла, он целеустремленно продолжал поиски. Через несколько часов после того, как Рэй оставил слизевика посреди чашки, его нити добрались до всех трех комочков. Они оплели овсянку, которая из серой стала золотистой.

Слизевики не обладают мозгом, посылающим команды, поэтому, изучая их, нам удалось узнать, что способность живого принимать решения может возникнуть просто вследствие законов биохимии. Ученые открыли целый свод изящных правил, обеспечивающих слизевикам успех. Чтобы показать мне даже более удивительную способность физарума, Рэй воспроизвел эксперимент, который в 2012 г. поставил один из бывших учеников Гарнье. Он загнал слизевика в тупик.

Соорудить засаду было достаточно просто. Ножницами Рэй вырезал из ацетатной пленки кусочек вот такой формы с четкими углами: |_|. И поместил его в чашку. Слизевики умеют расползаться только по влажным поверхностям, а значит, сухая ацетатная пленка так же непреодолима для них, как высокая кирпичная стена.

* Компания, выпускающая эти хлопья, была основана в Чикаго в 1877 г. Такое название было выбрано одним из ее основателей, который прочел в энциклопедии статью о квакерах и решил, что их ценности — честность, порядочность, простота — прекрасно отразят миссию будущей компании. — *Прим. ред.*

Затем Рэй поместил физарума у открытого конца ловушки. На противоположную сторону чашки он капнул раствором сахара. Приманку отделяла от слизевика преграда из ацетатной пленки, но сироп протекал под ней, разливаясь по всему агару, дразня слизевика своим ароматом, заманивая его в ловушку.

На следующий день, когда мы пришли навестить физарума, он уже выбрался из тупика. Просматривая отснятое за ночь видео, я чувствовал себя надзирателем, расследующим побег заключенного из тюрьмы. Слизевик заполз по сахарному следу в ловушку и наткнулся на ацетатную преграду. Но отнюдь не бросил поиски. Он выпустил нити в обе стороны. Ответвления слева в конце концов добрались до края преграды и обогнули его, покинув ловушку, — после чего потянулись вдоль внешней стороны ацетатной пленки, устремившись к сахару.

Слизевики умудряются выбираться из подобных тупиков, используя память, для которой не нужен мозг. Они постоянно выпускают пытливые нити-щупальца, и те, которые не чувствуют усиления пищевых сигналов, втягиваются обратно. Отступая, щупальца оставляют за собой слизистую пленку. Слизевик улавливает собственные следы и направляет новые ответвления подальше от них. Эта внешняя память позволяет физаруму искать обходные пути в своем стремлении к сахару. Вместо того чтобы биться своим многоголовым телом об ацетатную стену, он выбирается из тупика и исследует новые пути к пище. Нам для запоминания нужен мозг, но у слизевика нет этого органа. Он хранит запись своего опыта во внешнем мире.

Решают физарумы и гораздо более сложные задачи. В частности, исследователь Тошиюки Накагаки с коллегами обнаружил, что слизевики умеют отыскивать кратчайшую дорогу к выходу из лабиринта. Он создал подобную конструкцию, вырезав проходы в листе пластика, и положил ее на агаровую подложку. У одного из входов в лабиринт экспериментаторы поместили слизевика, снабдив его овсяными хлопьями, а у другого входа — еще немного хлопьев. Слизевик выпустил новые щупальца в коварную конструкцию, исследуя все возможные пути. Как только он обнаружил хлопья у другого входа, он стал кормиться обеими порциями одновременно, параллельно убирая ответвления из тупиков лаби-

ринта. В конце концов слизевик обратился в единственное линейное щупальце, прочертившее путь через «головоломку». Накагаки сделал проходы в лабиринте так, чтобы у слизевика было четыре возможных маршрута к пище. В итоге, как он обнаружил, слизевик всегда следовал кратчайшим путем.

Некоторые ученые дают слизевикам задания, имеющие более непосредственное отношение к их естественной среде обитания в лесной подстилке. В природе слизевикам не встречается пища у двух концов лабиринта. Зато там им могут встретиться источники пищи, разбросанные по стволу дерева. Кормясь из всех одновременно, слизевик сможет быстрее расти. Но, чтобы дотянуться до всей пищи сразу, ему придется заплатить метаболическую цену, вытягивая нити. Если перестараться, энергии на это уйдет больше, чем даст пища.

Оказывается, слизевики отлично умеют справляться с подобными проблемами: они определяют кратчайший путь к нескольким порциям пищи одновременно. Накагаки и другие специалисты с помощью экспериментов пытались понять, как слизевики осуществляют столь сложный выбор. Они разбросали в разных местах чашки Петри овсяные хлопья и наблюдали, как физарум решает задачу. Он не стал вытягиваться в единую ломаную линию, а образовал сеть прямых отрезков, связавших между собой овсяные хлопья кратчайшими возможными расстояниями. В одном из опытов ученые воспроизвели карту США, разместив хлопья на местах крупнейших городов. Сеть, построенная слизевиком, удивительно напоминала систему федеральных автотрасс. Слизевики воспроизвели и структуру токийского метрополитена, и транспортную сеть Канады. Математиков должно обескураживать, что физарум умеет решать задачи подобного типа за несколько дней. Люди-то бьются над ними столетиями.

Еще одна задача, занимающая умы вот уже нескольких поколений математиков, — так называемая проблема рюкзака. Представьте себе, что вы собираетесь в поход и решаете, что положить в рюкзак. Вы можете выбирать из множества разнообразных предметов, более или менее полезных в походе. Но нужно также учесть вес вещей: из-за него нельзя нагружать рюкзак бесконечно. Уместно сунуть в рюкзак колоду карт, чтобы скоротать

дождливое утро в горах за игрой в покер. Но вы вряд ли положите туда пудовый набор резных шахмат из стеатита только потому, что вам может стать скучно. Математики выражают этот выбор в чисто абстрактной форме: у вас есть набор предметов, каждый из которых обладает ценностью и массой. Необходимо подобрать комбинацию предметов с максимальной ценностью, не превышающую определенной массы.

В повседневной жизни примеры проблемы рюкзака часто встают перед бизнесом. Авиакомпаниям необходимо рассчитать, как нагрузить самолет так, чтобы максимизировать ценность груза при минимальных затратах на топливо. Финансовые компании ищут оптимальные способы распределения капиталов по инвестициям с разной потенциальной окупаемостью. Но простой формулы для решения проблемы рюкзака не существует. Специалисты посвятили стратегиям, позволяющим приблизиться к оптимальному решению, немало книг.

Пусть слизевики и не умеют писать такие книги, зато им дано решить проблему рюкзака. Одри Дюссютур, французская исследовательница из Университета Поля Сабатье в Тулузе, совместно со своими коллегами изучала способности слизевиков, переводя задачу на понятный им язык — пищевой. Для максимальной скорости роста физаруму нужны одновременно белки и углеводы. Выяснилось, что оптимальный состав — две части белков на одну часть углеводов.

Дюссютур предложила физаруму выбор между двумя кусочками пищи, каждый из которых был далек от идеала. Один содержал девять частей белка на одну часть углеводов, другой — одну часть белка на три части углеводов. Дотянувшись до первого кусочка и питаясь только им, слизевик не получил бы достаточно углеводов. Второй не дал бы ему необходимого количества белка.

Слизевик сумел обратить два плохих варианта Дюссютур в один хороший. Он вырастил нити-щупальца и отыскал оба кусочка. В результате его сеть стянулась в узенькую дорожку между двумя порциями пищи. Простое смешение их не дало бы физаруму идеального для него сочетания. Поэтому слизевик поедал больше пищи, обогащенной белками, нежели углеводами, сбалансировав свое питание так, чтобы приблизить его к идеаль-

ному соотношению 2:1. В других экспериментах Дюссютур проверяла на слизевиках иные комбинации, и испытуемые всегда определяли, как их сбалансировать. Иными словами, они обучались набивать свой рюкзак нужным комплектом припасов.

Проводя все больше и больше новых опытов со слизевиками, ученые начинают все лучше понимать, как сеть физарума ориентируется в лесу. Она собирает информацию обо всем, к чему прикасается, а найдя место, изобилующее бактериями, перебирается туда и приступает к пиршеству. Если слизевик случайно выползет на солнечный свет, то сумеет отступить обратно в тень. Он способен день ото дня с математической точностью перестраивать свою сеть, чтобы оприходовать побольше еды с наименьшими затратами. Это удивительно эффективная стратегия. При благоприятных условиях слизевик может стать размером с половик.

Когда я спросил Гарнье, как именно физарумы решают все эти задачи, он очень по-французски пожал плечами. «Добро пожаловать в дивный мир слизевиков, где толком ничего не понятно», — ответил он.

Но один из его аспирантов, Абид Хак, охотно показал мне, где, согласно их с Гарнье подозрениям, может скрываться ответ: внутри золотых нитей.

До приезда в Ньюарк Хак изучал машиностроение в Индийском институте технологий в Гувахати. После одной летней школы он увлекся царством слизевиков и теперь готовился к защите диссертации в лаборатории Гарнье. В день нашего знакомства на Абиде была черная футболка с принтом — викторианскими гравюрами с изображениями слизевиков: филигранных споротек, похожих на головастиков половых клеток, а также сетей физарума, напоминающих резиновые деревья.

Хак осторожно отрезал кусочек слизевика длиной в пару сантиметров и отнес его в тускло освещенное помещение, где стояли микроскопы. Несколько секунд он плавно поворачивал ручки микроскопа. «О, шикарно», — сказал он.

Когда я взглянул на предметное стекло, мне понадобилось некоторое время, чтобы глаза приспособились, а мозг приготовился к тому, что я должен увидеть. А затем передо мной вдруг оказалась зеленая река. По ней проплывали зерна, то темные,

то светлые. На моих глазах течение замедлилось. Зерна остановились. Через мгновение неподвижности река развернула свой ход и понесла зерна в противоположную сторону.

Светлые зерна содержали ферменты, которые слизевик использует для расщепления пищи. Темные были ядрами, микроскопическими мешочками, в которых хранились его гены. В наших клетках тоже есть ядра, но обычно их в каждой клетке лишь по одному. Когда клетка делится пополам, она создает новое ядро, так что каждая дочерняя клетка получает собственный набор генов. Слизевики тоже умеют образовывать новые ядра, но они не утруждают себя делением клеток. Каждый физарум, расплзающийся по чашке Петри или лесной подстилке, представляет собой одну единственную гигантскую клетку.

«Тот факт, что она всего одна, выносит мозг», — сказал Гарнье.

Слово «физарум» пришло из греческого языка, оно означает «маленькие кузнечные мехи». Вероятно, такая ассоциация была навеяна пульсациями на золотистых сплетениях слизевика, которые натуралисты могли наблюдать невооруженным глазом. У первых исследователей физарумов не было возможности определить, отчего они подрагивают. Только в XX в. биологи стали приближаться к пониманию строения слизевиков.

В каждое щупальце встроен микроскопический «проволочный» скелет. Но это не жесткая арматура, как у Эйфелевой башни. Слизевик постоянно надстраивает новые части своего скелета и разбирает старые. Он может стянуть гибкие подвижные проволочки в тугую сеть, которая сожмет щупальце и вытолкнет из него жидкость. Если проволочки расступаются, стенки щупальца расширяются и жидкость втекает назад.

Сжимаясь и расширяясь, слизевик пульсирует, словно паутиное сердце. Пульсации волнами подталкивают зерна, а эти волны способны разбегаться по всей сети, сталкиваясь друг с другом и образуя, таким образом, еще более сложные ритмы.

Хак и Гарнье задумались, не служат ли эти волны для одноклеточного слизевика своего рода информационным ретранслятором, позволяющим ему узнавать о том, что его окружает, и объединять данные путем быстрых вычислений. А по итогам слизевик, возможно, принимает решения о том, что делать дальше.

Чтобы расшифровать этот волновой язык, Хак начал с простого опыта. Он поместил небольшие кусочки нитей слизевика в чашки Петри. Внутри каждой нити волны шли то назад, то вперед. У обоих концов нитей, но все же в некотором от них отдалении Хак положил по порции корма. В одной содержалось много овсянки, в другой мало, поэтому вторая была менее соблазнительна. Слизевик чуял пищу и вытягивался в обе стороны. И как только он попробовал каждое «блюдо», Хак увидел, что характер волн изменился.

Молодой исследователь и его коллеги обнаружили, что волны пульсаций чаще шли в направлении более привлекательной пищи. А с изменением характера пульсаций менялся и сам слизевик. «Проволочки» скелета с того конца, который обильно пировал на овсянке, постепенно разреживались, и объем слизевика увеличивался. В то же время, предполагают некоторые исследователи, стенки того конца, что кормился скудным кусочком, уплотнялись. В результате слизевик отползал от непривлекательной пищи и поглощал привлекательную.

«Это как если бы у вас растворялись мышцы, стоит вам оказаться в благоприятном месте, — сказал мне Гарнье. — А вам по барабану, ведь вы попали туда, где вам хорошо».

Растворять свои мышцы, оказавшись в приятном месте, — это своего рода интеллект, считает Гарнье. Для него интеллект — не количество баллов в тестах на IQ или способность освоить иностранный язык. Это признак живого: способность реагировать на изменения среды таким образом, чтобы обеспечивать выживание организма.

«Возьмите любой организм — его успех в этом деле выше случайного», — говорит Гарнье. Нам для выживания с вероятностью выше случайной нужен разросшийся мозг, но кому-то сгодятся и клеточные волны, перекатывающиеся по сети щупалец.

По словам Гарнье, «слизевики — предельное воплощение этого принципа».

ПОДДЕРЖАНИЕ ПОСТОЯНСТВА УСЛОВИЙ ЖИЗНИ ВО ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЕ

Однажды снежным утром в горах Адирондак я взбирался вверх по склону к заброшенной графитовой шахте. Я следовал за двумя биологами — Карлом Херцогом и Кэтлин Рицко. Они остановились у входа в штольню, возле студеного ручья. Биологи стали переодеваться, чтобы войти внутрь, и я, насколько мог, последовал их примеру. Я скинул один за другим туристические ботинки и засунул ноги в носки в вейдерсы*, стараясь не бухнуться в ручей. Мы надели шлемы с налобными фонарями. Стянули с себя верхнюю одежду из фланели и шерсти. Пора было сменить защиту от снега и зимнего ветра на средства спасения от холодной воды и острых камней. Херцог огласил список неприятностей, с которыми мы можем столкнуться в шахте. «Главная опасность — поскользнуться и упасть, — объяснил он. — К потолку вам и прикасаться не захочется».

Пока Херцог говорил, Рицко раскладывала карандаши и блокноты по карманам своих вейдерсов и проверяла батарейки в многочисленных приборах.

«Готова?» — спросил ее Херцог.

«Пошли!» — откликнулась она. Мы ступили в ледяную воду ручья и по его дну направились в шахту.

* Прорезиненные штаны-сапоги. — *Прим. науч. ред.*

Мы продолжали шлепать по воде вперед, и снежный свет позади становился все бледнее и бледнее. Шероховатые стены штольни были наклонены. После ночного ливня и утреннего снегопада с вершины холма по склону бежала вода. Она сочилась со стен шахты, капала с потолка и застывала ледяными сталактитами и сталагмитами. Чем дальше мы продвигались, тем темнее становилось в пещере, а ручей теперь был покрыт толстым слоем льда, прозрачным, как стекло.

Поднявшись на берег ручья, Рицко пошла по узкой полоске осыпавшихся камней вдоль правой стены пещеры. Но Херцог хотел поближе рассмотреть левую ее стену. Он ступил на прозрачный лед и начал опасно переставлять ноги.

«Если я провалюсь, то в принципе волноваться нечего, вейдерсы меня защитят, — сказал он, не решаясь сделать следующий шаг. — Удивительно, однако, почему-то это пугает».

Херцог посветил фонариком на стену, но ничего особенного не обнаружил. Он осторожно вернулся к нам обратно по ледяной корке, и мы двинулись дальше во тьму.

Мне приходилось напоминать себе, что я не в естественной пещере, а в большой человеческой норе. В середине XIX в. лесорубы заметили возле озера Джордж под бревенчатым волоком жилы темного минерала. Это оказался графит. Лесорубы быстро переключились в шахтеров — они рыли горные склоны и извлекали минерал, который шел на изготовление карандашей и плавильных тиглей. Штольня, куда мы теперь входили, — возле поселка Гаага на берегу этого же озера — с годами разрослась в сеть туннелей с неровными стенами, тесных проходов и боковых камер. Шахта росла, туннели удлинялись, а шахтеры подпирали своды длинными бревнами; в итоге у них получилась подземная аллея деревьев-зомби.

Нью-йоркский графитовый бум продлился несколько десятилетий, а затем начались более массовые и дешевые разработки этого минерала на Мадагаскаре и в других странах. В начале XX в. шахтеры забрали из гаагской штольни часть подпорок и продали их на пиломатериалы, а затем выработка была полностью заброшена. С той поры минуло более ста лет, и я едва различал следы человеческого присутствия. В лесах поблизости там и сям попадались

отвалы пустой породы, вывезенной с месторождения. В глубину одного туннеля уходила веревка — вероятно, чтобы заблудившиеся в темноте могли вернуться с ее помощью назад.

После того как шахту покинули люди, ею вновь постепенно завладели силы природы. Вода покрыла вырубленные стены блестящим слоем натечков. Она украсила своды полосками, известными под названием пещерного бекона. Некоторые оставленные шахтерами подпорки упали в ручей. Херцог показывал места, где своды и стены обрушились, — там завалы свежей породы закрыли проход.

«Вряд ли это случится при нас, — сказал Херцог, но тем не менее посоветовал мне не трогать подпорки. — Они могут сместиться, если их пошевелить».

Лучи фонариков Херцога и Рицко скользили по сводам и стенам, заглядывали в ниши, в глубокие щели. Этот холодный каменный лабиринт казался самым безжизненным местом в мире. Но спустя час нашей прогулки по пещере луч от фонарика Рицко замер. Я перебрался к ней через валун и посмотрел на освещенное пятно. На уровне глаз с крутого каменного уступа свисало что-то вроде мохнатой груши.

«Северная ночница», — шепнула Кэтлин.

Летучая мышь висела, вжавшись мордочкой в холодную стену штольни. Мне были хорошо видны ее торчащие клиновидные уши и крошечные лапки, растянутые в стороны так, что зверек напоминал якорь.

«Как она не падает?» — спросил и я шепотом.

«В их щиколотках есть что-то вроде запирающего механизма, — ответила Рицко. — Они почти не тратят энергии, когда висят здесь».

«Она вообще дышит?» — любопытствовал я.

«Дышит, — прошептала биолог. — Но у нее все очень замедлено».

Особь, на которую мы смотрели, влетела в эту штольню четыре или пять месяцев назад. Она отыскала себе на каменной стене местечко для свисания и прожила всю зиму без единой крошки во рту. Через несколько недель ей предстояло снова вылететь наружу, ее ждали яркая весна и знойное лето. Но даже в самые

жаркие дни летучей мыши не грозит перегрев. И если она заразится бактериями, то одолеет их. Зверьку может выпасть неудачная ночь охоты, но он сумеет избежать голодной смерти. В погоне за добычей его сердце сумеет отрегулировать подачу крови так, чтобы не лопнул мозг. А осенью летучая мышь вернется в шахту вроде этой, чтобы снова перезимовать. Пока мы с Ричко рассматривали висевшую перед нами северную ночницу, я дивился тому, что это животное способно переживать столь крутые погодные повороты и резкие перемены жизни на протяжении целых 18 лет или даже больше. Летучая мышь и штольня, которую она выбрала для спячки, составляли в некотором смысле разительный контраст. Эта безжизненная шахта постепенно обваливалась. Через несколько десятилетий разрушительная сила сезонных перепадов, возможно, сотрет ее с лица земли. А маленькая летучая мышка внутри осыпавшейся штольни сохраняла удивительную стабильность.

«Все жизненные механизмы, каким бы разнообразием они ни отличались, имеют только одну цель, а именно поддержание постоянства условий жизни во внутренней среде», — писал французский биолог Клод Бернар в 1865 г. Ученый заметил, что наша внутренняя среда преимущественно водная. Когда запасы воды в нашем организме начинают иссякать, мы чувствуем жажду, побуждающую нас восполнить их. В 1926 г. гарвардский физиолог Уолтер Кеннон доработал идею Бернара и дал ей современное название: гомеостаз.

Гомеостаз не материальный объект, который можно взвесить или пощупать. Это не определенный набор атомов, образующий молекулу вроде ДНК или белков. Скорее, это организующий принцип, который обнаруживается повсеместно в мире живого и проявляется одновременно на множестве уровней. У летучей мыши¹ он действует в клетках, органах — даже при полете.

Немногим доводилось наблюдать этих зверьков во время спячки в пещерах, зато многие видели, как они в теплый вечер носят-ся в сумерках за комарами или поденками. Когда небо станет совсем темным, летучие мыши продолжают свой полет, невидимые во тьме, способные преодолевать сотни километров за одну ночь. Они остаются в воздухе благодаря полетной разновидности гомеостаза.

Летучие мыши передвигаются в атмосфере, размахивая своими исполинскими перепончатыми ладонями. Опуская их, животные создают в окружающем воздухе циркулирующие вокруг крыльев вихревые потоки, а поднимая, всякий раз сбрасывают назад порции воздуха, подобные вращающимся невесомым пончикам. Физика этих вихрей настолько сложна, что ученые пока еще мало понимают даже их базовые принципы. Но результат очевиден: давление сверху падает, а снизу растет, в итоге возникает подъемная сила крыла.

Меняя частоту взмахов, расставляя или сжимая свои длинные, похожие на шести пальцы, сокращая одни мышцы крыла и расслабляя другие, придавая форму невидимым воздушным пончикам позади себя, летучая мышь буквально упраздняет гравитацию. Она как бы зависает на месте. А если мышь меняет наклон крыльев, то часть этой подъемной силы обращается в тягу, бросающую ее вперед. Северная ночница и другие насекомоядные рукокрылые преследуют добычу, издавая писк и прислушиваясь к отраженному от окружающих объектов эху. Многие виды, на которые они охотятся, развили способность слышать эхолокацию мыши и резко менять направление, пытаясь увернуться. Но зверьки в состоянии продолжать погоню, складывая пальцы и круто сворачивая вслед за добычей.

В полете летучая мышь постоянно рискует растерять свои воздушные вихри и камнем упасть на землю. В воздухе ее удерживает гомеостаз. Один из секретов подобной устойчивости — в расположении мельчайших волосков на почти голых крыльях животного. Волоски колеблются под воздействием окружающих воздушных потоков, и их трепет переводится на язык электрических импульсов, поступающих в мозг летучей мыши. Зверек способен улавливать сигналы, предупреждающие о том, что есть опасность потерять вихревые потоки, и тогда он должен отрегулировать форму и изгиб своих крыльев так, чтобы оставаться внутри этих потоков.

Летучим мышам постоянно достается из-за неожиданных порывов ветра. Когда их стаи по вечерам вылетают из пещер, животные часто врезаются друг в друга. Так как рукокрылые очень малы — северная ночница весит не больше пустого кон-

верта, подобные происшествия могут легко сбить их полет: заминка ведет к аварии.

Биолога Шарон Шварц заинтересовало, почему летучие мыши не валяются с неба на землю каждую минуту. В своей лаборатории в Брауновском университете она со студентами снимала мышей в полете на скорости сто кадров в секунду. Чтобы изучить, как животные справляются с порывами ветра, экспериментаторы установили трубу, которая обдавала пролетающих зверьков воздушной струей. Струя, попадающая на крыло, разворачивала тельце летучей мыши примерно на 90° .

Исследовательница обнаружила, что испытуемые возвращались в нормальное положение менее чем за 0,1 с. Внимательный просмотр записей раскрыл их секрет. Если воздушная струя заставляла летучую мышшь повернуться влево, та расправляла правое крыло, искусственно вызывая обратное движение. По мере того как тельце зверька выравнивалось, вращательные силы обоих крыльев идеально нейтрализовывали друг друга. Равновесие восстанавливалось.

Эта стратегия знакома инженерам. В частности, она используется в автомобильном круиз-контроле. Когда водитель включает это устройство, двигатель не просто совершает заданное число оборотов в секунду. Он постоянно регулирует свой темп, улавливая ускорение. Если машина катится под гору, сенсоры заставляют ее замедлить ход. Как только скорость автомобиля снижается больше, чем надо, он плавно набирает ее снова. Такой принцип называется у инженеров контуром отрицательной обратной связи (ООС). Он помогает системам сохранять стабильность, возвращая их в заданную точку всякий раз, когда равновесие нарушается.

Летучие мыши используют контуры ООС не только при полете, но и для поддержания химического равновесия в организме. Уровень сахара в их крови сохраняет исключительную стабильность — неважно, обедают они насекомыми, сжигают энергию в полете или постятся во время сна. Когда этот уровень поднимается, выброс инсулина заставляет клетки зверька отложить излишек сахара про запас. Если же он немного падает, клетки отдадут обратно столько, сколько нужно для восстановления баланса, и не больше.

У летучих мышей есть и другие контуры ООС — для поддержания уровня соли, калия, кислотности. Подобно людям и другим позвоночным, рукокрылые обладают системой кровообращения с сердечным мотором, а для его работы необходимо постоянное давление. Чтобы удерживать давление на заданном уровне, зверьки используют контур ООС, принуждающий кровеносные сосуды то расслабляться, то сжиматься. Так же поддерживается и постоянная температура тела. Перегреваясь, летучие мыши могут усиливать приток крови к коже, чтобы сбросить лишнее тепло в воздух, а замерзая — сжигают жир, чтобы раздуть свой метаболический костер.

Рукокрылые возникли около 60 млн лет назад, когда на планете было так тепло, что в Антарктиде росли леса. В настоящее время большинство из 1300 видов современных летучих мышей обитает в тропиках. Но некоторые, к примеру ночницы, которых мы видели в шахте под поселком Гаага, приспособились к жизни в более высоких широтах, где им приходится переживать долгие зимы — не ловить насекомых, не пить нектар, не лакомиться фруктами. Что еще хуже, низкие зимние температуры требуют дополнительных затрат энергии на обогрев тела.

Для выживания в этих негостеприимных краях летучие мыши развили необычайную стратегию, которую используют также бурые медведи и суслики: спячку. Иными словами, они перезапускают свой гомеостаз согласно новым установочным параметрам.

Всё лето проохотившись, северные ночницы начинают облетать пещеры или шахты в поиске брачных партнеров. Но каждый вечер они снова вылетают в темноту разыскивать пищу, чтобы накопить в организме побольше запасов для зимовки. Шестиграммовая ночница может набрать два дополнительных грамма жира. Представьте себе: пять месяцев выживать на половине чайной ложки масла! В конце концов зверьки выбирают себе пещеру или шахту под зимовье. Они вцепляются лапками в стены, повисают вниз головой и замедляют дыхание. Через час температура тела летучих мышей падает. Они становятся такими же холодными, как окружающий их воздух пещеры.

Рассматривая вместе со мной северную ночницу, Рицко делала заметки в своем блокноте. Закончив, она посветила фонариком

дальше в глубину штольни и вскоре обнаружила новых животных. Я покинул ее и перебрался к Херцогу, который тоже отыскивал летучих мышей. Шахта служила приютом не только северным ночницам, но и другим видам: большому бурому кожану, малой бурой ночнице, ночнице Восточного побережья, даже редкому карликовому нетопырю. Для меня все они выглядели одинаково, но Херцог указывал на малозаметные различия — форму ушей, умение некоторых из них цепляться за камень не только ногами, но и коготками крыльев. Через несколько раундов объяснений он попросил меня самостоятельно определить вид летучей мыши. Я не угадал.

Херцог простил меня. Он сам путался, стоило ему на какое-то время оставить работу с этими животными. «Честно говоря, это преходящий навык», — сказал он.

Теперь нам так часто попадались летучие мыши, что мы уже начали подмечать закономерности. Условия шахты задавали множество различных установочных параметров. Некоторые виды явно предпочитали спать ближе ко входу в штольню, где из-за притока наружного воздуха было холодно и сухо. Подальше в тоннеле стоячий воздух стал прохладным и влажным настолько, что у меня запотели очки. Там мы нашли спящую малую бурую ночницу; ее мех от осевших капелек воды из бурого стал серебристым.

Когда несколько месяцев назад летучие мыши впали в спячку, оцепенение освободило их от тяжелого бремени теплокровности. Вместо того чтобы поддерживать температуру тела высокой, они позволили себе уронить ее до температуры окружающей среды. Если бы зверьки висели на дереве снаружи, эта стратегия оказалась бы самоубийственной. Суровые зимние холода заморозили бы животных до каменного состояния, разрушив клетки. Однако в штольне, где слои породы и почвы служили теплоизоляцией, они находились в холодных, но стабильных условиях. Зверьки, по сути, пользовались гомеостазом самой шахты.

К тому же летучим мышам не требовалась энергия для полета, так как до весны они охотиться не будут. Самки, спарившиеся осенью, еще не забеременели. Они хранили полученную сперму до весеннего пробуждения, когда наконец и произойдет оплодо-

творение яйцеклеток. Тогда будущие мамы смогут обеспечить своих голодных эмбрионов свежей пищей.

И все же эти замершие в спячке летучие мыши вполне себе живы. Они продолжают вдыхать кислород и синтезировать АТФ. Им требуется выдыхать углекислый газ, чтобы не повышалась кислотность крови. А еще с каждым выдохом они теряют чуть-чуть воды. Вода испаряется и через крылья. Количество воды, которое зверьки теряют в день, не критично. Но через две-три недели летучие мыши уже ощущают уколы гомеостаза.

Почувствовав, что обезвоживание становится угрожающим, животные ненадолго прерывают спячку. Они умеют за считанные минуты разогреваться до летней температуры. И тогда летучие мыши могут полетать по пещере и попить воды. Восполнив ее запас, они вернутся в свои холодные спальни и проспят еще несколько недель.

Всякий раз при пробуждении летучие мыши расходуют и без того иссякающие запасы топлива. Но весной, если все пойдет гладко, они выйдут из спячки с положительным гомеостатическим балансом. Должен признаться: когда я в шахте, скрючившись, рассматривал спящих летучих мышей, мне было трудно представить, что эти зверьки вообще когда-нибудь оживут. Они висели поодиночке, парами, гроздьями по 11 штук, до ужаса неподвижные.

Мы встречали все больше рукокрылых, и шахта все сильнее начинала напоминать мне переполненный зоопарк. Но в реальности это был город-призрак в сравнении с тем, что я увидел бы, если бы побывал там раньше. В 2004 г., осматривая шахту, биологи насчитали 1102 особи малых бурых ночниц. Спустя два года все изменилось. У зимовьев в окрестностях Олбани исследователи стали находить летучих мышей, валявшихся мертвыми перед входами. Некоторых объели еноты. Другие воткнулись в сугробы. У третьих носы поросли грибком. Вскоре катастрофическая напасть накрыла и другие популяции рукокрылых под Нью-Йорком, а затем последовало столь же стремительное их вымирание в других штатах. Все погибшие животные оказались заражены европейским грибком *Pseudogymnoascus destructans*. Его смертельная поросль дала болезни название — синдром белого носа.

Новая болезнь полностью поглотила внимание Херцога. «Она тут же вышла на первый план, задвинув все другие заботы», — сказал он мне. На его глазах буквально за три-четыре года численность целого ряда видов летучих мышей упала на 90, а некоторых — даже на 99%. Несколько десятилетий Херцог и другие биологи накапливали данные о летучих мышах Нью-Йорка, и благодаря этому они теперь обладали уникальным видением катастрофы, которую вызвал синдром белого носа. «Если бы эпидемия началась где-то в другом месте, мы бы не узнали о ней так скоро, — сказал Херцог скорее печально, нежели с гордостью. — Не знаю, уместно ли тут сказать, что нам “повезло”».

В Европе же грибок оказался безвреден для летучих мышей. Он вызывал лишь легкие инфекции, с которыми иммунная система животных справлялась без труда. Но загадочным образом грибок попал из Европы в Северную Америку, вероятно в какой-то грот или шахту поблизости от Олбани. И почему-то на новом месте он стал для летучих мышей смертельным.

Поначалу ученые не понимали, как именно он убивал североамериканских рукокрылых. Патологоанатомы, осматривая мертвых животных, не находили системных повреждений, которые обычно вызывает смертельная грибковая инфекция. «У них как будто пелена была на глазах», — рассказывал Херцог.

Постепенно выяснилось, что синдром белого носа — болезнь гомеостаза. Мыши подхватывали споры грибка в конце лета и осенью, когда облетали пещеры и шахты. Холодолюбивый, он дремал на животных до тех пор, пока они не впадали в спячку и не остывали. Как только температура тела летучих мышей опускалась ниже 20°C, споры грибка прорастали, и нити мицелия проникали в кожу и мышцы.

Херцог с коллегами обнаружили, что больные зверьки просыпались чаще, чем здоровые. Возможно, они теряли больше воды через ранки, появившиеся на крыльях. Чтобы сохранить гомеостаз, им требовалось больше пить. Возможно также, что для борьбы с грибком летучие мыши чаще повышали температуру тела, чтобы их иммунная система пробудилась и вступила с врагом в короткий, но яростный бой.

Некоторым зараженным животным удавалось сохранять гомеостаз в норме до весны — когда у них появлялась возможность согреться вновь и одолеть грибок. Но другие переживали гомеостатический крах — у них заканчивались зимние запасы энергии. Порой от безысходности они вылетали из зимовий в напрасных поисках пищи прямо в снега посередь белого дня. Многие стали жертвами ястребов.

Пересчитывая мышей, мы бродили по колено в воде, но затем вскарабкались на завал камней и щебня к полоске света и выбрались наружу. Небо прояснилось, метель ушла на восток. Рицко и Херцог сопоставили свои цифры, которые они зафиксируют официально, когда вернутся в свои кабинеты в Олбани.

Больше всего оказалось больших бурых кожанов — общим счетом 54. Их численность не изменилась за три десятилетия, даже с появлением синдрома белого носа. Почему-то эти рукокрылые оказались среди тех немногих видов под Нью-Йорком, что не пострадали от *Pseudogymnoascus*, — возможно, потому, что они предпочитали такие уголки пещер, где для грибка было слишком холодно. А малые бурые ночницы, напротив, выбирали более теплые местечки. «У них оказался самый неудачный микроклимат», — сказал Херцог. В результате они попали в число видов, которым досталось больше всех. В ходе нашей маленькой экспедиции 2020 г. Херцог и Рицко нашли только шесть их представителей.

Оставалось загадкой, как малые бурые ночницы при таком падении численности не вымерли совсем. Херцог и его коллеги предполагали, что немногие из выживших ночниц несли в себе защитные гены. Возможно, у них в ДНК были мутации, менявшие их поведение зимой, — например, эти зверьки выбирали более холодное место для спячки — и эти изменения позволили им справиться с грибком.

На данный момент Херцог и Рицко ничего не могли поделать — только ждать и смотреть. У них не было возможности спасти летучих мышей, очистив несколько шахт от грибка и превратив их в заповедники. Такие убежища заразили бы сами рукокрылые, летая повсюду и занося грибок из других мест. Ученым оставалось лишь наблюдать, будет гомеостаз у летучих мышей

подводить их по-прежнему или же перейдет к новой, безопасной форме.

«Мы так и не придумали, что здесь можем поделать, — признался Херцог, когда мы выезжали из леса. — Летучим мышам придется решать эту задачу самостоятельно».

КОПИРОВАТЬ / ВСТАВИТЬ

Однажды ранней весной я отправился в Нью-Лондон, штат Коннектикут, чтобы посмотреть, как одно из деревьев готовится к «производству» новых. Выехав по Уильямс-стрит из города под эстакадами на северной его окраине, я оказался в заповедной роще эндемичных для Новой Англии деревьев и кустарников; она занимала 8 га. Официальное название рощи — Дендрарий Коннектикутского колледжа, но здесь все называли ее просто Арбо*. У входа в Арбо меня ждала ботаник Рейчел Спайсер, к ее рюкзаку был прицеплен бурав. Она всегда брала его с собой, когда ей представлялся случай оказаться среди деревьев, — а вдруг попадетса то самое, которое понадобится высверлить. «Это мое самое любимое занятие на свете», — сказала Рейчел.

Мы прошли по Лавровой аллее и миновали лесоведа, лихорадочно готовившегося к экзамену. Он уставился на крону вашингтонского боярышника, сверился с определением вида в мобильном приложении, посмотрел на нас и беспомощно помотал головой. По усыпанным щепой дорожкам мы двинулись дальше, мимо американских буков и восточной ирги.

«Иногда мне кажется, что меня и задумали для того, чтобы я изучала деревья», — сказала Спайсер. Отец научил ее различать виды в лесах Массачусетса, где она выросла, а затем Рейчел поступила в аспирантуру по ботанике, где изучала красные клены¹ Новой Англии и псевдотсуги Орегона. Получив в 2010 г. долж-

* Название рощи на языке оригинала — Connecticut College Arboretum. — *Прим. ред.*

ность доцента в Коннектикутском колледже, она организовала лабораторию, где можно было изучать деревья в микромасштабе, выращивая в чашках Петри черенки тополей и исследуя гены, включающиеся и выключающиеся в их клетках. Это была увлекательная работа, но порой лаборатория надоедала Спайсер до чертиков. Когда я спросил, можно ли с ней пообщаться, она обрадовалась возможности перейти на другую сторону Уильямс-стрит и провести со своим буравчиком день среди настоящих деревьев.

Мы спустились по отлогим садам к полоске низинного болота и остановились перед красным кленом. Он стоял там, напоминающая кривой телеграфный столб, его крона была высокой и узкой, так как ему десятилетиями приходилось конкурировать за свет с соседними деревьями. Из нижней части ствола клена выросло несколько непутовых веток, сейчас скрученных и склонившихся к земле. Ветви дерева уже полгода как облетели, и сейчас трудно было понять, живо ли оно вообще. Я подумал о прошлом лете и попытался представить себе клен в буйстве зеленого хлорофилла, вообразить, как его листья улавливают солнечный свет для запуска молекулярной машины, запасующей энергию. Я мысленно долистал воображаемый календарь до осени, до той поры, когда хлорофилл в листе распадается и зеленый цвет уступает место красному.

«Он распадается вовсе не от времени и холода, — сказала Спайсер. — Он *специально* расщепляется. Потому что он само совершенство».

Исследовательница пояснила, что каждая молекула хлорофилла содержит четыре атома азота. Если бы клен в Арбо просто сбрасывал листья осенью, весной ему потребовались бы неподъемные усилия, чтобы заново собрать из почвы азот, который пришлось бы накачивать от корней к ветвям. Поэтому осенней порой дерево старательно занималось разборкой хлорофилла на молекулярные компоненты, которые затем отправляло из листьев в ветки по миниатюрным туннельчикам. Зимой эти компоненты пребывали там на хранении, а с приходом весны готовы были быстро хлынуть обратно в листья и заново собраться в хлорофилл.

Это изящная, но непростая стратегия. Летом толстый слой хлорофилла в листьях клена выполняет две задачи: производит

пищу и служит для защиты от солнца. Он оберегает белки и гены от повреждений, вызываемых залетными фотонами высоких энергий. Как только наступает осень и листья начинают расщеплять свой хлорофилл, они сразу становятся уязвимыми.

Клен защищает себя самым красивым способом, на какой только способен: он вырабатывает в листьях красный пигмент — антоциан. Осенняя окраска оберегает листья от вредного солнечного излучения в те несколько недель, которые требуются, чтобы переправить хлорофилл на зимний склад. Лишь после этого клен отделяет листья и роняет их на землю.

Сейчас, ранней весной, ветви казались мне мертвыми. Но дерево жило внутренней жизнью, готовясь к грядущему. Спайсер ухватила одну из нижних веток и подтянула ее поближе, чтобы показать мне. Она указала на набухшие повсюду красноватые почки. Осенью, после того как опали листья, на ветках сформировались почечные чешуи с толстым наружным слоем, богатым антоцианом, защищающим от зимнего солнца. Почки выстроили такую оборону, чтобы уберечь хрупкие новые клетки. Эти клетки полны скрытой силы: они могут стать любой из тканей, которые дерево образует весной. Рейчел поддела ногтем почечную чешуйку и вскрыла почку. Я разглядел в ней крошечные изогнутые полосочки. Некоторые из них в конечном итоге дадут этому клену шанс на вечность.

«Там внутри заготовлены цветы», — сказала Спайсер.

Возвращаясь из Арбо, я поглядывал на километры кленов вдоль шоссе. В предыдущие годы я не особенно обращал на них внимание ранней весной. Но теперь я не мог не замечать окутывавшей их кроны тонкой красноватой дымки — совокупности тысяч почек, скрывающих в себе будущие цветы. Она походила на завесу кровавой мари. Каждое из этих деревьев возникло из такой же красноватой дымки на таком же дереве десятилетия назад. У каждого были предки, как и у нас, как и у каждого живого существа на Земле.

Рассуждая о приметах жизни, размножение пропустить столь же трудно, как крики роженицы. Люди производят на свет людей, клены производят клены, слизевики — слизевиков. Суть размножения у всех видов одина: производство новых организ-

мов, несущих копии генов их предшественников. Особенности человеческого размножения — то, как клетки копируют ДНК при делении, как у яйцеклеток и сперматозоидов оказывается только половинный набор, как они соединяются при оплодотворении, как зародыш развивается в матке, — знакомы нам лучше всего. Но не стоит чрезмерно обобщать опыт нашего вида.

Что верно для человека, в целом верно и для любого другого млекопитающего, например северной ночницы. Женские особи обоих видов обладают маткой и производят живых детенышей, питающихся молоком. Но то, что истинно для нас, уже не столь истинно для питона, который вылупляется из яйца, и уж тем более — для слизевика вроде *Physarum polycephalum*².

Один из способов размножения слизевиков — образование спор, которые могут распространяться с помощью ветра или воды. Если споры физарума приземлятся в благоприятном месте, они лопнут и из них расползутся клетки. Специалисты по слизевикам называют эти клетки амебами. Подобно нашим яйцеклеткам и сперматозоидам, каждая амеба содержит лишь половинный набор хромосом. Но, несмотря на эту половинчатость, она способна жить самостоятельно. Амебы ползают по лесной подстилке, разрушая и поедая попавшиеся им на пути бактерии. Если одна клетка физарума встречает другую, они могут слиться в андерграундной версии оплодотворения и породить слизевиковую версию эмбриона.

Амебы слизевиков не являются ни мужскими, ни женскими клетками, но у них есть собственная причудливая форма секса. Встретившись, две амeбы исследуют белки на поверхности друг друга. В зависимости от того, какие варианты этих белков имеются у слизевиков, они могут принадлежать к одному из нескольких сотен различных половых типов. Если две амeбы различаются по этим типам, то они способны слиться. Их хромосомы объединяются в полный набор, а образовавшаяся единая клетка становится чем-то вроде зародыша слизевика. Она начинает отращивать щупальца, производя новые копии хромосом, которые навodняют единственную гигантскую клетку.

Физаруму присущи и еще более странные способы размножения. Например, он способен обойтись без половой стадии — просто высохнуть и образовать склероций. Если его частицы раз-

летятся по ветру и прорастут где-то в другом месте, из материнской сети может получиться множество дочерних. Можно считать, что новые слизевики — генетически тождественное потомство или же что это одна гигантская сеть с большими дырами. Слизевика не интересуют подобные словесные игры. Он просто продолжает искать пропитание.

Экзотическая половая жизнь слизевиков по большей части невидима нам и понятна лишь ученым, посвятившим свою жизнь этой тематике. Клены же, напротив, размножаются на просторе под ясным небом. После прогулки с Рейчел Спайсер по Арбо я несколько недель пристально наблюдал за кленами в своей округе. В дальнем углу нашего двора высится красный клен, есть у нас и несколько кленов пониже — остролистных и серебристых. В засоленных болотах за пределами моего города, вдоль улиц, на склонах холмов, на пустырях — всюду новые клены щедро дают нескончаемое потомство. Весна шла своим чередом, и я наблюдал, как у представителей нескольких видов клена, одного за другим, лопались почки и раскрывались варианты цветков — бледно-зеленых или же темно-красных. Деревья расцветали до того, как выпускали листочки; они формировали цветки лишь из тех ингредиентов, что были запасены в их ветках с прошлой осени.

Аналогично многим другим растениям, клены дают цветки, которые ботаники именуют мужскими и женскими. Впрочем, к деревьям эти термины применимы условно, так как размножение растений весьма отличается от нашего. Красный клен может в один год дать мужские цветки, на следующий год переключиться на женские, а на третий выпустить разом и мужские, и женские. Ботаники называют цветки клена именно так потому, что каждый тип цветка производит половые клетки, подчиняющиеся отчасти тем же правилам, что яйцеклетки и сперматозоиды. Подобно тому как мужчины производят мелкие сперматозоиды, мужские цветки образуют мелкие пыльцевые зерна; женщины производят яйцеклетки, а женские цветки — семяпочки, которые после опыления станут семенами.

Чтобы заняться сексом, людям надо встретиться, а кленам для соединения половых клеток нужен ветер. Деревья способны выдерживать ураганы, но при этом, чтобы сбить с цветков пыльцу,

достаточно даже легкого ветерка. Большинство пыльцевых зерен попадет на землю или на неподходящее дерево. Даже если пыльца окажется на другом красном клене, она чаще всего прилипнет к коре или ветке. Лишь ничтожной доле пыльцевых зерен повезет добраться до женского цветка.

Цветок подхватывает пыльцу липкими волосками, и от пылинки вырастает трубка, ведущая с поверхности вглубь. Пыльцевое зерно втягивается в эту трубку, пока не дойдет до семязачатка. Слившись, пыльцевое зерно и семязачаток образуют новый геном, который будет храниться в виде нового семечка.

Я не мог непосредственно наблюдать сами эти оплодотворения, но видел их результат: женские цветки клена опадали, и на их месте оставались толстенькие красные образования, похожие на рога импалы. Они называются крылатками; в основании у каждой находится пара семечек. Рожки на крылатках поначалу росли в длину, а затем уплощались. Они принимали форму изогнутых лопастей, их поверхность начинала походить на плотную бумагу. Когда такая крылатка отламывается от веточки, то она не столько падает, сколько летит.

Геометрия лопастей крылатки в общих чертах та же, что у крыльев животных, и служит той же цели: использовать окружающий воздух для полета. Но летучая мышь отращивает крылья, чтобы ловить добычу и подыскивать места для спячки, а клен отращивает крылья, чтобы распространять семена. Семечки в основании крылатки довольно тяжелые и тянут вниз, создавая восходящий поток воздуха вдоль «бумажной» лопасти. Крылатка вращается, подобно винту вертолета, и таким образом создается подъемная сила. Кленовое семя остается в воздухе долгое время, благодаря этому оно способно улететь на десятки метров от родительского дерева, прежде чем упадет на землю.

Каждому из наших кленов понадобилось лишь несколько дней, чтобы сбросить все крылатки. В урожайный год с одного дерева может выпасть семенной дождь в 100 000 крылаток, а с одного акра* кленового леса — до 8 млн. Это грандиозный подвиг раз-

* 0,4 га — Прим. пер.

множения. Но это и грандиозное расточительство. Половина крылаток пуста, там нет семян. Значительная доля семян в остальных крылатках совершает самоубийство. Ученые еще не понимают эволюционного смысла этих мертвых или полых оболочек. Возможно, деревья производят пустые крылатки в качестве обманок, чтобы заставить белок и птиц напрасно потратить время и таким образом дать своим семенам больше шансов прорасти. Возможно, семена совершают самоубийство, если они несут неблагоприятные комбинации генов, которые не дадут им стать здоровыми деревьями.

В конечном итоге лишь небольшая доля опавших крылаток сумеет прорасти. Но даже после такого прореживания у деревьев остается несообразно многочисленное потомство — порой десятки жизнеспособных семян на каждый квадратный метр под ними. Им нужно совсем немного света и даже не так уж много почвы, чтобы пустить корни и дать ростки.

Весна набирала ход, и крылатки усеяли траву. Мой участок расположен на половине акра розового гранита, поросшего зеленью со множеством проплешин, где обнажается древняя вулканическая порода. Освоившие эти камни клены-пионеры разворачивали листочки размером с ноготок. Я взбирался по приставной лестнице и выгребал горстями крылатки из водосточного желоба. Мне даже там попадались проростки — они словно вознамерились положить начало висячему лесу.

Наступило лето, и мы с женой решили прокатиться по лесам у нас за городом. Как-то мы проезжали кленовую рошу, где земля утопала в зеленом озерце сеянцев высотой по колено. Лишь немногие клены-подростки возвышались над ними. Еще меньше взрослых кленов тянулось к свету. И совсем мало было старых деревьев, которые вздымались выше всех, раскинув ветви и образуя полог.

Там мы воочию узрели истинные шансы клена на выживание. В отличие от других примет жизни, с размножением дела обстоят не так просто. Все живое усваивает пищу, принимает решения, позволяющие лучше приспособиться, и поддерживает в себе гомеостаз. Иначе — смерть. И все живое — продукт размножения, но не каждому гарантировано потомство. Если клен

проживет свой полный жизненный срок — для одних видов это немногим более ста лет, для других триста, он сможет произвести миллионы летучих семян. Но лишь некоторые из них сумеют впоследствии высотой догнать родителя. И это слепое соревнование идет из поколения в поколение. Клену, скажем, удастся успешно передать свои гены потомству, а оно потом все погибнет от корневой гнили.

У нынешних кленов, осыпающих нас крылатками, древняя родословная. Эти деревья появились более 60 млн лет назад, вскоре после того, как врезавшийся в Землю астероид уничтожил гигантских динозавров. Прародина кленов — Восточная Азия, где все еще растут такие виды, как клен японский и клен раздельный. Около 30 млн лет назад клены распространили свои крылатки в Северную Америку. Они продолжали видоизменяться, наращивая свое разнообразие. Клен красный и клен серебристый, ныне растущие бок о бок в наших садах, — дальние родичи, они произошли от общего предка 10 млн лет назад. Эти величественные деревья — результат тонких линий успеха на огромном поле репродуктивных неудач.

Более того, как раз взаимосвязь успехов и неудач размножения кленов и породила все эти удивительные адаптации — их точное календарное чутье, их защиту от солнечной радиации, их живые вертолетики. Она породила и все их разнообразие — общим счетом 152 вида кленов. На чередѣ взлетов и провалов живого по части производства собственных копий базируется самая значительная из всех примет жизни — эволюция.

ЛЕГКИЕ ПО ДАРВИНУ

Стопка из чашек Петри высилась лабораторной колонной. Верхняя чашка была покрыта темно-синей пленкой, цвета неба после захода солнца. Следующие за ней чашки были тоже окрашены синим, но чем ниже, тем бледнее. Когда мой взгляд спустился до основания башни, я увидел, что оно прозрачное.

Этот пластиковый монумент я лицезрел в Осборновских мемориальных лабораториях — похожем на средневековый замок здания, расположенном на территории Йельского университета. Башню из чашек составила исследовательница по имени Изабель Отт. У нее были короткие черные волосы и серьги размером с блюдце, расписанные всеми фазами луны. Год назад Отт окончила Университет штата Джорджия, где изучала всевозможные болезни человека и животных. Она приехала в Нью-Хейвен работать вместе с эволюционистом Полом Тёрнером. Для Отт сооружение башни из чашек Петри было не просто лабораторной разновидностью игры дженга. С этого началась ее повседневная работа, которая, возможно, в будущем спасет чью-то жизнь.

Чашки, как объяснила мне исследовательница, приобрели синий цвет из-за растущих в них бактерий. А бактерии были найдены в легких неизлечимо больных людей, уже терявших всякую надежду. Некоторые страдалцы вместе со своими образцами присылали Отт записки, где рассказывали о своем недуге и умоляли о помощи. «Они мои ровесники, — сказала Отт. — Я им отвечаю: «Глубоко сочувствую. Делаю все, что в моих силах»».

У всех, от кого Тёрнер и Отт получили эти бактерии, был поломанный ген. Обычно клетки легких используют этот ген для син-

теза белка CFTR, который помогает очищать дыхательные пути. Но мутации в нем отключают этот белок. Легкие людей, унаследовавших мутацию, забиваются густой липкой слизью.

Эта болезнь называется муковисцидозом. Одно из самых опасных ее последствий заключается в том, что легкие становятся инкубатором для некоторых видов бактерий. Из них наибольшую угрозу представляет *Pseudomonas aeruginosa*, или синегнойная палочка¹. Обычно она обитает на листьях растений и в почве. Если здоровый человек вдохнет такую бактерию, его иммунная система быстро уничтожит ее. Но при муковисцидозе забитые слизью дыхательные пути создают для этих микроорганизмов надежное прибежище, возможность закрепиться. Половина больных муковисцидозом заражается синегнойной палочкой к трехлетнему возрасту, а у 70% взрослых инфекция становится хронической. Иногда с бактерией справляются антибиотики, но часто они не помогают. Со временем синегнойная палочка вызывает воспаление и рубцевание, из-за которых больным дышится еще труднее.

Помощь Отт пригодилась в эксперименте по поиску нового способа борьбы с этими бактериями. Исследовательница и ее коллеги проверяли свою идею на добровольцах с муковисцидозом. Чтобы ученые могли посмотреть, насколько эта борьба эффективна, участники периодически откашливали слизь в пробирки и посылали их на проверку. Бактерии из их слизи росли теперь в чашках Петри в лаборатории Отт.

Если упомянутая идея сработает, ученые смогут превратить бактерии из потенциальных убийц в хоть и досадное, но безвредное неудобство. Чтобы претворить в дело эту магическую силу, они воспользовались бесконечной способностью живого эволюционировать.

Все живое на Земле — продукт эволюции, процесса, который идет уже около 4 млрд лет. Первыми начали свой эволюционный путь бактерии и другие микроорганизмы, а около 2 млрд лет назад к ним присоединилась новая форма жизни. На микробов стали охотиться амебоподобные одноклеточные организмы. Они намного крупнее бактерий, а их ДНК упакована в мешочек — ядро. Эти новые формы жизни называют эукариотами.

В наши дни слизевики и многие другие виды эукариот превосходно чувствуют себя в одноклеточном состоянии. Но в некоторых их линиях возникла многоклеточность. Около 0,5 млрд лет назад сушу освоили зеленые водоросли, которые впоследствии станут мхами и папоротниками, а еще через сотни миллионов лет — цветковыми растениями. Животные возникли из одноклеточных эукариот в океане около 700 млн лет назад, и некоторые из их потомков впоследствии выползли на берег — так появились первые многоножки, примитивные скорпионы и другие беспозвоночные, а затем и четвероногие создания наподобие саламандр. Некоторые из четвероногих утратили конечности и стали змеями. Другие видоизменили свои ноги и научились летать, теперь это птицы и летучие мыши. Около 7 млн лет назад одна из линий приматов перешла к прямохождению и в конце концов распространилась из африканских саванн по всей планете; через какое-то время она оглянулась в прошлое и впервые различила неясные контуры долгой эволюционной истории.

Живое и в наши дни продолжает эволюционировать. Оно точно так же не в состоянии перестать это делать, как вода не может перестать быть мокрой. Когда клен осыпает землю крылатками, он распространяет копии своих генов. Но каждый новый сеянец не идеальное повторение своих родителей. Он наследует перетасованные участки их хромосом. А в его генах содержатся новые варианты последовательности ДНК. Заряженные частицы и высокоэнергетические фотоны сталкиваются с генами и меняют последовательности нуклеотидов. Когда ферменты создают новые копии ДНК, они порой случайно ставят гуанин на место цитозина, а иной раз удваивают участок из тысяч оснований.

У клеток есть специальные ферменты для исправления подобных ошибок, но некоторые все же проскакивают. Яйцеклетка и сперматозоид, «зачавшие» вас, несли мутации, которых не было при рождении ваших родителей. Новые изменения передаются через поколения наряду со старыми, и так в течение веков накапливается генетическое разнообразие. Многие мутации так или иначе обходятся без последствий. Но кое-какие оказываются катастрофическими, поскольку приводят к смертельным заболеваниям и уродствам. Иные бывают полезными, они помогают

организмам выживать и размножаться. Передаваясь по наследству, некоторые из них становятся более распространенными, другие же, напротив, — менее. Судьба каждой мутации может зависеть от случайности, но если заметно ее влияние на количество потомства у организма, то ее шансы на успех более определены. Накапливаясь в эволюционной линии, полезные мутации способны дать начало новым адаптациям.

В основе эволюции лежит достаточно простая логика. Более того, она настолько проста, что Чарльз Дарвин определил ее еще в середине XIX в., за много десятков лет до того, как ученые узнали о генах, не говоря уже о том, чтобы разобраться в их устройстве. Дарвину хватило того наблюдения, что в каждом поколении животных и растений присутствует изменчивость и что некоторые варианты могут наследоваться. Он предположил, что этот процесс должен благоприятствовать тем вариантам, которые полезны для выживания и обзаведения потомством; он назвал его естественным отбором.

Знаменитый естествоиспытатель смог подметить результаты эволюции на примерах современных видов. При этом он полагал, что живое эволюционирует так же, как горы растут, — в течение миллионов лет, в масштабах, недоступных человеческому наблюдению. «Мы ничего не замечаем в этих медленных переменах в развитии, пока рука времени не отметит истекших веков, да и тогда наше понимание геологического прошлого несовершенно: мы замечаем только, что современные формы жизни отличаются от когда-то существовавших»^{*2}, — писал он.

Дарвин заблуждался, но это вполне простительно. Он никак не мог знать, что микробы способны продемонстрировать эволюцию в действии за считанные недели. Утром 15 февраля 1988 г. в Ирвайне, штат Калифорния, микробиолог Ричард Ленски начал исследование с бактериями, которое растянулось на десятилетия. И это был первый эксперимент, в котором стали раскрываться секреты эволюции.

Бактерии могут делиться каждые 20 мин, а это значит, что одна бактерия способна за сутки породить миллиардную популя-

* Цит. по: «Происхождение видов», гл. 4. Пер. А. Л. Зеликмана под ред. А. Л. Тахтаджяна и др. — *Прим. пер.*

цию. Какие-то из этого миллиарда потомков окажутся носителями новых мутаций, которые будут иметь отношение к скорости их роста и размножения. Для миллиарда птиц нужен целый континент. Для миллиарда бактерий — всего лишь колба.

Ленски задумал эксперимент, с помощью которого надеялся получить видимые эволюционные изменения. Он начал с единственной клетки кишечной палочки — бактерии *Escherichia coli*, которую давно приручили в микробиологических лабораториях. Вырастив из этой основательницы колонию, исследователь расселил потомство по 12 колбам. В каждой колбе содержалось ровно столько сахара, сколько нужно бактериям, чтобы прожить несколько часов. После того как запас заканчивался, им предстояло как-то дожить до следующего утра. Затем Ленски и его студенты брали немного жидкости из каждой колбы и впрыскивали ее в новые колбы. Бактерии, выдержавшие переселение, получали возможность снова кормиться сахаром и размножаться.

Чтобы проследить их историю, Ленски создал, по его собственному выражению, замороженную ископаемую летопись. Через каждые пятьсот поколений из каждой колбы брались пробы жидкости с клетками и помещались в морозилку. Впоследствии исследователь мог оживлять бактерии и сравнивать их с потомками. Когда в 1991 г. Ленски перевез свои колбы и морозильники на новое рабочее место в Мичиганском университете, 12 колоний дали уже несколько тысяч поколений. И они явно эволюционировали.

Во всех колбах потомки приобрели мутации, позволявшие им выживать в новой среде, ускоренно запасая пищу и переживая ежедневные эпизоды полного поста. Они быстрее достигали размера, необходимого для деления. Приобретая все больше полезных мутаций, они в конце концов стали расти на 75% быстрее, чем их предки. Одновременно микробы увеличивались, став в итоге вдвое крупнее своих прародителей, — почему, Ленски и его коллегам еще предстоит выяснить. В последующие годы они определили многие мутации, возникшие в каждой из 12 линий. Удалось выяснить, что за некоторые конкретные изменения в росте в разных линиях отвечали несходные мутации. Но естественный отбор двигал все 12 линий в одном и том же общем направлении.

С тех пор через лабораторию Ленски прошли десятки студентов и аспирантов³. Проникнувшись теплыми чувствами к бактериям исследователя, они сами становились эволюционистами-экспериментаторами и основывали лаборатории по всем Соединенным Штатам. Одним из таких учеников был уже упоминавшийся Пол Тёрнер. Другой — Вон Купер. На научной конференции 2019 г. в Нью-Гемпшире я внимал высокому, худому Куперу, воодушевленно читавшему старшекласникам лекцию о том, как увидеть эволюцию в действии. Он и его коллеги из Питтсбургского университета собрали специальный комплект предметов, позволяющий подросткам самим провести недельный эксперимент⁴. Тысячи школьников уже получили результаты, объявил Купер. И я подумал, что писатель в возрасте за пятьдесят вполне может последовать их примеру.

Купер согласился прислать мне такой комплект, и в один прекрасный день у меня на крыльце оказалась картонная коробка. Я вскрыл ее и посмотрел, что внутри. Там оказались чашки Петри, запечатанные пробирки, пузырьки с прозрачными жидкостями и пакетик черных и белых бусин. В чашках были какие-то пупырышки с прозрачными полосками и разводами. Они издавали неприятный сладковатый запах вроде того, что исходит от кувшина сидра, простоявшего на столе несколько дней. Эти чашки оказались засеяны родственницей синегнойной палочки — бактерией *Pseudomonas fluorescens*⁵, которая тоже обитает на растениях и в почве, но не поражает легкие больных муковисцидозом. Она достаточно безопасна для школьных опытов.

Я снова заклеил коробку скотчем и поставил ее в холодильник, надеясь, что запах от бактерий не пристанет к продуктам. Без руководства мне все-таки было не справиться. Я жил неподалеку от Йельского университета, где вел курс литературного мастерства, и Тёрнер с Отт согласились помочь мне провести опыт.

И вот я принес коробку в лабораторию Тёрнера, помещение с высокими сводами, где сновали аспиранты, занятые центрифугированием пробирок, размазыванием микробов по предметным стеклам и наклеиванием ярлычков на крышки. Я поставил коробку на место, которое расчистила Отт рядом со своим. Она веле-

ла мне надеть серые перчатки и белый халат. Когда мы вынули из коробки чашки, с ними вытянулся и запах.

«Псевдомонада, — простонала Отт, словно встретила старого врага. — Если случается работать с ней в неподходящий момент, она меня до мигрени может довести. Приходится отрываться на несколько минут, отсидившись на диванчике и пить чай, чтобы мозги снова заработали».

Перед приходом в лабораторию я просмотрел онлайн-курс по основам техники безопасности: как промывать глаза, как удалять пролитые жидкости и пр. Но сейчас, работая с Отт, я ощущал себя курсантом гигиенического военного лагеря. Она велела мне протереть лабораторный стол спиртом, а затем зажечь бунзеновскую горелку. Руками она очертила вокруг пламени нечто вроде сферы.

«Вот ваша зона стерильности», — объявила она.

Пока я работал в пределах этой зоны, мне не грозила никакая невидимая жизнь, которая могла испортить мой эксперимент. Бактерии и споры грибков, реющие в воздухе, сгорят, прежде чем смогут попасть в мои пробирки и чашки и вытеснить мою псевдомонаду.

Я пометил набор пластиковых пробирок цифрами и буквами. Взяв пипетку, я впрыснул жидкость в пробирки с питательными веществами, необходимыми для роста псевдомонады. Когда я случайно задел кончиком пипетки столешницу, Отт заставила меня прерваться и заменить ее на новую. На пипетку могли попасть микробы, налетевшие на стол после того, как я его простерилизовал, и они могли расплодиться в моих пробирках.

«Существует целый спектр паранойи, — сказала Отт, — и у меня — крайнее его проявление».

Как только я наполнил все пробирки, Отт велела мне облить спиртом пинцет и затем сунуть его в пламя бунзеновской горелки. Спирт вспыхнул синим и выгорел. Я опустил простерилизованный пинцет в пакетик с бусинами, стал вынимать их по одной и бросать в пробирки.

Теперь пора было добавить туда бактерии. Отт вручила мне бактериологическую петлю — длинную жесткую проволочку, которая заканчивалась едва заметным колечком. Я опалил ее над

пламенем, поднял крышку с одной из чашек Петри и подцепил комочек величиной с булабочную головку. Теперь на кончике петли были миллионы генетически идентичных представителей *Pseudomonas fluorescens* штамма SBW25, некогда выделенного учеными из сахарной свеклы на одной английской ферме.

Я поместил бактерии в пробирку, снова простерилизовал петлю и засеял следующий сосудик. Когда я заселил бактериями все пробирки, Отт поставила их в лоток, который поместила на платформу внутри инкубатора величиной с холодильник. Она повернула выключатель, и платформа начала вращаться, перемешивая жидкость в пробирках.

На следующий день эти пробирки из прозрачных стали мутными благодаря миллиардам бактерий, размножившихся за ночь. Еще больше глаз радовался тому, как выглядели бусины. Псевдомонада покрыла их слизистой пленкой.

Для микробиологов эта слизь — архитектурное чудо. Когда псевдомонада оседает на какой-либо поверхности, сие событие регистрируется белками на ее мембране. Они меняют конфигурацию, и это изменение влечет за собой изменения белков, плавающих внутри микробной клетки. Начинается каскад молекулярных кульбитов, которые в конце концов приводят к тому, что бактерия запускает в работу определенный набор генов. С помощью этих генов она синтезирует белки, которые затем переправляет к мембране и выделяет наружу. Эти белки сплетаются в клейкое вещество. Бактерия, окутанная такой слизью, закоривается на поверхности субстрата. Теперь она может кормиться проплывающими мимо фрагментами белков. Она растет и делится, а дочерние клетки выделяют собственную слизь, увеличивая ее общее количество. Все виды псевдомонад строят подобные биопленки для того, чтобы колонизировать поверхности — листьев, частиц почвы, кишечника кузнечика или легких больного муковисцидозом.

Я перенес покрытые слизью бусины в новые пробирки, где уже лежали чистые бусины. На следующий день я обнаружил, что новые бусины тоже покрылись бактериальной слизью, и перенес их в очередные пробирки. Каждым переключением бусин я исполнял роль естественного отбора.

Всякий раз, когда псевдомонада делится, существует вероятность примерно 1:1000, что она совершит ошибку и в дочерней клетке окажется мутация. Поскольку каждая клетка способна давать в день до миллиарда потомков, в моих пробирках родились миллионы мутантов. Перенесением бусин из одной пробирки в другую я благоприятствовал тем из них, которые лучше умели образовывать биопленки на бусинах. Те бактерии, которые продолжали свободно плавать в бульоне, были обречены на вымирание — старые пробирки мы с Отт стерилизовали.

Через неделю после своего первого визита я пошел в лабораторию проверить, как там эволюционирует жизнь под моим началом. Отт показала мне пару чашек Петри.

«Вот тут, в общем, все как обычно, — сказала она, пододвинув вперед одну чашку. — А вот тут ваш малыш, — она указала на вторую. — Если вам угодно будет надеть перчатки, я сфотографирую вас с вашими эволюционировавшими мутантами».

Я надел перчатки и поднял чашки, широко улыбаясь в объектив айфона. В одной руке у меня был обычное потомство — чашка Петри с нормальной *Pseudomonas fluorescens*. Она содержала бактерии, которые мы выращивали неделю в контрольных условиях. Когда Отт расселила их в чашке Петри, из них выросли мелкие, словно прыщички, колонии — такие, как и должны быть у этой бактерии.

В другой руке я держал свое «чадо» — коллекцию эволюционировавших мутантов. Целую неделю я перекладывал покрытые слизью бусины из одной пробирки в другую, а затем поместил последнюю в аппарат для встряхивания, чтобы отделить биопленку от бусины. Я высеял бактерии в чашку Петри и вырастил колонии. Отт заметила среди них необычные и взяла образец из одной, пересев его в отдельную чашку. Там мутантная бактерия разрослась в десятки крупных, с размытыми краями пятен, напоминающих призрачные лепестки цветка.

Позже Отт отослала образцы моих мутантов в Питтсбург, чтобы Купер и его коллеги могли на них взглянуть. Они распотрошили эти бактерии с целью прочесть их ДНК и отыскать изменения, вызвавшие их необычный рост.

«Это был новый для нас мутант», — сказал мне потом Купер. Геном *Pseudomonas fluorescens* содержит 6,7 млн пар оснований.

Напечатанный на бумаге, он займет объем, как у всех томов «Гарри Поттера». В этом массиве ДНК Купер и его коллеги-ученые обнаружили две генетические печатки, каких не было раньше у бактерий, с которыми я экспериментировал. Исследователи заподозрили, что одна из этих мутаций — замена цитозина на тимин — как раз и отвечала за необычную цветочную форму бактериальных колоний. Мутация изменила ген, который в норме помогает бактерии соткать вокруг себя пышное облако наподобие сахарной ваты. У моих бактерий мутация, скорее всего, сделала этот покров более клейким, что позволяло им лучше слипаться с бусинами и друг с другом.

Купер со своими аспирантами воспроизвели мой эксперимент намного масштабнее: они перекладывали склизкие бусины из пробирки в пробирку в течение нескольких месяцев. Позволив микробам эволюционировать дольше, они создали впечатляющий зоопарк мутантов. Одни разрастаются в колонии, похожие на чернильные кляксы. Колонии других напоминают срезы кумквата. Одни получаются цвета мандарина, другие же — цвета крови. Эти цвета и формы, вероятно, всего лишь побочные эффекты мутаций, способствующих росту бактерий в биопленках. Разнообразие форм и красок, созданное командой Купера, возможно, отражает сложность жизни в биопленке, где, как в джунглях, эволюция способна заполнять многообразие ниш многообразием мутантов.

В ту неделю, когда я работал в лаборатории, Отт параллельно со мной проводила собственный эксперимент. Я видел, как она что-то делала с невероятным количеством пробирок, колб и чашек, но настолько был увлечен аккуратным вылавливанием с помощью пинцета скользких бусин, чтобы они не разлетелись по всей лаборатории, что и не подумал толком расспросить ее. Только когда мне удалось вырастить мутанта, я попросил Отт рассказать мне поподробнее о синей башне.

Опыт исследовательницы был поставлен в рамках проекта, задуманного с целью разобраться, как синегнойная палочка эволюционирует в легких. Человеческое тело существенно отличается от листа или лужи, а значит, впервые попав внутрь, бактерии еще плохо приспособлены к новому обиталищу. Поначалу они делятся медленно. Возникшие мутации помогают бактериям

лучше справляться с условиями в человеческих легких, и их рост ускоряется. Так копятся мутация за мутацией. За счет них биопленки приспособляются к дыхательным путям. Если доктора заливают бактерии антибиотиками, возможны новые мутации, которые помогут этим микроорганизмам избежать яда. Для бактерий человеческие легкие подобны колбам Ленски.

Задачей исследования Отт было найти способ, как взять эту эволюцию под контроль. Вместо того чтобы стремиться уничтожить бактерии, исследователи хотели сделать их безобидными. С этой целью они вели эксперимент, аналогичный тому, который только что осуществил я. Они меняли бактериям среду, направляя естественный отбор в новую сторону.

Синий цвет в чашках Петри у Отт был обусловлен пигментом, который вырабатывает синегнойная палочка. Это пиоцианин — характерный признак заражения ею. Именно поэтому врачи, впервые выделившие синегнойную палочку в конце XIX в., дали ей такое название⁶.

Много десятилетий спустя ученые начали понимать, какие функции выполняет этот пигмент. В частности, он, по-видимому, отпугивает иммунные клетки, мешая им атаковать бактерии. Мало того, он еще и способствует запуску воспалительного процесса, разрушающего легкие людей с муковисцидозом. Если бы бактерии хотя бы просто прекратили вырабатывать пиоцианин, они бы стали гораздо менее грозными. Исследователь Бенджамин Чан, сотрудник лаборатории Тёрнера, обнаружил потенциальное средство подтолкнуть эволюцию синегнойной палочки в нужном направлении — вирус.

Вирусы, поражающие бактерии, называются бактериофагами или просто фагами. У каждого штамма фага есть молекулярные якорьки, с помощью которых он может цепляться к определенному типу белков на поверхности бактерий. Как только происходит прицепление, фаг получает возможность вторгнуться внутрь бактерии и запустить там производство новых фагов.

Бактерии в ходе эволюции выработали множество способов защиты от фагов плюс смогли изобрести новые, столкнувшись с новым врагом. Один из простейших для микроорганизма приемов защититься от фага — утратить белок, к которому он цепляется.

ся. Если фаг использует ключ к замку бактерии, та может попросту убрать дверь. Разумеется, белки у бактерий на поверхности существуют не просто так. Одни нужны для того, чтобы засасывать внутрь клетки питательные вещества, другие — чтобы посылать сигналы сестрам-бактериям, третьи действуют как сенсоры, информирующие об окружающей среде. Но цена утраты одного из этих белков может оказаться ниже, чем преимущества, которые дает защита от фагов.

В поисках новых видов бактериофагов Чан обнаружил десятки тех, что способны поразить синегнойную палочку. Когда исследователь и его коллеги напустили один из таких фагов на бактерии, естественный отбор стал благоприятствовать мутантам, переставшим производить белок, который фаги использовали для проникновения. Но у мутации оказалось и другое следствие: эти бактерии стали вырабатывать меньше пиоцианина. Возможно, мутация блокирует в ДНК синегнойной палочки генетический переключатель, который управляет синтезом как поверхностного белка, так и синего пигмента.

Чан и его сотрудники заинтересовались, нельзя ли использовать новооткрытый фаг, чтобы помочь больным муковисцидозом. Если они вдохнут фаг, он вряд ли причинит им вред, ведь фаги поражают только бактерии, а не человеческие клетки. Бактерии могут выработать сопротивляемость фагу, но в ходе этого процесса они жертвуют своей способностью производить опасный синий пигмент.

На клиническом испытании врачи распылили Чановых фагов в дыхательные пути пациентов с муковисцидозом. Когда фаги стали атаковать колонии синегнойной палочки, добровольцы принялись регулярно откашливать в пробирки мокроту. Пробирки отсылали Отт, которая выделяла из содержимого синегнойную палочку и высекала ее в чашки Петри. После того как бактерии разрастались в микробную пленку, она ставила сосуды друг на друга. Синие чашки наверху содержали образцы бактерий от пациентов до начала фаговой терапии, а нижние — те, что отбирались после, неделя за неделей. Синяя окраска бледнела сверху вниз, и Отт с коллегами убедились, что эволюционная интуиция исследователей оказалась верной. Бактерии стойко снижали выработку

пиоцианина и, возможно, становились менее опасными обитателями для человеческих легких.

«Чем меньше синего, тем меньше воспаления, — сказала Отт, — и это хорошо».

Отт и ее сотрудникам понадобится внимательнее изучить бактерии и еще много раз повторить эксперимент, прежде чем они убедятся, что фаги оказываются действительно безопасным и эффективным средством укротить микробов. Что скажут государственные органы регулирования насчет идеи внедрять вирусы в организм больных людей, можно только гадать. Но рано или поздно, при достаточной настойчивости, это живое лекарство, вероятно, заработает. Эволюция убеждает в этом.

Наука биология расширяет наши представления о живом, позволяя выйти за пределы личного опыта ощущения жизни, оглянуться назад на миллиарды лет истории живого и заглянуть в микроскопическое пространство клетки. Но всякому биологу приходится идти на суровый компромисс. Невозможно знать все обо всем. Чтобы стать специалистом хотя бы в одной области живого, может понадобиться вся жизнь. Изабель Отт могла бы засыпать меня рассказами о безвредных бактериях, стоило мне только попросить. Но если бы я стал расспрашивать ее о питонах, она бы мало что смогла мне сказать. Я провел много часов, беседуя со Стивеном Секором о питонах, пока мы снимали пробу с лучших сортов пива Таскалусы. Но мне бы и в голову не пришло требовать, чтобы он разбирался в биологии размножения кленов.

Однако и клены, и змеи, и бактерий, и слизевиков, и летучих мышей объединяют общие приметы жизни. Все они размножаются и эволюционируют; все они принимают решения, обращают пищу в энергию и поддерживают внутренний гомеостаз. Людям было кое-что известно об этих приметах и до развития биологии. Они знали, что деревья дают семена и из них вырастают другие деревья. Они знали, что летучие мыши каким-то образом умеют переживать и зимнюю стужу, и летнюю жару. Теперь они гораздо больше знают о том, как все это устроено. И оказывается, что верное для одного вида в фундаментальном смысле верно для всех.

Время от времени ученые задаются вопросом: что дает нам объединение всех этих нитей общности? Если у всех живых существ есть некие общие признаки, можно ли вывести из них определение жизни? Этот вопрос — что же такое жизнь? — как будто бы первый и главный из тех, на которые следует ответить биологам. И все же ответа на него пока нет, а возможно, никогда и не будет.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

РЯД ТЕМНЫХ
ВОПРОСОВ

ЧУДЕСА РАЗМНОЖЕНИЯ

Волны разбивались о берег, с каждым ударом нанося на него свежий песок. пляж вздымался рядами дюн, похожих на песчаные волны. С подветренной стороны они сменялись упорядоченной картиной живого: подстриженных кустов, цветочных клумб, оранжерей. Обширное поместье Соргвлит служило летней резиденцией Виллема Бентинка, графа Нидерландского. В XVIII в. оно считалось одним из наиболее великолепных парков Европы. В наши дни от былой славы Соргвлита осталось немного: нет больше громадного искусственного холма, окруженного лабиринтом, нет и деревьев, в кронах которых были выстрижены окна и двери, чтобы придать им форму лиственных домиков.

Но для биологов Соргвлит остается святилищем. Для них он славен не былым величием своих земель, а крохотным животным, таящимся в его рыбных прудах и каналах. Оно обнаружилось летом 1740 г., когда ученые всей Европы уверенно высказывались о том, что значит быть живым. А это загадочное существо показало, сколь глубоким было в действительности их неведение в отношении жизни.

Животное открыл безродный молодой человек по имени Абраам Трамбле^{*1}. Официально Трамбле прибыл в Соргвлит в качестве учителя для двух малолетних сыновей графа, но вскоре фактически заменил мальчикам родителей. Мать их уехала в Германию с любовником, а отец большую часть времени проводил в Гааге — либо по государственным делам, либо по бракоразводным. В Соргвлите Трамбле был едва ли не более одинок, чем эти дети. Он

* В отечественной литературе встречается также написание Авраам Трамблей. — *Прим. ред.*

родился в Швейцарии, учился математике и богословию, готовясь принять духовный сан. Но политические распри вынудили его уехать в Голландию; несколько лет он перебивался частными уроками, пока не получил постоянную должность у графа.

Будучи одновременно набожным и любознательным, молодой человек решил, что его миссия в Соргвлите — научить мальчиков видеть всемогущество Бога в явлениях природы. Он не тратил много времени на формальные уроки или пережевывание сочинений Аристотеля. Трамбле был детищем научной революции, которую возвещали новые теории живого, и хотел самолично проверить, насколько хорошо они объясняют окружающий мир.

«Природу следует объяснять через природу, — говорил Трамбле впоследствии, — а не через наши собственные представления»².

В Соргвлите природа охотно с ним сотрудничала. Трамбле прогуливался с детьми по поместью, наблюдая за животными и растениями. Они выуживали из прудов ряску. Ловили в канавах насекомых. Приносили свои трофеи к нему в кабинет, где исследовали мелкие детали строения найденных образцов. Порой пользовались лупой. А иногда им доводилось смотреть в изготовленный для них по заказу графа микроскоп с линзой на конце снабженного шарниром рычага.

Трамбле тщательно зарисовывал все, что он и его ученики наблюдали в этом миниатюрном мире. Зачастую они оказывались первооткрывателями. В своих письмах молодой естествоиспытатель рассказывал другим ученым Европы о сделанных открытиях — причудливой сложности строения гусениц, пчел и тлей, и его корреспонденты быстро признали одиноко работающего на голландском побережье учителя за своего.

Фауна Соргвлита вскоре втянула Трамбле в бушевавший по всей Европе вот уже почти столетие спор о природе самой жизни. По одну сторону в этих дебатах находились последователи философа XVII в. Рене Декарта³. Тот выступал против традиционных представлений о том, что у природы есть цели, например что гравитация притягивает тела к центру Земли, поскольку якобы знает, где он. Вместо этого французский ученый предложил концепцию материи в движении. На первых порах его концепция распространялась только на неодушевленные предметы

типа маятников и планет. Но впоследствии Декарт стал рассматривать в рамках этой концепции и живых существ. Они ведь тоже состояли из частей, работавших слаженно, наподобие часового механизма. Шестеренки часов приводились в движение пружинами и гирями. Части тела животного приводились в движение каким-то аналогичным способом — по убеждению Декарта, микроскопическими взрывами внутри нервов. Он ожидал, что когда-нибудь физика опишет жизнь так же хорошо, как ей это удавалось в отношении падения камня на землю или вращения Луны вокруг нашей планеты.

Декарт вдохновил целые поколения последователей, и они распространили его механистические взгляды на жизнь с животных на человека. За вычетом разумной души, утверждали они, наш организм во многом подобен машине. Картезианские медики считали себя коллегами часовщиков. «Как и вся природа, медицина должна быть механической», — заявил в 1695 г. немецкий врач Фридрих Гофман⁴.

Вместе с тем Декарт вдохновил и поколения противников. Одних в принципе возмущало, что он как будто бы не нуждался в Боге для объяснения мироздания. Другие не могли примирить картину мира Декарта со своим собственным пониманием природы. Чем пристальнее эти антикартезианцы⁵ вглядывались в живое, тем сложнее оно оказывалось — как анатомически, так и по части поведения. И эта сложность служила более масштабной задаче: она позволяла организмам выживать и размножаться. Никакая механистическая философия не могла объять эту сложность или объяснить ее цель. Эта-то цель, по твердому убеждению антикартезианцев, и создавала кардинальное различие между неорганической материей и живыми существами.

Медик Георг Эрнст Шталь провозгласил, что миссия науки — понять это различие, добраться до корней того, что же отличает живое от неживого. «Следовательно, прежде всего дело сводится вот к чему: узнать, что такое жизнь»⁶, — писал Шталь в 1708 г.

Он предложил и ответ на собственный вопрос — определение, которое в последующие века многие примут. Жизнь заключается «не в материях тела — анатомии, химии, “смешении” гуморов, а в их взаимосвязи». По мнению Штала, такая взаимосвязь

служила тому, чтобы живые существа могли выдерживать удары враждебного мира и противостоять силам распада. Для ее поддержки требовалась некая внутренняя мощь, которую немецкий доктор обозначил как душу⁷.

Одной из наиболее несомненных примет живого было размножение, но натуралисты ожесточенно спорили по поводу того, как живое осуществляет этот процесс. Одни ученые утверждали, что части живого организма уже существуют в яйцеклетке или сперматозоиде. Семечко, из которого прорастает дерево, по их мнению, содержало и семена этого будущего дерева, которые, в свою очередь, содержали в себе свои семена. Другие находили нелепой идею, что жизнь может существовать в форме бесконечного множества коробок в коробках. Они доказывали, что части живых организмов не предшествуют самим организмам. Сложная анатомия животных и растений должна складываться постепенно, в таинственном ходе развития.

В переписке, затеянной Трамбле в 1740 г., корреспонденты-натуралисты поделились с ним замечательным открытием, связанным с размножением живого. Шарль Бонне из Женевы написал, что наблюдал рождение потомства у тлей без их предварительного спаривания. Бонне и его учитель, французский натуралист Рене Антуан Реомюр, заразили Трамбле своим изумлением, и тот решил самостоятельно расследовать парадокс. С помощью учеников он вырастил в Соргвлите самок тлей. В какой-то момент те стали откладывать яйца, как и предсказывали Реомюр с Бонне.

Если самки тлей могли давать нормальное потомство без участия «мужей», стало быть, их яйца уже содержали заранее сформированных отпрысков. Подобная возможность указывала на то, что у животных, вероятно, больше автономии, чем следовало бы ожидать от созданных Богом машин. Трамбле задался вопросом: что, если законы природы, на которые ссылаются ученые, на самом деле лишь презумпции? Наблюдения привели натуралиста к тому, что он почувствовал себя еще более смиренным. Он вполне довольствовался описанием закономерностей, не претендуя на открытие божественных законов.

Это смирение позволило Трамбле разглядеть еще кое-что, прежде не замеченное. В один из июньских дней 1740 г. он рассма-

тривал выловленную из канавы ряску. Исследователь заметил, что к листочку прилип малюсенький зеленый стволик. На вершине стволика был странный венчик, как бы из шелковых нитей. Осмотрев другие листочки ряски, Трамбле нашел такие же стволики.

Он не знал, что другие натуралисты заметили эту необычную форму жизни за 40 лет до него. Они отнесли ее к царству растений. Трамбле тоже решил, что это растение; аналогично думали и гости, которым он показывал находку. Некоторые принимали ее за травинку или пушинку одуванчика.

Но Трамбле обратил внимание на нечто диковинное: венчики шевелились. Они не просто колыхались от движения воды у него в банках. Нити венчика, по-видимому, двигались целенаправленно.

«Чем больше я следил за движениями этих отростков, тем сильнее мне казалось, что они обусловлены внутренней причиной»⁸, — вспоминал потом Трамбле.

Он взял в руки одну из банок с этими загадочными штуковинами и потряс ее. К его изумлению, нити вдруг втянулись внутрь зеленых стволиков. Как только он оставил банку в покое, они снова вылезли наружу. Их поведение, по словам натуралиста, «решительно вызывало в... сознании образ животного»⁹.

Однажды Трамбле обнаружил, что венценосные животные прилепились к стенке банки там, где их раньше не было. Он понял, что они самостоятельно передвигаются, отрываясь от ряски и перемещаясь, словно подводные гусенички-землемерки. У этих животных была цель: они стремились к свету. Если Трамбле поворачивал банку так, что стволики оказывались в темноте, они снова выползали на солнце. А еще эти существа ели. Трамбле видел, как они захватывают щупальцами червячков и затягивают добычу в рот, расположенный в центре венчика. Он был свидетелем их обедов дафниями и даже мальками рыб.

Натуралисту никогда раньше не доводилось видеть более странных животных, он даже не читал ни о чем подобном. Он придумывал опыт за опытом с целью разобраться, что же они такое. Одно из этих существ он разрезал пополам, но оно не умерло — напротив, его половинки регенерировали в двух полноценных особей со стволиками, головами и щупальцами. Они даже снова

начали двигаться. «Не знаю, что и думать», — признавался Трамбле Реомюру.

Французский ученый тоже не знал. Письма Трамбле об этих созданиях становились все более фантастическими. Когда Реомюр рассказывал коллегам о наблюдениях голландского исследователя, те просто отказывались верить, что такое возможно. Реомюр запросил образцы существ, чтобы взглянуть на них собственными глазами.

Трамбле упаковал 50 особей в стеклянную пробирку и запечатал ее сургучом. Когда Реомюр получил пробирку во Франции, все животные оказались мертвыми: они задохнулись из-за плотной затычки. Трамбле повторил попытку, заткнув пробирку обычной пробкой, и в марте 1741 г. француз получил этих существ живыми. После того как он разрезал животных на части, те регенерировали — что и говорил Трамбле. «Это факт, с которым я не могу свыкнуться, хотя наблюдал его снова и снова, сотни раз», — признавался Реомюр.

Если бы открытое Трамбле животное было хитроумной машиной, при разрезании пополам его детали перестали бы работать. А если бы оно развивалось из какого-то заранее подготовленного семени, то невозможна была бы регенерация новых организмов целиком. Если же каждое животное обладало неделимой животной душой, то приводило бы разрезание особи на части к появлению новых душ без Божьего предвидения и промысла?

«Неужели душа делима?» — поражался Реомюр.

Он посоветовал Трамбле дать этим существам название. И предложил слово «полипы», использовав одно из латинских обозначений осьминога. (В наши дни они известны как гидры, а судя по их генам, они родственны медузам и кораллам.) Когда Реомюр продемонстрировал полипов Трамбле в Академии наук, его коллеги поразились в той же степени, как прежде он сам. Официальный отчет о выступлении ученого воспринимался скорее как балагурство циркового зазывалы, нежели как научная публикация: «История феникса, возрождающегося из пепла, сколь бы она ни была удивительна, являет не большее чудо, чем открытие, о котором у нас пойдет речь».

При поддержке Реомюра полип прославился на всю Европу. Натуралисты выпрашивали себе у Трамбле животных, что-

бы посмотреть на них. «Я только и делаю, что рассылаю полипов то туда, то сюда»¹⁰, — ворчал тот. Когда он отослал первую партию своих существ в Лондон, посмотреть на них в микроскоп в Королевском обществе собралось 200 человек. Получив полипов от Общества, уже упоминавшийся Генри Бейкер пронаблюдал за ними и зарисовал их акробатические передвижения. А затем скоропалительно выпустил книгу «Опыт естественной истории полипа» (*An Attempt Towards a Natural History of the Polype*). Пока Трамбле скромно продолжал свои опыты в Соргвлите, Бейкер удовлетворял любопытство публики.

Рассказы о полипах из вторых рук, объяснял Бейкер, «кажутся столь необычайными и столь противоречащими общему ходу естества и нашим признанным мнениям о *животной жизни*, что многие люди видят в них нелепые причуды и смехотворную невозможность»¹¹. Бейкер же из первых рук предоставил выразительное описание, как полип передвигается, ловит добычу и поедает ее. Однако он понимал, что у иных скептиков эта фантастическая идея, будто полип — животное, вызовет насмешку, поскольку она «не соответствует их гипотезе о жизни в целом».

Больше всего не соответствовала ей регенерация. «Если животная душа или жизнь, скажут они, есть единая неделимая сущность, единая в целом и в каждой части, то как же в этом существе она выдерживает деление 40–50 раз и тем не менее продолжает существовать и благоденствовать?» — вопрошал Бейкер.

Пока Бейкер пел полипам дифирамбы, Трамбле открывал в них еще более удивительные свойства. Связующим веществом их организма служила клейкая субстанция, похожая на яичный белок и сопротивляющаяся попыткам разорвать ее. Натуралист задумался, не держит ли он в руках материю жизни¹² — клей, который не просто скрепляет его животных воедино, но и дает им силу движения. Так зародилась идея животворной субстанции, которую век спустя ученые будут называть протоплазмой.

В других опытах Трамбле получал из одного полипа несколько десятков. Он отрезал от животных кусочки так, что из них вырастали уродливые монстры. Он сращивал вместе двух полипов и видел, как в итоге получается единое жизнеспособное животное. Однажды он поместил на ладонь каплю воды с полипом. Дру-

гой рукой он просунул в его стволик свиную щетинку и вытащил обратно. Тело животного вывернулось наизнанку, как перчатка, сдернутая с руки вечером морозного дня. Внутренностью наружу, полип продолжал жить. Когда Трамбле сообщил об этом фокусе, многие натуралисты сочли его невозможным. Голландскому естествоиспытателю пришлось созвать в Соргвлиит группу видных специалистов, чтобы они сами увидели, как он выворачивает полипов наизнанку, и засвидетельствовали это.

В 1744 г. Трамбле наконец выпустил двухтомную монографию, где описывались все эти исследования. Но она ознаменовала не начало его новой карьеры зоолога, а конец научной деятельности. Братья Бентинк выросли и больше не нуждались в его услугах. За те годы, что Трамбле пребывал в Соргвлиите, граф ввел его во влиятельные круги своих знакомых, которые оценили острый ум учителя. В качестве участника тайной дипломатической миссии, целью которой было урегулирование войны за австрийское наследство, он отправился во Францию. По завершении этой миссии Трамбле пригласили руководить обучением одного юного английского герцога, и исследователь несколько лет путешествовал по континенту со своим учеником. Эти две должности принесли Трамбле пару щедрых субсидий, которыми он воспользовался для того, чтобы вернуться в Женеву, купить имение, вырастить собственных пятерых детей и написать ряд книг о преподавании.

Главным учеником Трамбле стал он сам. Всего за четыре года он самостоятельно научился строгой методике экспериментов на животных. Обучаясь извлекать из своих полипов данные, он выдвинул научные основы экспериментальной зоологии. И еще долгое время после того, как он закончил свои исследования и покинул Соргвлиит, сделанные им на полипах открытия будоражили умы натуралистов и философов. Эти существа, которых иные ошибочно именовали «насекомыми», демонстрировали, что живое опровергает все прежние о нем представления.

«Жалкое насекомое только что явило себя миру и перевернуло то, что мы до недавнего времени считали непреложным законом природы, — заявил натуралист Жиль Базен. — Философы напугались, а поэт сказал нам, что сама смерть побледнела»¹³.

РАЗДРАЖИМОСТЬ

В то время как Трамбле и юные Бентинки шлепали по канавам, в немецком Гёттингене один молодой доктор наработывал себе репутацию более традиционным путем. Альбрехт фон Галлер¹ переехал туда в 1736 г., поддавшись на уговоры местного барона, который строил новый университет и хотел пригласить в него лучшего анатома Европы. В свои 28 лет Галлер был уже весьма очевидной кандидатурой. Барон так жаждал заполучить его, что выстроил для молодого человека усадьбу, ботанический сад и кальвинистскую церковь, чтобы тот мог посещать там службы. И ведь это было отнюдь не всё, что барон предоставит Галлеру. «Прибыв по приглашению в Гёттинген, я счел наиважнейшим для себя делом построить анатомический театр, — писал ученый впоследствии, — и обеспечить его трупами»².

Как и Трамбле, Галлер был швейцарцем в изгнании. Он родился под Берном в семье, которая слыла нервной, скрытной и чудаковатой. Пятилетним малышом Альбрехт сидел на кухонной плите и зачитывал домашней прислуге наставления из Библии. К девятилетнему возрасту он свободно читал по-гречески и уже был автором биографий более тысячи знаменитостей. Он начал интересоваться, как устроено тело внутри, и удовлетворял свое любопытство, вскрывая животных. Уехав из Швейцарии учиться медицине — сначала в Германии, потом в Голландии, он принялся и за людей.

Студенты-медики, однокашники Галлера, находили его несносным. Он воспринимал возражения как личные нападки. «Он не мог спокойно относиться к чужим ошибкам», — писал один

из его биографов. Когда некий знаменитый профессор объявил о своем открытии нового слюнного протока, Галлер, которому не было и 20 лет, проверил это на практике. Юноша сконфузил профессора, доказав, что того ввел в заблуждение обычный кровеносный сосуд.

Окончив медицинскую школу, Галлер продолжил свое образование в Лондоне и Париже. Став свидетелем жуткой операции на мочевом пузыре, он решил, что не будет оперировать живых людей. Молодой человек стал проводить еще больше времени за вскрытием трупов, и чем тщательнее он их изучал, тем больше узнавал. По словам ученого, сказанным впоследствии, «освоить всё и полностью рассмотреть все области человеческого тела столь же исключительно трудно, как досконально описать всю необъятность земель, рек, долин и холмов»³.

Завершив учебу, Галлер возвратился в Берн и стал семейным врачом, обязанности которого состояли главным образом в том, чтобы делать кровопускания мамашам и детям. Клиентура у него была скудная, поэтому оставалось много свободного времени, большую часть которого он проводил, бродя по склонам Альп. Ему было чуть за 20, когда он прославился как ботаник — знаток альпийской флоры. В Лондоне молодой человек полюбил английскую поэзию и теперь написал длинную романтическую поэму «Альпы» (*Die Alpen*), воспевавшую горы. Она сделала его самым читаемым немецким стихотворцем своего времени и превратила Альпы в туристический магнит XVIII в.

В свободное от кровопусканий, стихов и походов по горам время Галлер занимался вскрытиями, работая в основном с трупами преступников и бедняков. Он открывал новые мышцы, связки и сосуды. В 1735 г. Галлер провел первое тщательное вскрытие сиамских близнецов. У пары младенцев, умерших сразу после рождения, было по отдельному мозгу, но общее сердце. Галлер заключил, что душа не может циркулировать в крови, ведь это означало бы, что две независимые души детей смешивались. В мудренном сращении близнецов Галлер усмотрел отнюдь не уродство, а новое свидетельство Божьего умысла и всемогущества.

Благодаря заслуженной в Берне славе молодой исследователь и получил приглашение в только что открытый Гёттингенский

университет, где тут же приступил к работе — даже более рьяно. Всего за несколько лет он выпустил ряд томов по ботанике и анатомии, хотя за это время потерял двух жен и двоих детей. В своем анатомическом театре Галлер руководил целой армией анатомов и художников, зарисовывавших все, что обнаруживалось при вскрытиях.

Мертвецы помогали Галлеру познавать живых. Он любил называть разрабатываемую им науку «анатомией в действии». На первом этаже своего театра Галлер проводил опыты с человеческими трупами, а на втором — еще более жуткие исследования. Там он и его студенты работали с живыми собаками, кроликами и другими животными. Галлер считал недостаточным просто рассмотреть, как куполообразная пластина диафрагмы прикрепляется к ребрам в грудной клетке у мертвого человека. Ему нужно было видеть живую диафрагму в движении.

Трамбле и сам проводил изуверские эксперименты на полипах, но никого особенно не волновали беды малюток, которых он разрезал пополам. Галлер, напротив, приобрел в Гёттингене дурную славу из-за того, что по его вине страдали животные. «Когда нужно изрядно собак и кроликов, то начинаются трудности, неизбежные в маленьком городке, где все удивляет и привлекает зевак»⁴, — сетовал он.

Причинение боли животным нелегко давалось и самому Галлеру. Однажды он охарактеризовал свое исследование как «вид жестокости, к которому я чувствую такое отвращение, какое можно превозмочь только желанием принести пользу человечеству, но он простителен по той же причине, что побуждает людей самого гуманного склада ежедневно поедать плоть безвинных животных безо всяких угрызений совести»⁵.

Поначалу задачей экспериментов Галлера было исследование органов поочередно. Но с течением времени он стал рассматривать диафрагму, сердце и все прочие части тела как элементы единой большой системы. Мысль естествоиспытателя перешла к более фундаментальным вопросам о живом. Самым важным для него было то, как двигаются живые организмы. Некоторые движения живого видны — когда мы ходим, к примеру, или моргаем. Но Галлер знал, что и внутренности нашего тела постоянно пре-

бывают в скрытом движении. Наше сердце бьется. Наш желчный пузырь выбрасывает желчь. Нашему кишечнику присуща перистальтика.

Галлер был убежден, что движения подразделяются на ограниченное число типов. Одни возникают по нашей воле. В других случаях мы автоматически реагируем на ощущения. Исследователь заключил, что этот тип движений каким-то образом производится нервами. Основываясь на тогдашнем научном о них знании, Галлер считал, что нервы должны также чувствовать, что происходит в двигаемых ими частях тела.

Чтобы проверить, верно ли это, Галлер со своими студентами испытал на внутренностях сотен живых животных воздействие ножей, жара и едких реактивов. Крики и сопротивление подопытных давали им знать, какие части тела чувствительны. Кожа, как и следовало ожидать, отличалась тонкой чувствительностью. Но легкие, сердце и сухожилия ее не обнаруживали. Сколько бы Галлер на них ни воздействовал, у животных реакции не возникало.

Естествоиспытатель также установил, что для движений в теле нервы не обязательны. Извлекая у животных сердце, он видел, что этот орган иногда продолжает биться еще долгое время после отделения от нервной системы. Когда же сердце останавливалось, Галлер порой мог ненадолго оживить его, коснувшись ножом или облив реактивом.

Этот второй тип движения — называвшийся в XVIII в. раздражимостью — заинтриговал Галлера еще больше. Он поставил новую серию опытов, чтобы составить карту раздражимости организма. Совместно со студентами он проверял, сокращаются ли органы и ткани в ответ на стимул. Одни не реагировали, другие отзывались слабо. Но все мышцы оказались высокораздражимыми. Сердце же, как заключил Галлер, было «самым раздражимым органом»⁶.

Исследователь задался вопросом, откуда берутся чувствительность и раздражимость. Согласно типичным воззрениям врачей того времени, нервы содержали таинственную субстанцию под названием «животные духи». По некоторым теориям, эти духи производили химические взрывы, вызывающие движения мышц. Но раздражимость не зависела от нервов, а значит, ее движущая

сила имела иной источник. Галлер решил, что этот источник — в самих мышечных волокнах, где движение зарождается независимо от души.

Чем больше Галлер размышлял над раздражимостью, тем более глубоким представлялось ему данное явление. Он решил, что это и есть признак живого, который дает четкое определение смерти, — она наступает в тот момент, когда сердце утрачивает раздражимость. Понимаемая в качестве силы, она казалась Галлеру столь же фундаментальной, как гравитация, — и столь же таинственной. Даже легкий укол в мышцу мог вызвать избыточную реакцию, и это вроде бы противоречило классической физике.

В 1752 г. естествоиспытатель прочел ряд лекций о своих опытах, а на следующий год издал их в виде книги. Эта публикация, вышедшая вскоре после труда Трамбле о полипах, наделала не меньше шума. Ранее публика желала увидеть собственными глазами регенерацию полипов. Теперь анатомы всей Европы захотели воспроизвести опыты Галлера своими руками. Один путешественник, побывавший во Флоренции в 1755 г., писал: «Повсюду я видел хромых собак, над сухожилиями которых проводились эксперименты касательно их нечувствительности»⁷.

Не все опыты Галлера удалось воспроизвести. Его утверждение, что столь многое в теле производит свою собственную силу независимо от души, вызвало нападки критиков. «Враги г-на Галлера везде крайне многочисленны»⁸, — отметил один из его студентов. Но никто из противников исследователя не мог сравниться с ним по научной продуктивности. Один лишь масштаб его работы оказывался сокрушительным для оппонентов. Некий французский врач просто пожал плечами и сдался, вопрошая: «Что можно противопоставить 1200 опытам?»⁹

Вскоре после публикации своих открытий Галлер покинул Гёттинген. Он оставил поместье, церковь, сад, анатомический театр. Сорокапятилетний исследователь вернулся в Швейцарию, надеясь сделать там политическую карьеру, но переоценил свои шансы и получил лишь должность директора соляных копей. Должность оставляла Галлеру достаточно свободного времени, чтобы писать — о ботанике и медицине, а также книжные рецензии, коих он опубликовал 9000. Галлеру больше не было суждено вскрыть ни один

труп. Не разрежет он и ни одного кролика. С тех пор если он и проводил хоть какие-то исследования подобного рода, то разве что эксперименты на себе*.

Ко времени своего возвращения в Швейцарию Галлер утратил энергию, толкавшую его в молодости в походы по горам. Теперь он страдал лихорадкой, несварением, бессонницей и подагрой. Чувствительность отыгрывалась на нем. Галлер с глубоким любопытством стал наблюдать ее изнутри. Когда у него обострялась подагра, он сгибал сухожилие большого пальца на ноге и записывал свои ощущения. Он ни разу не ощутил дискомфорта — разве что согнув палец изо всех сил, до растяжения кожи, «в какой-то момент, — писал он впоследствии, — боль становилась нестерпимой»¹⁰. Для Галлера эта нестерпимая боль была личным доказательством того, что кожа чувствительна, в отличие от суставов, которые, следовательно, не содержат нервов.

Когда ученый подошел к своему шестидесятилетнему рубежу, он стал страдать хроническими инфекциями мочевого пузыря, вынудившими его употреблять опиум. Он был хорошо знаком с этим препаратом. В Гёттингене исследователь выращивал в своем ботаническом саду мак, извлекал из него опиум и давал его животным, наблюдая за последствиями. Галлер заметил, что опиум снижает у них чувствительность. У получившей большую дозу препарата собаки отсутствовала реакция зрачков, если к ее глазам подносили свечу. Но, когда ученый испытал животных на раздражимость, он обратил внимание, что на нее опиум действует намного слабее. Раздражимость кишечника снижалась лишь отчасти, а сердце продолжало биться нормально. Галлер истолковал эти результаты как дополнительное свидетельство того, что раздражимость и чувствительность имели фундаментально разную природу.

После того как Галлер опубликовал свои открытия, шотландский врач Роберт Уитт объявил, что тот заблуждается. Уитт провел собственные опыты и обнаружил, что опиум замедляет пульс

* Жизнь ученого после возвращения в Швейцарию не стала менее продуктивной. Подробности его интереснейшей биографии см., к примеру, в книге: Меркулов В. Л. Альбрехт Галлер (1708–1777). — Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1981. 183 с. — *Прим. ред.*

животных. Свойственные Галлеру «честность и любовь к истине»¹¹, по мнению шотландца, должны были побудить того «охотно признать свою ошибку, как только он ее обнаружит». Однако это было не в характере Галлера. Он отмахнулся от работы Уитта как от недостаточно научной.

Мучения Галлера усиливались. Он стал еще хуже спать по ночам, а суставы у него разболелись от артрита. Несмотря на свое знакомство с опиумом, он не был готов принимать его сам. До него доходили слухи о восточных царствах, где неумеренное употребление этого наркотика вызывает, как писал он, «ужасное слабоумие»¹². Для ведущего деятеля века разума страшнее всего было умопомрачение.

Галлер поделился своими опасениями в переписке со старым другом, британским врачом Джоном Принглом. Будучи одним из ведущих медиков Великобритании — впоследствии он станет личным врачом короля Георга III, — Прингл своим медицинским авторитетом смягчил обеспокоенность Галлера. «Дозу следует отмерять не в каплях или гранах, но избрать такую, которая сможет обеспечить вам ночи без боли и столь частых позывов к мочеиспусканию», — заверил он своего друга в 1773 г.

Опиум принес исследователю немедленное облегчение — как он писал в своем ответе Принглу, «подобно тому как утихание ветра успокаивает бушующее море»¹³. Наряду со столь поэтическим, Галлер дал и научное описание своего опыта, отслеживая пульс, отмечая потение и качество сна. Он считал себе пульс перед каждой дозой и после нее. Он фиксировал каждое мочеиспускание. Он записывал каждый свой пук. Шли недели, у него вырабатывалась зависимость, а эффективность опиума падала. Галлер повысил дозу до 50 капель, затем до 60, 70 и в конце концов до 130. Теперь опиум дарил страдальцу часы блаженства, «радостные и полные величайшей жажды деятельности», по его словам. А за ними всегда следовало крушение.

«Уже и так ослабевшие, физические силы еще больше истощаются, когда проходит воздействие опиума, — писал ученый. — Я заметил весьма отвратительный его запах, выделяющийся через кожу; в этом запахе ощущалось что-то горелое, неприятное для носа».

К 1777 г. Галлер перестал выходить из дома, растолстел и частично ослеп. Но продолжал принимать у себя идущих потоком визитеров, среди которых был император Иосиф II, который поинтересовался, пишет ли еще Галлер стихи. «Нет, конечно, — якобы ответил тот, — это были грехи молодости».

Но все-таки, благодаря непрерывному подкреплению опиумом, естествоиспытатель продолжал писать; среди прочего, он написал отчет о своем опыте его употребления. До конца своих дней Галлер искал подтверждения, что прав был он, а Уитт, наоборот, ошибался. Исследователь обнаружил, что пульс у него поднимался, когда опиум снимал боль, и падал, стоило действию наркотика пройти. Ученый использовал свою зависимость, чтобы развесть природу раздражимости и чувствительности.

Вскоре после того, как отчет об опиуме был представлен в виде публичной лекции, Галлер скончался. У него было много биографов, и всем им нравилось описывать последние мгновения жизни ученого. Эта версия из биографии, написанной в 1915 г., явно вымышлена, но удивительно ему к лицу:

Пальцы одной руки он держал на слабеющем пульсе другой. Наконец он спокойно произнес: «Больше не бьется — я умираю»¹⁴.

СЕКТА

И Галлера, и Трамбле больше всего на свете интересовали наблюдения за жизнью. У них не было особого желания придумывать поспешные и масштабные объяснения всему, что они видели. Галлер полагал, что никогда по-настоящему не постигнет раздражимости, поскольку ее истинная природа, по его словам, «кроется за пределами возможности исследований с помощью ножа и микроскопа». Переступить эту границу ученый не отважился. «Тщеславные попытки наставлять других на пути, где мы сами блуждаем во тьме, показывают, по моему скромному разумению, крайнюю степень самонадеянности и невежества»¹, — писал он. Бог таинственным образом наделил мышцы раздражимостью подобно тому, как он снабдил Землю и Луну гравитацией.

Однако другие натуралисты осмеливались предлагать собственные объяснения жизни. Ведущий естествоиспытатель того времени Жорж-Луи Леклерк, граф де Бюффон², заявил, что жизнь отличается от неживой материи химически, так как состоит из частиц, которые он назвал «органическими молекулами». Бюффон понятия не имел, из чего молекула состоит в принципе, не говоря уже об отличиях одной органической молекулы от другой. Но он был убежден, что все живые организмы, будь то полипы или люди, размножаются одинаково: они собирают из органических молекул свои копии.

И те и другие были живыми потому, что состояли из таких органических молекул и могли верно воспроизвести себя, комбинируя их заново. Различия между человеком и полипом объяснялись тем, что каждый вид живого обладал уникальной «внутрен-

ней формой», как называл ее Бюффон. Форма-то и притягивала одни разновидности органических молекул, а не другие, образуя характерный организм.

Галлера и Трамбле отнюдь не радовало, что другие используют их труды в качестве удобрения для собственных теорий. Трамбле пришел в ужас, когда прочел утверждения Бюффона. «Я признаю, что способен рассматривать его систему лишь как рискованную гипотезу, — писал он графу Бентинку. — Те факты, на которых он основывается, мало что могут доказать»³.

Галлера тоже возмущали далекоидущие идеи теоретиков, базирующиеся на его работах о раздражимости. «Изучающие раздражимость становятся сектой, — бурчал он. — Это не моя вина»⁴.

Секта состояла из философов, натуралистов и врачей, убежденных, что живое обладает чем-то вроде жизненной силы. Эти так называемые виталисты продолжали воевать с Декартом, несмотря на то что его механистические представления в XVIII в. одерживали многочисленные победы. Изобретатели строили пароходы, воздушные компрессоры, механизированные ткацкие станки и другие машины, обеспечившие возможность промышленной революции. Астрономы, рассматривавшие природу как материю в движении, делали открытия в своей области — в частности, была обнаружена планета Уран. Но виталисты давали им отпор, заявляя, что жизнь фундаментально отличается от планеты или парохода. Жизненная сила наделяла материю самоуправляемым движением и способностью порождать новые сложные организмы. Виталисты считали, что жизнь пронизана целесообразностью: глаза созданы, чтобы видеть, крылья — чтобы летать, тело — чтобы размножаться. Для них Галлерова раздражимость и регенерация по Трамбле были яркими примерами того, на что способна жизненная сила — и чего никогда не сумеет объяснить механистическая модель природы.

После смерти Галлера влияние виталистов даже усилилось. В 1781 г. немецкий натуралист Иоганн Фридрих Blumenbach решительно заявил, что во всех живых существах «заложено особое врожденное действующее и сохраняющееся всю жизнь побуждение вначале явить свою конечную форму, затем беречь ее и, если она повреждается, по мере возможности воспроизвести ее»⁵.

Некоторым даже представлялось, что эта сила передается из поколения в поколение, изменяясь во времени и производя различные формы.

Первым, кто поделился с широкой публикой подобным личным воззрением, впоследствии получившим название эволюции, был британский врач Эразм Дарвин. В наши дни он известен главным образом как дедушка Чарльза, хотя в конце XVIII в. и сам был весьма видной фигурой. Дарвин-дед написал двухтомный труд по классификации всех известных в то время болезней. В качестве хобби он занимался наукой и внес в нее крупный вклад, выдвинув первые содержательные гипотезы, объясняющие, как растения используют воздух и солнечный свет для своего роста.

Эразм Дарвин считал, что все его идеи складываются в связную картину жизни. Он хотел познакомить с ней мир, но понимал, что мало кто прочтет заумную монографию. Поэтому он создал собственный жанр — научную поэзию. Дарвин обратил тонкости ботаники в пользовавшиеся огромной популярностью стихи. В эпоху* Вордсворта, Байрона и Шелли самым знаменитым поэтом Великобритании последнего десятилетия XVIII в. был Эразм Дарвин. Сэмюэл Тейлор Кольридж называл его «наиболее оригинально мыслящим человеком».

Незадолго до своей смерти в 1802 г. Эразм Дарвин написал поэму «Храм природы». В ней он прослеживал историю жизни от ее истоков до нашего времени.

Земная жизнь в безбрежном лоне вод
 Среди пещер жемчужных океана
 Возникла, получила свой исход,
 Росла и стала развиваться рано;
 Сперва в мельчайших формах все росло,
 Не видимых и в толстое стекло,

* Под эпохой здесь, вероятно, понимается особый период английской поэзии, наиболее яркими представителями которой и были упомянутые поэты. Фактически же Эразм Дарвин не мог творить в одно время с Дж.Г. Байроном и П.Б. Шелли, поскольку первый родился в 1788 г., а второй и того позже, в 1792 г. — *Прим. пер.*

Которые, киша, скрывались в иле
 Иль водяную массу бороздили;
 Но поколенья множились, цвели,
 Усилились и члены обрели;
 Восстал растений мир, и средь обилья
 Разнообразной жизни в ход пошли
 Животных ноги, плавники и крылья*.

Когда год спустя после смерти Эразма Дарвина поэма была опубликована, она шокировала благочестивых читателей. Дарвин отвергал веру в то, что Бог сотворил виды в их нынешней форме. Отзывы на «Храм природы» были злобными. Один анонимный критик высмеял «неправдоподобную и невнятную философию» Дарвина. Она была столь возмутительной, что критик, можно сказать, отбрасывал перо прочь: «Мы исполнены ужаса и не станем писать более»⁶.

Однако в писателях-романтиках, таких как Перси Шелли, поэзия Дарвина разжигала огонь творчества. Летом 1816 г. Шелли и его восемнадцатилетняя возлюбленная Мэри Уолстонкрафт Годвин (впоследствии ставшая женой Перси и известная под именем Мэри Шелли) поехали в Швейцарию. Часть лета пара гостила у лорда Байрона, и этот период был таким холодным и дождливым, что порой молодые люди не могли выйти из дома по несколько дней подряд. Чтобы скоротать время, они сочиняли друг для друга страшные истории.

«Ну как, придумала?» — спрашивали меня каждое утро, и каждое утро, как ни обидно, я должна была отвечать отрицательно** — писала впоследствии Мэри Шелли.

Однажды вечером разговор коснулся «природы жизненного начала»***, вспоминала писательница. Она слушала, как ее жених с Байроном обсуждают утверждение Эразма Дарвина, согласно которо-

* Пер. Н. А. Холодковского.

** Из авторского предисловия к «Франкенштейну» (1831). Здесь и далее, если не указано иное, цит. по пер. З. Е. Александровой. — *Прим. пер.*

*** Пер. наш. В каноническом переводе З. Е. Александровой вольность — «секрет зарождения жизни». — *Прим. пер.*

му простейшие формы жизни зародились из органической материи. Они задавались вопросом, не следует ли из этого, что покойника можно оживить. «Быть может, ученые научатся создавать отдельные органы, соединять их и вдыхать в них жизнь», — писала Шелли.

Беседа закончилась глубокой ночью. Когда Мэри стала засыпать, в ее сознание хлынули образы. Ей представился человек, склонившийся над сшитым из кусков мертвым телом. Согласно описанию Шелли, он применил «некую могучую машину»*, чтобы оживить его, и оно «подало признаки жизни и неуклюже задвигалось». Затем этот человек отправился спать, надеясь, что «зароженная им слабая искра жизни угаснет». Но затем он просыпается «и видит, что чудовище раздвигает занавеси у его изголовья, глядя на него желтыми, водянистыми, но осмысленными глазами», рассказывала позднее Шелли.

Тогда она тоже проснулась. «Придумала! То, что напугало меня, напугает и других», — писала она. Впоследствии Мэри развила свои страшные образы в полноценный роман, который анонимно издала в 1818 г. Писательница озаглавила его «Франкенштейн».

Персонаж романа, молодой ученый Виктор Франкенштейн, одержим вопросом: «Где, часто спрашивал я себя, таится жизненное начало?» Это отсылка к языку виталистов, и герой следует примеру Ксавье Биша, изучая смерть, чтобы понять жизнь. «Бойня и анатомический театр поставляли мне большую часть моих материалов», — сообщает он.

Вскоре Франкенштейн разгадывает эту тайну. По его словам, «ценою многих дней и ночей нечеловеческого труда и усилий мне удалось постичь тайну зарождения жизни; более того — я узнал, как самому оживлять безжизненную материю». Шелли описывает успех ученого изумительно туманно, однако намекает, что он как-то связан с электричеством. К началу XIX в. было известно, что оно имеет некоторое отношение к жизни — удар током мог заставить лапки мертвой лягушки дергаться. И все же электричество по-прежнему оставалось достаточно таинственным, чтобы сыграть роль жизненной силы.

* Пер. наш. В пер. З.Е. Александровой — «некая сила». — *Прим. пер.*

Эразм Дарвин писал о жизненной силе лирически, уподобляя ее цветению космического цветка. Но Шелли увидела в одержимости ученых жизнью нечто жутковатое, больше напоминающее тягу к власти и эксплуатации. «Получив в свои руки безмерную власть, я долго раздумывал, как употребить ее наилучшим образом», — говорит Франкенштейн. Он решает создать живое существо, соединив части человеческих трупов. «С мучительным волнением я собрал все необходимое, чтобы зажечь жизнь в бесчувственном создании, лежавшем у моих ног». То, что он создал, могло бы называться живым, но то была уродливая жизнь.

Помимо опытов с электричеством, Франкенштейн применял также «химическую аппаратуру». Шелли нигде не описывает, какими именно химическими исследованиями он занимался, но само упоминание этой науки придавало книге живое современное звучание. На заре XIX столетия химики развеивали оккультные мистериологии алхимии, заменяя их элементами и атомами.

Чтобы оценить, насколько революционными были эти перемены, рассмотрим, к примеру, воду. В XVI в. алхимики пытались определять это вещество по его качествам — прозрачности, способности растворять другие вещества и т. д., и в результате у них получилось нечто беспорядочное⁷. В ходе своих исследований алхимики открыли разные виды воды, у которых ряд признаков был общим, другие же различались. В отличие от обычной воды, «крепкая водка»* (*aqua fortis*) растворяла большинство металлов. Но только «царская водка» (*aqua regia*) могла растворять благородные металлы — золото и платину.

В конце XVIII в. французский химик Антуан Лавуазье доказал, что вода состоит из молекул, сложенных двумя атомами водорода и одним атомом кислорода. «Крепкая водка» оказалась вовсе не водой, а соединением азота, водорода и кислорода. В наши дни

* Русская терминология объясняется тем, что слово «водка» в то время было уменьшительным от «вода», а не обозначением конкретного спиртного напитка. — *Прим. пер.*

ее называют азотной кислотой. А «царская водка», как выяснилось, вообще была смесью азотной и соляной кислот.

Живых существ тоже можно было разделить на химические элементы. Но молекулы, в которые соединялись эти элементы в живом, было трудно обнаружить в неживой материи. Многие химики стали усматривать виталистскую пропасть между органическим и неорганическим мирами. Согласно учебнику химии 1827 г., «в живой Природе элементы, по-видимому, подчиняются совсем иным законам, нежели в мертвой»⁸.

Вскоре химик Фридрих Вёлер показал, что учебник ошибался. Для доказательства он использовал собственную мочу. Вёлер экспериментировал с ядовитой циановой кислотой, смешивая ее с аммиаком. В конечном итоге он получил специфические белые кристаллы, состоящие из углерода, азота, водорода и кислорода. Соотношение этих элементов в Вёлеровых кристаллах было таким же, как в молекуле мочевины — вещества, которое прежде находили только в моче.

Наши почки производят мочевину, чтобы извлечь из крови излишек азота и вывести его из организма. Химики XVIII в. открыли это соединение, выпарив мочу и получив кристаллы. Чтобы разобраться с этими искусственными образованиями, Вёлер собрал собственную мочу и выделил из нее мочевину. Он сравнил оба вида кристаллов — своей природной мочевины и синтезированные, которые изготовил из аммиака и соединений циана. Химически они вели себя одинаково.

«Я больше не могу сдерживать, так сказать, свои химические позывы, — сообщил он, — и вынужден сообщить, что умею производить мочевину без помощи почек, человеческих или собачьих»⁹.

Вёлер не создал чудовища Франкенштейна, однако он сумел синтезировать органическую молекулу, не полагаясь на «жизненную силу». Когда он в 1828 г. опубликовал результаты своего эксперимента, многие химики отказались признавать достижение ученого. По их словам, создание мочевины с нуля не имеет особого значения, ведь она всего лишь отход жизнедеятельности. Критики продолжали утверждать, что только жизненная сила способна создавать молекулы живого.

Но некоторые исследователи пошли по пути Вёлера. Немецкий химик Герман Кольбе изучал уксусную кислоту, которую в то время обнаруживали только в уксусе, образующемся при сбраживании фруктов. Он открыл лабораторный способ синтеза уксусной кислоты из сероуглерода — неорганического соединения, получаемого из угля. В 1854 г., оглядываясь на эксперимент Вёлера, Кольбе окружил ученого ореолом пророка науки. «Естественная преграда, отделявшая органические соединения от неорганических, рухнула»¹⁰, — заявил Кольбе. Жизнь зависела от обычной химии, но каким-то образом умудрялась использовать ее в необычных целях.

ЭТА ГРЯЗЬ И ВПРАВДУ БЫЛА ЖИВАЯ

Ночью 14 августа 1873 г. лорд Джордж Гренвилль-Кэмпбелл¹ взирал с палубы корабля Королевских ВМС «Челленджер» на пылающий океан. Каждая волна вспыхивала светом. Пройдя на корму корабля, Кэмпбелл посмотрел вниз на рассекаемые судном воды Атлантики и увидел сияющую сине-зеленую полосу, за которой следовали взрывающиеся вверх желтые искры. Когда он взошел на нос, исходящий от океана свет стал настолько ярким, что при нем можно было читать.

Казалось, вспоминал потом Кэмпбелл, что это Млечный Путь «упал в океан, и мы плыли по нему»². Но, как выяснилось, галактика сия состояла не из звезд, а из живых организмов.

Мичман Королевского флота Кэмпбелл нес службу на борту «Челленджера» в ходе его трехгодичной исследовательской экспедиции. Бывший военный корабль был переоборудован для научных целей. Флот снабдил его сотнями миль канатов, тралами, драгами и лотами. С «Челленджера» сняли почти все пушки, а межпалубные пространства обратили в лаборатории. Цель экспедиции состояла в изучении химии и биологии Мирового океана. Тысячи лет мореплаватели наблюдали в море огни, но теперь команда «Челленджера» изучала этот феномен с научной точки зрения. Впервые огни заметили у островов Зеленого Мыса; тут же за борт были сброшены мелкочаеистые траловые сети. Может быть, подняв их и рассмотрев улов, удастся выяснить, откуда же эти огни берутся. Тралы вытянули всевозможных ночных морских созданий, которые были отнесены в корабельные лаборатории для изучения.

Корабль продолжал путь, и ему попадались всё новые огни. Иногда оказывалось, что их источник — микроскопические водоросли, вспыхивавшие, если воду вокруг них всколыхнуть. Порой экспедиция обнаруживала, что свечение исходит от сифонофор — чудовищных колоний желеобразных животных длиной 20 м. Корабельный натуралист Генри Мозли* написал пальцем свое имя на одном таком экземпляре, уложенном в ведро. «Имя на несколько секунд вспыхнуло огненными буквами»³, — сообщал он.

«Челленджер» находил живые огни не только на поверхности океана, но и на глубинах в тысячи метров. Корабль располагал новейшим оборудованием для изучения глубоководных зон океана — мира, до тех пор почти неизведанного. Команда периодически опускала под корму латунные трубки на цепях, в то время как паровые машины удерживали «Челленджер» в неподвижном состоянии против ветра. Трубки опускались примерно на 3 км в глубину, ко дну океана, где измеряли окружающую температуру, — она часто едва превышала точку замерзания, — а иногда зачерпывали ил, чтобы поднять его наверх. Периодически волочили по морскому дну тралы — с целью посмотреть, что оттуда можно поднять. Сети вытряхивали на палубу, и исследователи принимались разбирать глубоководное крошево. Порой они находили обломки древних вулканических пород. Иногда — пыль метеоритов, упавших из космоса и упокоившихся на морском дне. А иной раз им попадались испускающие свет живые существа: рыбы, кораллы, морские звезды. Экспедиция «Челленджера» писала о своих приключениях длинные письма, которые шли до Англии целыми месяцами. Но, когда они доходили до адресатов, их перепечатывали газеты на родине и за границей. Для викторианского читателя они звучали, как для нас послания с космических кораблей миссии «Аполлон».

А для команды «Челленджера» одной из самых удивительных находок, вытряхнутых из сетей, стало нечто, казавшееся поначалу лишь светлой грязью на палубе. Вместо того чтобы попросту смыть эту грязь за борт, ее тщательно сгребли, профильтровали

* Генри Ноттидж Мозли (1844–1891), отец физика Генри Мозли (1887–1915). — *Прим. пер.*

и сохранили отцеженное в закупоренных склянках. В этой грязи исследователи искали первозданное существо, называемое батибиус (*Bathybius*). Многие биологи были убеждены, что им покрыто чуть ли не все океаническое дно. Батибиус представлял собой не животное, не гриб, а первичное желе — вещество, из которого, как считалось, состоят наши собственные клетки. В предшествующих экспедициях натуралисты как будто находили признаки этой таинственной формы жизни, но «Челленджер» наконец получил технические возможности узнать о батибиусе все в подробностях.

Больше всех обнаружения батибиуса «Челленджером» ждал Томас Гексли⁴ — британский исследователь, который и придумал ему название.

На момент экспедиции Гексли уже был всемирно известным ученым. Он поднялся до этих высот из бедности и скудной жизни своих юных лет. Несмотря на трудности, гений Гексли сумел воссиять. Ребенком он самостоятельно выучил немецкий, математику, инженерное дело и биологию. Он мечтал попасть в экспедицию, чтобы открывать новые неведомые формы жизни. Стипендия позволила Гексли поступить в медицинское училище, где он быстро превратился в умелого анатома. Еще юношей он тщательно изучил строение волоса и обнаружил неприметную обертку из клеток в корневом влагалище каждого волоса. Теперь ее называют слоем Гексли.

Непосильные долги вынудили Гексли покинуть училище и в возрасте 21 года записаться на Королевский флот в качестве ассистента хирурга. К его восторгу, он был назначен на корабль «Гремучая змея», ветшающий фрегат, который шел к берегам Австралии и Новой Гвинеи для поиска там безопасных проходов. Капитану корабля, Оуэну Стэнли, требовался опытный (или, по крайней мере, любопытный) врач, дабы изучать растения и животных, которые будут встречаться им по пути. «Нет нужды рассказывать, с какой радостью я принял представленное назначение», — вспоминал потом Гексли.

«Гремучая змея» отчалила из Англии в декабре 1846 г. В Южной Атлантике Гексли увидел проплывавшую мимо сифонофору «португальский кораблик». Ветер гнал ярко-голубые пузыри этого существа, словно паруса. Аккуратно, остерегаясь смертельно

опасных жалящих щупалец, Гексли выловил сифонофору из воды и принес в корабельную рубку. Разложив ее на столе, он изучал эфемерное ядовитое тело, пока оно не распалось от тропического зноя. Молодой исследователь был поражен его строением, глубоко отличным по своей анатомии от любого позвоночного вроде нас. Прежде натуралисты уже изучали португальских корабликов, но Гексли понял, что они описывали строение этих сифонофор совершенно неправильно.

По мере того как «Гремучая змея» приближалась к Австралии, он ловил все новые и новые экземпляры корабликов и тщательно исследовал их. Его любопытство распространилось на других желеобразных существ, таких как медузы аурелии и колониальные гидроиды парусницы. Рассматривая их мягкие тела, Гексли обнаружил между ними удивительное сходство. Например, все они использовали одинаковые микроскопические гарпуны, чтобы жалить. Всё, что исследователю было тогда под силу, — это описывать животных по возможности точно и отсылать отчеты друзьям в Лондон в надежде, что те их прочтут.

Когда 25-летний Гексли в 1850 г. наконец вернулся в Англию, оказалось, что его письма уже создали ему солидную репутацию. Через несколько лет исследователь стал преподавателем в Королевской горной школе и одним из самых выдающихся популяризаторов науки. Он писал очерки для журналов и читал лекции, адресованные «трудящимся». Кроме того, Гексли находил время изучать жизнь, разбирая свою коллекцию с «Гремучей змеи». Хотя его экспедиция закончилась, он теперь был достаточно влиятелен, чтобы получать новые образцы от всех натуралистов Британии, работающих на кораблях. Научная карьера Гексли началась с вылавливания странных форм жизни с поверхности океана, но к концу 1850-х гг. его внимание погрузилось в темные водные глубины.

Чтобы подготовиться к прокладыванию телеграфных кабелей, которые соединят Англию с остальной Европой, а затем и с США, целая флотилия приступила к обследованию морского дна. Как и всех биологов, Гексли интересовало, живет ли там кто-нибудь. Он поручил океанографам сохранять немного ила, который они будут поднимать, и заспиртовывать его в надежде сохранить мягкие ткани, иначе те разложатся, пока доедут до лаборатории.

Среди кораблей, с которых поступил ил для Гексли, было гидрографическое судно «Циклоп». В июне 1857 г. оно отплыло от ирландского острова Валенсия в направлении Ньюфаундленда. На его пути лежало обширное возвышение морского дна, получившее название Телеграфного плато. Капитан, Джозеф Дейман, ожидал, что оно сложено жилами гранита. Однако команда судна подняла со дна «какое-то мягкое рыхлое вещество, которое назвали илом за неимением лучшего»⁵.

Когда этот ил прибыл в Лондон, Гексли обнаружил, что тот содержит причудливые микроскопические пуговицы, каждая из которых состоит из концентрических слоев, окружающих центральное отверстие. Исследователь не знал, как они оказались на Телеграфном плато — отвалились от обитающих в иле животных или же спустились из верхних слоев океана. Однако пуговицам требовалось название, и Гексли окрестил их кокколитами. Он составил краткий отчет для флота и поставил банку с илом на полку, где она простояла десять лет. Это десятилетие для Гексли оказалось напряженным: он участвовал в разработке новой теории живого.

Одним из важнейших новых знакомств, которыми обзавелся Гексли по возвращении из экспедиции «Гремучей змеи», стало его знакомство с Чарльзом Дарвином. Сорокаоднолетний к тому времени Дарвин был знаменит в основном благодаря собственному кругосветному путешествию на корабле «Бигль». Насколько было известно, с тех пор он занимался усоногими рачками — морскими уточками. Дарвин и Гексли происходили из разных вселенных одной и той же Англии: Гексли рос в бедности, Дарвин происходил из богатой семьи и никогда не работал ради пропитания. Но оба мгновенно осознали, что их объединяет одержимость жизнью во всем ее загадочном разнообразии и отчаянное желание найти принцип, который бы все объяснял.

В 1856 г. Дарвин на неделю пригласил Гексли в свой загородный дом. Там он поведал гостю большой секрет: как и его дед Эразм, он пришел к убеждению, что живое эволюционирует. Но Чарльз не стал выражать эту идею в стихах. Вместо этого он разрабо-

тал подробную теорию, которую и изложил перед Гексли. Именно естественный отбор превращал старые виды в новые, в другие формы жизни. Каждый вид, утверждал Дарвин, всего лишь веточка на древе жизни.

До того момента Гексли скептически относился к эволюции, но теперь же воодушевился, признав, что Дарвин преуспел там, где другие потерпели неудачу. Пока Дарвин укрывался от посторонних в своей загородной усадьбе, Гексли популяризировал его теорию в циклах лекций и журнальных публикациях. Он призывал своих коллег-биологов развивать проект Дарвина дальше и сводить ветви древа жизни воедино. Узнав больше об эволюционном древе, они смогут спуститься к самому его основанию — к тому этапу в истории, на котором зародилась жизнь. «Если гипотеза эволюции верна, то живая материя должна была возникнуть из неживой»⁶, — заявил Гексли.

Лучшим местом для поиска свидетельств этого перехода, по его мнению, был тот самый ил.

Догадки Гексли имели почтенную родословную. Их истоки уходили более чем на сто лет назад, к тем временам, когда Абраам Трамбле занимался полипами. Тот обнаружил в этих животных желеобразное вещество, которое как будто обладало жизненной силой. Альбрехт фон Галлер наблюдал это вещество в препарируемых им животных и предполагал, что оно отвечает за раздражимость. Виталисты — последователи Трамбле и Галлера — пошли еще дальше. Они утверждали, что этот кисель и есть сущность жизни и присутствует в организме у всех видов.

Немецкий биолог Лоренц Окен даже дал этой желеобразной массе название — *Urschleim*, т. е. «первобытная слизь»⁷. Окен представлял ее себе как протяженную сплошную субстанцию, самозародившуюся на ранней Земле. Затем она распалась на микроскопические комочки живой материи, которые впоследствии эволюционировали в нынешнюю сложную жизнь. Но даже в наши дни, утверждал Окен, первобытная слизь все еще переживает циклы сотворения и разрушения в организмах всех живых существ.

Окен пропагандировал *Urschleim* в форме чрезмерно фантастических рассуждений, не подкрепленных никакими опытными данными. Однако и более здравомыслящие биологи постепенно при-

ходили к согласию, что живое состоит из универсального киселя. В 1830-е гг. французский зоолог Феликс Дюжарден обнаружил некое «живое желе» внутри одноклеточных микроорганизмов. Новые доказательства принесло изучение под микроскопом тканей растений и животных, которые, как оказалось, состоят из клеток. Заглядывая внутрь клетки, биологи XIX в. неизменно находили всё то же живое желе⁸. «Новое определение клетки было так или иначе связано с пенистым комком слизи»⁹, — пишет историк Дэниел Лю.

Эта слизь шевелилась и трепетала. Она двигала клетками изнутри. «Не осмелюсь выдвинуть даже самого осторожного предположения о причинах этого движения»¹⁰, — признавался в 1846 г. немецкий биолог Гуго фон Моль. Через несколько лет ученые договорились называть эту таинственную пенистую слизь протоплазмой. А вскоре возникло подозрение, что протоплазма не просто наделена витальной силой движения — она, возможно, также осуществляет химические процессы, в результате которых появляются органические молекулы. Возможно, она организует внутреннюю структуру клеток. Возможно, она разрывает клетку, чтобы образовались две, и управляет формированием ее в сложный зародыш. Казалось, протоплазма всемогуща.

Гексли, сам не будучи химиком или специалистом по клеточной биологии, пристально следил за накоплением данных в пользу того, что протоплазма — основа жизни. Если эволюция подобна бегущей во времени реке, решил он, то протоплазма — вода в ней. Именно протоплазма передавалась из поколения в поколение и каким-то образом порождала новые эволюционные формы. «Если все живые существа развились из предшествующих форм жизни, — писал Гексли, — то достаточно, чтобы на земном шаре единожды возникла всего одна частица живой протоплазмы».

В начале 1860-х гг. канадские исследователи обнаружили, как им показалось, ископаемую протоплазму. В древнейших известных науке на тот момент породах они нашли покрытое раковинкой окаменелое существо размером с соринку. Биолог Уильям Карпентер, внимательно рассмотревший этот организм в микроскоп, описал его как «малую частицу явно гомогенного желе»¹¹.

Карпентер назвал новый вид *Eozoön*¹² — «животное зари». Узнав о нем, Чарльз Дарвин дополнил издание «Происхождения видов»

1866 г. упоминанием этого открытия как нового доказательства эволюции. «После прочтения у д-ра Карпентера описания сего примечательного ископаемого невозможно сомневаться в его органической природе», — так он выразил свое мнение*.

Геологи находили все новых эозоонов, вскрывая обширные ископаемые пласты в Канаде и за ее пределами. Судя по разнообразию слоев, в которых попадались ископаемые, эозооны как будто существовали на протяжении целых эпох. Более того, на геологической конференции в Лондоне Карпентер сказал: «Не удивлюсь, если образование, подобное эозоону, обнаружится при современном тралении морских глубин»¹³.

В 1868 г., вскоре после того, как Карпентер опубликовал свою работу об эозоонах, Гексли сделал кое-что неожиданное: он снял с полки десять лет простоявшую там банку с илом, привезенным из плавания на «Циклопе», чтобы рассмотреть содержимое заново. Неизвестно, зачем он решил потревожить его десятилетний покой. Возможно, Гексли думал, что на дне океана все еще живут эозооны. Возможно, он думал, что в иле содержится первобытная слизь, предсказанная Океном. А может быть, он просто хотел испытать мощность новых, только что купленных микроскопов.

Как бы там ни было, Гексли повторно взгляделся в свой ил, и на этот раз тот удивил его. Исследователь увидел нечто, что оставалось невидимым прежде: «комочки прозрачного желеобразного вещества». Это вещество образовывало в поле зрения Гексли комковатую сеть, пересыпанную там и сям крохотными пуговками кокколитов и странными «зернистыми кучками», как он их назвал.

Сидя за микроскопом достаточно долго, Гексли замечал, что комочки двигаются. Он заключил, что эта желеобразная субстанция и есть протоплазма. Перед ним, должно быть, «элементарные одушевленные существа». Если ил, собранный на «Циклопе», типичен для Атлантики, то, стало быть, все дно океана покрыто, по выражению Гексли, «глубоководным *Urschleim*»¹⁴.

Исследователь пришел к выводу, что обнаружил в этой слизи самостоятельный вид, не похожий ни на одну известную

* Это место отсутствует в 6-м издании «Происхождения видов» 1872 г., по которому сложилась традиция русского перевода. Здесь перевод наш. — *Прим. пер.*

форму жизни, и назвал его *Bathybius haeckelii*. Родовое название *Bathybius* означало «глубинная жизнь», а видовое определение *haeckelii* было дано в честь немецкого биолога Эрнста Геккеля, главного сторонника теории, согласно которой все живое развилось из простейшего, заполненного протоплазмой предка. «Надеюсь, вы не устыдитесь своего крестника»¹⁵, — сказал Геккелю автор открытия.

Гексли сообщил о батибиусе на научной конференции в августе все того же 1868 г. Присутствовавшего там журналиста восхитила гипотеза о «живой массе на дне Атлантического океана»¹⁶. Гексли представил батибиуса как аргумент в поддержку всеобщей теории жизни, объясняющей саму ее природу и всю ее историю. В течение нескольких следующих месяцев он объезжал Британию с серией лекций о физической основе живого¹⁷. Путешествуя из города в город, Гексли выступал в переполненных ратушах и церквях, и его лекции производили глубокое впечатление. «Публика, казалось, вообще не дышала, настолько идеальная стояла тишина»¹⁸, — сообщал один из журналов о выступлении исследователя в Эдинбурге.

«Какая тайная связь может объединять цветок, украшающий волосы барышни, и кровь, бегущую по ее юным жилам?» — спрашивал Гексли своих слушателей. И сам же отвечал: протоплазма. «Воистину можно сказать, что действия всех живых существ — по сути одно и то же», — говорил исследователь.

По словам Гексли, протоплазма представляет собой всего лишь соединение органических молекул, функции которых покуда неясны, но когда-нибудь их сможет объяснить обычная физика. Не было нужды наделять живые существа таинственной витальной силой. В этом виделось не больше смысла, чем в утверждении, что вода обладает «водностью».

Священники учили своих прихожан, что все сотворено из праха и в прах обратится. Но протоплазма открывала иной цикл — из жизни в жизнь. «Я могу поужинать омаром, и материя жизни ракообразного подобным же чудесным образом переродится в человеческую, — говорил Гексли. — А если я поплыву домой на корабле и он потерпит крушение, ракообразные, возможно, скорее даже охотно, выразят ответную любезность и преде-

монстрируют нашу общую природу, обратив мою протоплазму в живого омара».

Тонкий баланс научности и скандальности, достигнутый исследователем, произвел фурор. Через три месяца после выступления Гексли в Эдинбурге текст его лекции вышел в журнале *The Fortnightly Review* под названием «О физической основе жизни» (*On the Physical Basis of Life*). Теперь слава протоплазмы распространилась далеко за пределы Шотландии. Чтобы утолить спрос, тираж этого номера журнала допечатывали семь раз, а газеты за рубежом публиковали обширные выдержки из статьи.

Пока Гексли совершал свое стремительное лекционное турне по Англии, шотландский ученый Чарльз Уайвилл Томсон путешествовал на пароходике Королевских ВМС «Молния» вдоль северных берегов своей родины. К 1860-м гг. ученые, и в их числе Томсон, уже хотели изучать океан как самостоятельную научную задачу. Шотландского исследователя интересовало, насколько обитаемы глубины океана, представляют они собой подводную пустыню или же джунгли. Для пробного рейса Адмиралтейство предоставило ему судно «Молния», переоборудованное из канонерки. Томсон и его команда вычерпывали грунт с морского дна и время от времени поднимали странные липкие комья ила.

Памятуя о недавно открытом батибиусе, исследователи разглядывали ил под микроскопом и замечали, что тот шевелится. У него был необычный цвет яичного белка — как у протоплазмы.

«Эта грязь и вправду была живая»¹⁹, — заявил Томсон.

После шестинедельного плавания на «Молнии» Томсон доставил ил Гексли, который посчитал его вторым образцом батибиуса. Следующие находки объявились в Южной Атлантике и Тихом океане. В августе 1872 г. американские исследователи, направлявшиеся к Северному полюсу, нашли в Северном Ледовитом океане что-то вроде еще более примитивной разновидности батибиуса и назвали ее протобатибиусом.

Теперь, когда подобные первобытные существа обнаруживались по всему свету, Гексли стал полагать, что батибиус — это некий всемирный ковер. «Вероятно, он образует единую непрерывную пленку живой материи, которая облекает всю поверхность Земли»²⁰, — говорил он.

Некоторые ученые, однако, отвергали все доказательства и отрицали существование батибиуса. К примеру, биолог Лайонел Смит Бил отзывался о нем как о «причудливом и невозможном»²¹. Однако нападки этого отрицателя на Гексли объяснялись вовсе не беспристрастным скептицизмом. Бил был виталистом и рассматривал батибиуса как угрозу фундаментальной границе между живым и всем прочим. «Жизнь — это энергия, сила или свойство особого рода, она временно влияет на материю и ее обыкновенные силы, но совершенно отлична от них и никоим образом с ними не связана», — писал Бил.

Но в общем и целом исследователи считали обнаружение батибиуса по всему миру доказательством его реальности. В 1876 г. учебник зоологии поместил батибиуса с его кружевом протоплазмы на свою первую страницу²². В Германии открытие Гексли в равной мере восхищало Геккеля и возмущало его противников. *Urschleim*, по словам немецкого ученого, «стал самой что ни на есть реальностью благодаря открытию батибиуса Гексли». Исследователь разделял новое представление английского естествоиспытателя о нашей планете, заявляя, что «огромные массы ничем не защищенной живой протоплазмы покрывают глубинные области океана»²³.

Геккель желал знать, откуда же берутся эти огромные массы. «Может быть, протоплазма непрерывно возникает путем самозарождения? — спрашивал он. — Здесь перед нами встает ряд темных вопросов, и можно лишь надеяться, что путем дальнейших исследований мы получим на них ответы».

Чарльз Уайвилл Томсон воспользовался успехом своего похода на «Молнии», чтобы получить финансирование глубоководных исследований в масштабах всего земного шара. Когда была подготовлена уже упоминавшаяся экспедиция «Челленджера», Томсона назначили ее директором по научным исследованиям. На корабле был капитан, но реальные полномочия принадлежали Томсону. Он руководил невероятным объемом исследований по биологии, геологии и метеорологии. Команда «Челленджера» собирала коллекции райских птиц, водорослей и антропологические образцы. Члены экспедиции готовили отчеты о флоре Бермудских островов, химическом составе океанов, морских желудях. В итоге

собранные данные составят 50 томов. К моменту выхода последнего из них Томсона уже много лет как не будет в живых.

Но среди прочих экспедиционных трудов команда «Челленджера» не прекращала поиски батибиуса. Были все основания ожидать, что он обнаружится в изобилии, и исследователи предвкусывали изучение свежих образцов в лаборатории на борту корабля, а не просто консервацию их для длительного пути домой.

Членам команды на этом атлантическом маршруте потребовалось несколько недель, прежде чем они наловчились доставать глубоководный ил. Заместитель Томсона Джон Мёррей осторожно приступил к сбору воды с поверхности ила, где, как он полагал, с наибольшей вероятностью должен обнаружиться живехонький батибиус. Исследователь помещал образцы под самый мощный на корабле микроскоп и рассматривал их часами, пытаясь найти комковатые сети протоплазмы, которые обнаруживали столь многие другие ученые.

Но ничего не увидел.

После отбора каждого образца Мёррей и его коллеги откладывали часть ила в банки со спиртом, чтобы по возвращении домой отдать их Гексли и другим ученым — возможно, тем повезет больше. Однажды Мёррей взглянул на сосуды и заметил, что поверх ила образовался прозрачный слой. Он снял банки с полки и обследовал его. Вещество слоя имело консистенцию желе.

Химик экспедиции, богатый молодой шотландец Джон Бьюкенен, был заинтригован открытием Мёррея. Возможно, то, что предшественники принимали за батибиуса, было не какой-то формой жизни из морского ила, а желеобразным побочным продуктом химических реакций, происходивших в банках. Чтобы проверить эти предположения, он поставил образец глубинной воды выпариваться. «Если бы желеобразный организм, наблюдавшийся некоторыми выдающимися натуралистами в образцах со дна океана и названный батибиусом, действительно образовывал, как полагали, вездесущий органический покров на морском дне, он не мог бы не обнаружиться при выпаривании придонной воды досуха и нагревании остатка»²⁴, — писал он впоследствии.

Но он не обнаружился. Когда вода испарилась, Бьюкенен не нашел никаких органических остатков.

Химик занялся желе, которое Мёррей заметил в банках. Опыты показали, что оно тоже не содержит органического вещества. Вместо него Бьюкенен нашел кальций и сульфатный остаток, т. е. гипс. Пока «Челленджер» шел из Гонконга в Иокогаму, Бьюкенен провел новые эксперименты и догадался, что произошло: при контакте глубоководного ила со спиртом желеобразную массу образовывал сульфат кальция.

Итак, с помощью нескольких путевых экспериментов Бьюкенен и Мёррей очистили планету от самой первозданной и фундаментальной формы жизни. Они написали некролог батибиусу холодной медицинской прозой. «Отнеся его к живым существам, — заключил Бьюкенен, — наблюдатели совершили ошибку»²⁵.

Казалось бы, следовало ожидать, что Томсон разразится проклятиями в адрес своей команды. В конце концов, за семь лет до того, на другом конце света, Томсон сам выловил батибиуса. Он дал блестящее описание этого вида в снискавшей успех книге о море еще до плавания на «Челленджере». Но Томсон не стал цепляться за свои убеждения. Бьюкенен и Мёррей заверили его, что провели свои исследования на должном уровне, и 9 июня 1875 г. Томсон написал Гексли письмо, чтобы сообщить дурную весть.

«Вам следует точно знать, как обстоит дело, — писал он Гексли. — Никто из нас так и не смог найти ни следа батибиуса, хотя мы искали его со всей возможной тщательностью». Мёррей и другие участники экспедиции, писал Томсон, «отрицают его существование»²⁶.

Получив письмо, Гексли и не подумал скрывать его убийственного содержания. Напротив, он передал послание в журнал *Nature* для публикации, сделав в конце примечание: «Раз имела место ошибка, то повинен в ней главным образом я»²⁷.

К 24 мая 1876 г. — дню возвращения «Челленджера» в Англию — батибиуса, можно сказать, уже похоронили. В числе немногих оставшихся его защитников был Геккель, огорченный тем, что Гексли отказался от борьбы за того, кто был назван в честь немецкого ученого. «Чем больше истинный отец батибиуса склонен отречься от своего детища, считая его безнадежным, тем сильнее я, крестный отец батибиуса, чувствую себя обязан-

ным вступить за его права»²⁸, — однажды сказал он. Но Геккелю нечего было выставить против данных с «Челленджера». Вскоре батибиус исчез из учебников, был исключен как ошибка, пусть и весьма примечательная. За ним быстро канул в Лету и его ископаемый предшественник, эозоон, — как оказалось, он был вводящим в заблуждение результатом кристаллизации, а не остатками древней примитивной жизни.

По правде говоря, упорнее всех не давали батибиусу упокоиться с миром противники Гексли. В 1887 г. герцог Аргайл, главный оппонент дарвинизма в XIX в., вспомнил об этом конфузе, чтобы поставить под сомнение всю концепцию живого у Гексли. Герцог назвал эту историю «казусом, в котором нелепая ошибка и возмутительное легкоеверие стали непосредственным результатом теоретических предрассудков. В батибиуса поверили, потому что он согласовывался с дарвиновскими домыслами»²⁹.

Гексли, придерживающийся невысокого мнения о герцоге Аргайле — ведь тот сам не занимался наукой, — охотно признал, что был неправ. Но, добавил он, «только тот не ошибается, кто ничего не делает, неважно, ученый он или нет».

И все-таки, как впоследствии отмечал историк Филип Ребок, возражение герцога было не лишено смысла. «Батибиус оказался чрезвычайно удобной идеей, — писал Ребок, — объяснительным приемом, который выглядел логично в контексте биологических и геологических представлений середины XIX в.»³⁰.

Так на пограничье между живым и неживым формируются и обретают славу концептуальные фантомы. Но, несмотря на ошибку планетарного масштаба, репутация Гексли не пострадала. Когда в 1895 г. он скончался, «Труды Лондонского Королевского общества» опубликовали двадцатистраничный некролог с дифирамбами. «Какой бы пример живого ни затрагивал он в своих исследованиях — простейшее, полипа, моллюска, ракообразное, рыбу, пресмыкающееся, зверя или человека (трудно назвать живое существо, которого бы он не коснулся), он проливал на него свет и оставлял свой след в изучении»³¹, — констатировалось в журнале. И ни на одной из этих страниц не нашлось места упоминанию батибиуса.

Поколением позже Джона Батлера Бёрка постигнет более жестокая участь, когда окажется, что его радиобов не существует. И хотя Гексли обманулся фантомом, его общая картина жизни была все же правильной. Эволюция существует, и протоплазма, безусловно, объединяет все живое. Но эта объединяющая связь гораздо сложнее, чем мог вообразить себе Гексли.

ИГРА ВОДЫ

Батибиус почил, но протоплазма продолжала жить. На закате XIX в. ее внутренняя механика стала понемногу проясняться. И некоторые из первых подсказок нашлись не на морском дне, а на пивоварне.

На протяжении всей истории пивоварение слыло чем-то вроде алхимии¹. Люди начали заниматься им как минимум 13 000 лет назад, когда территория нынешнего Нью-Йорка была покрыта ледниками, а по Сибири бродили мамонты. Пионеры пивоварения, обитавшие на Ближнем Востоке, собирали колосья пшеницы и ячменя и варили из них концентрат сахаров — сусло. Затем они дожидались, пока сусло забродит и превратится в пенную жидкость, от которой можно захмелеть. Что происходит во время брожения, никто не знал.

В XIX в. один ответ предложили химики, другой — микробиологи. Химики, идя по стопам Фридриха Вёлера, взглянули на брожение как на превращение одних молекул в другие. С их точки зрения, растительные сахара подвергались химическим реакциям, в результате которых получались этиловый спирт и другие молекулы, а также пузырьки углекислого газа.

Одновременно с этим микробиологи рассматривали брожение как часть жизни. Оказалось, что муть в сусле — давно известная под названием дрожжей — состоит из живых одноклеточных организмов. Без них ферментация не идет. Тысячелетиями пивовары, сами того не ведая, засевали ими пиво, когда оставляли сусло на воздухе. Летучие споры дрожжей попадали туда естественным путем и запускали процесс ферментации. Ключевую роль в нем играла жизнь. Стерилизованное сусло никогда не станови-

лось пивом. К концу XIX в. микробиологи превратили пивоварение в промышленную биологию. Пивовары научились выбирать, какой сорт дрожжей следует применить, чтобы пиво получило нужный вкус. Каждая кружка пива, поднятая в каждом пабе, доказывала присутствие жизненного начала. Соприкасаясь с живой материей, сахар обращался в спирт путем реакции, не осуществимой иными способами.

Химиков это не впечатляло. Идея, будто малюсенькие клетки дрожжей трескают пшеницу и по волшебству писают спиртом, до нелепости походила на витализм.

Молодой немецкий химик Эдуард Бухнер попытался замирить обе стороны великой пивной дискуссии и получил в итоге Нобелевскую премию. На излете XIX в. ученые уже знали, что живые существа вырабатывают определенный класс белков — ферменты, обладающие поразительной способностью расщеплять некоторые другие молекулы. Ряд исследователей полагал, что в дрожжах содержится фермент, расщепляющий сахар. Да, в этом случае дрожжи играют основную роль в брожении, но нет, никаких жизненных сил они в своем составе не имеют.

В 1890-х гг. Бухнер решил отыскать эти гипотетические ферменты. Он смешал сухие дрожжи с тонкозернистым песком и растер смесь в ступке, получив темную влажную массу. Это мембраны дрожжевых клеток прорвались, выпустив наружу протоплазму.

Полученное зелье Бухнер поместил на плоскую поверхность и отжал гидравлическим прессом. Выступил пахучий дрожжевой сок. Чтобы уничтожить клетки, которые могли в нем оставаться, Бухнер добавил туда мышьяк и другие яды. Теперь сок был абсолютно лишен живого.

Однако стоило исследователю добавить в эту безжизненную жидкость сахар, как она стала испускать шипящие пузырьки углекислого газа и обратилась в спирт. Опыт Бухнера показал, что брожение не зависит от живых клеток. Для него даже не требуются частицы живой протоплазмы. Процесс вызывается заурядным ферментом².

Поначалу как биологам, так и пивоварам показалось, что это уже чересчур. Они не могли поверить, будто протоплазма является мешаниной специализированных молекул, каждая из кото-

рых осуществляет предписанную ей реакцию. Один специалист по брожению предсказывал, что гипотеза Бухнера «не будет долго радоваться жизни»³.

Но вскоре другие ученые воспроизвели эксперимент немецкого исследователя и продвинули эксперименты дальше, выделив Бухнеров фермент и дав ему название «зимаза». Французский микробиолог Эмиль Дюкло провозгласил, что Бухнер «открывает дверь в новый мир». Это был мир биохимии, в котором внутри живых существ толпился целый зоопарк активных белков.

Когда в 1907 г. Бухнер прибыл в Стокгольм за своей Нобелевской премией, он попробовал, как уже говорилось, сыграть роль миротворца. Механистам и виталистам не стоило воевать из-за брожения. Виталисты были правы насчет его основы — дрожжей; ферменты не могли возникнуть без этих живых существ. Но для ферментации пива дрожжи не пользовались таинственными жизненными силами. Они производили зимазы — обычные молекулы, подчиняющиеся обычным законам химии. Выделенный из клетки фермент был неживым, но тем не менее он оказывался способным осуществлять те же самые химические реакции.

«Разногласия между виталистическими воззрениями и ферментной теорией сняты, — писал Бухнер. — Ни одна сторона в конечном итоге не проиграла»⁴.

Если он думал, что сможет окончить миром войну, длившуюся к тому времени уже больше двух веков, ему было суждено глубоко разочароваться. После того как он получил свою премию, споры о природе жизни лишь зазвучали еще громче. Биохимическая картина жизни — как и прежняя механистическая — не удовлетворяла многих ученых. Это прекрасно, конечно, — найти один фермент, расщепляющий сахар, и другой, расщепляющий крахмал. Но из нескольких подобных реакций никак не складывались великие преобразования, определяющие жизнь, — каким образом, скажем, растение превращает солнечный свет в свои корни и соцветия или как единственная клетка становится человеческим существом? По мере того как микроскопия развивалась, биологи обнаруживали, что протоплазма в действительности насыщена объектами подобно городу — она набита отсеками (компартаментами), нитями (филаментами) и гранулами. Но до сих пор никто

так и не смог рассказать, что же происходило в этих потайных помещениях или сколько их вообще существовало на самом деле. Некоторые на какой-то период времени появлялись под микроскопом, а затем их снова уже не было видно.

«Которые из них живые? Которые из них составляют физическую основу жизни, да и составляют ли они ее? — спрашивал в 1923 г. американский специалист по клеточной биологии Эдмунд Уилсон. — Вот ведь неудобные вопросы»⁵.

Некоторые ученые утверждали, что эти вопросы навсегда останутся неудобными. Элементарные химические реакции, осуществляемые ферментами, не могли направить развитие яйцеклетки в эмбрион. Полипам Трамбле требовалось нечто большее, чем просто молекулы, чтобы достроить до целого свои разрезанные тела. Но теперь те ученые, что отвергали чисто механистические воззрения на жизнь, отринули и концепцию таинственной жизненной силы. Специфика живого состояла в том, что оно функционировало не на единственном уровне⁶.

Низшие уровни самопроизвольно порождали высшие. Пусть один фермент способен выполнять лишь одну задачу (например, объединять две молекулы), но соберите вместе миллиарды ферментов, выполняющих миллиарды различных задач, и вот, пожалуйста, — у вас клетка. Поднимитесь уровнем выше, и группа клеток становится организмом. Организмы объединяются в популяции, популяции — в экосистемы.

Перескочив на очередной уровень, следует на нем задержаться, чтобы понять его суть. Если вы попытаетесь изучить клетку, разобрав ее на ферменты, то клетка потеряется. Клетки в организмах зайцев-беляков не способны объяснить взлеты и падения численности их популяций в Канаде каждые несколько лет. Разгадка кроется в смертельном хороводе зайцев и рысей.

Широкая общественность внимательно следила за этими дебатами. Нарождающаяся наука биохимия, казалось, вот-вот даст человечеству Франкенштейнову власть над жизнью. Но при этом она как будто сводила жизнь, в особенности человеческую, к угнетающе ничтожным частицам. Воспоминания, чувства — сама наша суть — казались низведенными до слепой чехарды белков. Люди хотели большего — и от собствен-

ной жизни, и от жизни как таковой, а витализм, похоже, утолял эту жажду, предлагая идею жизненной силы, непостижимой для биохимии.

На заре XX в. жизненная сила становится в чем-то подобной религиозному феномену⁷: для одних это человеческий дух, для других — божественная искра. Французский философ Анри Бергсон обрел массу последователей, утверждая, что все живое объединяется жизненным порывом (*élan vital*). «Жизнь — это прежде всего тенденция действовать на неорганизованную материю»*, — писал он в своей книге 1911 г. «Творческая эволюция» (*L'evolution creatrice*)⁸. Туманная и путаная, книга тем не менее стала бестселлером. Когда Бергсон приехал в Нью-Йорк выступить с серией лекций, он, как гласит легенда, стал причиной первого в истории города дорожного затора. Тысячи людей стекались просто поглазеть на него, когда он пил чай с женами профессоров Колумбийского университета⁹.

Бергсон и прочие неовиталисты не впечатлили биохимиков. В своей статье 1925 г. британский ученый Джозеф Нидэм заявил, что они «не снискали никакого доверия у исследователей в области биохимии и физиологии». Рассуждать о жизненных силах — значило всего лишь похвалиться невежеством. В XIX в. многие физики пытались объяснить распространение света в пространстве тем, что космос заполнен некой субстанцией, называемой эфиром. Эфир был прозрачен и лишен трения, он не имел массы и не поддавался обнаружению — и тем не менее предполагалось, что им заполнена Вселенная. С развитием современной физики оказалось, что это фикция. В начале XX в. биохимики, подобно Нидэму, были уверены, что жизненные силы тоже уйдут в прошлое и останутся в памяти как биологический эфир¹⁰.

Нидэм соглашался, что жизнь невозможно полностью объяснить лишь в категориях атомов. У нее было много уровней, каждый из которых заслуживал внимания. Но это не было поводом отбрасывать механистические основы. Даже если отдельный фермент не мог объяснить орла, он, безусловно, был неплохой

* Пер. с франц. В. А. Флеровой.

отправной точкой. В 1920-е гг. биологи начали постепенно разбираться в совместной работе ферментов. Один, к примеру, умел вырезать часть молекулы и передавать ее другому, который тоже как-то модифицировал эту часть. Постепенно ферментные цепочки разрастались в грандиозные переплетающиеся петли метаболизма. А что в это время открывали виталисты?

Им по-прежнему не удавалось предъявить миру ничего, кроме открытых вопросов, на которые наука пока еще не имела ответа. Для Нидэма они были ничем не лучше богословов XIX в., отрицавших эволюцию на основании пробелов в ископаемой летописи. «В лаборатории, — вздыхал Нидэм, — так не пофилософствуешь»¹¹.

Слова Нидэма оказались пророческими. Двадцатый век шел своим чередом, и витализм все сильнее сдавал позиции физике и химии. Даже раздражимость, эта фундаментальная сила, казавшаяся уникальной для живого, сдалась перед пытливым умом выдающегося венгерского физиолога Альберта Сент-Дьёрдьи¹². Он, следуя всю жизнь научному поиску, научился управлять раздражимостью.

«История моей внутренней жизни чрезвычайно простая, если не сказать скучная», — говорил Сент-Дьёрдьи на склоне лет. Он существовал ради науки, и точка. Что касается его внешней жизни, она, по признанию Сент-Дьёрдьи, была «довольно ухабистой». И это мягко сказано. На иных из этих ухабов жизни многие ее лишились бы.

Сент-Дьёрдьи был студентом-медиком, когда началась Первая мировая война. Он вступил в венгерскую армию и прослужил там три года, пока не убедился, что война проиграна и дальнейшего его участие в ней станет бессмысленным самопожертвовани-ем. «Лучшее, что я мог сделать для своей страны, — это остаться в живых, — писал Сент-Дьёрдьи. — Поэтому однажды на поле боя я взял ружье и прострелил себе плечевую кость».

Самострел позволил Сент-Дьёрдьи вернуться в Венгрию — еще до коммунистического восстания. Тогда его семья потеряла чуть ли не все свое имущество, и ему пришлось бежать из стра-

ны с женой и ребенком*. В Праге, а затем в Берлине им временами было нечего есть. Сент-Дьёрдьи удалось вернуться к занятиям медициной, но потом он осознал, что ему не хочется лечить больных. По словам исследователя, он «хотел понять жизнь».

Ради этого он принял участие в попытках «препарировать» протоплазму. Он изучал совместную работу ферментов внутри клеток, благодаря которой пища превращается в энергию. Эта работа в конечном итоге принесла ему степень PhD в Кембриджском университете. Реакции, открытые Сент-Дьёрдьи, оказались важнейшими этапами в метаболических цепочках, обеспечивающих нашу жизнь. Исследователь усматривал в ферментах единство всего живого. «Нет фундаментального различия между человеком и газоном, который он стрижет», — говорил он.

Сент-Дьёрдьи доказал это открытием, которое принесет ему Нобелевскую премию и которое началось с того, что его автор задумался над разницей между картофелем и лимонами. Разрезанный клубень темнеет, а цитрусовое — нет. Сент-Дьёрдьи предположил, что в картофеле кислород реагирует с неким компонентом, однако в лимонах содержится второй компонент, который замедляет эту реакцию.

Исследователь искал этот второй компонент несколько лет и в конце концов нашел его в клетках многих растений и даже некоторых животных. Готовясь опубликовать в 1928 г. статью о найденном соединении, Сент-Дьёрдьи еще многого в нем не понимал. Если бы ученому задали вопрос об этом компоненте, он бы в ответ пожал плечами: «А бог его знает!» Он и вправду спросил своих редакторов в *Biochemical Journal*, можно ли окрестить молекулу «годноза»**. Исследователь просто хотел обозначить таким образом свое неведение. Но его заставили дать соединению название «гексуриновая кислота».

* Между возвращением Сент-Дьёрдьи с фронта в 1916 г. и вынужденным отъездом с родины прошло три года. В 1917 г. он окончил в Будапеште медицинскую школу и в том же году женился. Ребенок родился в 1918 г. Семья окончательно покинула Будапешт после прихода к власти Бельи Куна и установления Венгерской советской республики в марте 1919 г. — *Прим. ред.*

** “Godnose” звучит так же, как английская фраза “God knows” — «Бог знает». — *Прим. пер.*

Теперь мы знаем его под именем аскорбиновой кислоты, или витамина С. Ученые установили, что это вещество играет важную роль в устранении клеточных повреждений, синтезе белков и еще во многих процессах. У лимонов и других растений имеются гены синтеза витамина С, но мы, люди, вынуждены получать его с пищей. Открытие Сент-Дьёрдьи позволило синтезировать это соединение из крахмала, но ученый отказался его патентовать, убежденный, что витамин С принадлежит всему человечеству. Открытие не обогатило исследователя, но он получил приглашение в Стокгольм.

Сорокачетырехлетний на тот момент лауреат Нобелевской премии, Сент-Дьёрдьи наконец пришел к выводу, что созрел для серьезной науки. По его словам, он почувствовал, что теперь имеет «достаточно опыта, чтобы взяться за более сложный биологический процесс, который смог бы подвести... ближе к пониманию живого». Исследователь решил изучать мышцы. «Их функция — движение, — говорил Сент-Дьёрдьи, — а оно всегда рассматривалось человеком как критерий жизни».

Ученый получил место профессора в венгерском Сегедском университете, где собрал группу молодых специалистов для разгадки тайны, мучившей Альбрехта фон Галлера двумя веками раньше: как работают мышцы. Сент-Дьёрдьи знал, что при замачивании мышечной ткани в солевом растворе из ее клеток выходит вязкая слизь. Эта слизь содержала нитевидные волокна белка миозина. Многие ученые подозревали, что именно они порождают силу, заставляющую мускулы сокращаться.

Еще одним соединением, захватившим воображение Сент-Дьёрдьи, стала молекула АТФ¹³. Ее открыли в 1929 г., но никто не знал, для чего она нужна. Некоторые исследователи полагали, что мышцы используют АТФ в качестве топлива, улавливая энергию, которая высвобождается при разрыве связей в этой молекуле. В 1939 г. Сент-Дьёрдьи узнал, что советские биологи обнаружили способность миозина захватывать молекулы АТФ и расщеплять их. Венгерский исследователь решил более пристально изучить эту реакцию.

Сент-Дьёрдьи приступил к этому новому направлению исследований в конце 1930-х гг., но выяснилось, что он попросту отрезан

от мира. Венгрия заключила условный альянс с нацистской Германией в надежде вернуть часть земель, утерянных ею по итогам Версальского мира. После этого Великобритания объявила Венгрии войну, и страна оказалась в изоляции позади линий фронтов войск гитлеровской коалиции. За годы своей профессиональной деятельности Сент-Дьёрдьи выстроил международную систему сотрудничества. Теперь же ему и его коллегам в Сегеде пришлось работать только своим коллективом.

И вскоре оторванная от мира группа исследователей увидела нечто необычайное. Экспериментаторы выделили нити миозина и бросили их в бульон из мышечной ткани. За несколько секунд длинные прозрачные волокна превратились в темные короткие столбики. Сент-Дьёрдьи и его коллектив наблюдали сокращение мышц на молекулярном уровне.

Чтобы разобраться, как происходит это сокращение, исследователи разобрали бульон на базовые составляющие. Они приготовили раствор, содержащий только АТФ плюс немного калия и магния, чтобы поддерживать работоспособность клеток. Трех упомянутых ингредиентов хватило. Когда ученые поместили миозиновые волокна в этот раствор, белки сократились. Одну из главных функций живого удалось воссоздать в пробирке.

Сотрудник Сент-Дьёрдьи Бруно Штрауб назвал опыт «самым красивым экспериментом, который... доводилось видеть». Другой коллега — Вилфрид Моммартс — полагал этот эксперимент «вероятно, величайшим результатом наблюдений в биологии». Частью великости опыта, по мнению Моммартса, была его простота — «примета истинного гения».

Гениальность эта была тем более примечательна, что Сент-Дьёрдьи совмещал занятия наукой с разведкой. Ужаснувшись приходу Гитлера к власти, он помогал еврейским ученым бежать из Германии. В Сегеде он разгонял толпы фашиствующих студентов, искавших евреев в университете. Получив Нобелевскую премию, Сент-Дьёрдьи инвестировал деньги только в те предприятия, которые не получали выгоды от экономики военного времени. (Все вложения он потерял.) А как только началась война, Сент-Дьёрдьи тайно присоединился к группе движения Сопротивления.

В 1943 г. он поездом отправился с секретной миссией в Стамбул. Предлогом служила лекция, которую исследователь должен был прочитать в одном из турецких университетов. Однако после нее у ученого состоялась встреча с агентами британской разведки, на которой Сент-Дьёрдьи сообщил, что Венгрия может рассмотреть переход на сторону союзников.

Возвращаясь на родину, Сент-Дьёрдьи полагал, что миссия выполнена успешно. Он заблуждался. Нацистская разведка узнала о его измене, и Гитлер неистово потребовал экстрадиции ученого в Германию. Венгерское правительство попыталось умиротворить Гитлера, поместив Сент-Дьёрдьи под домашний арест. Но тот сумел бежать и провел несколько месяцев, скрываясь и ускользая из-под носа гестапо, расправлявшегося с его соратниками по движению Сопротивления. Тем временем в университете сотрудники Сент-Дьёрдьи продолжали опыты с мышечными тканями и фиксировали результаты. Время от времени исследователь неожиданно объявлялся в лаборатории в Сегеде, чтобы проверить, как идут дела, и снова исчезал.

Для Сент-Дьёрдьи было важно не столько выжить, сколько сообщить миру о своих экспериментах. Если гестапо прострелит ему голову, мир может так никогда и не узнать, чего достиг он и его коллеги. Исследователь распорядился напечатать несколько сотен экземпляров их статей, но ему было непросто передать их друзьям за пределами Венгрии. Наконец Сент-Дьёрдьи нашел, как ему казалось, безопасное укрытие — шведское посольство в Будапеште. Но его раскрыли, когда один шведский ученый отправил в посольство телеграмму, чтобы сообщить Сент-Дьёрдьи о получении рукописи его работы о мышцах.

Гестаповцы приготовились штурмовать посольство — наконец-то шпион, ускользавший от них в течение нескольких месяцев, окажется в их руках. Когда дипломаты узнали о готовящемся нападении, шведский посол увез Сент-Дьёрдьи, спрятав его в багажнике своего лимузина.

Военные действия докатились до Венгрии. Нацистские и советские войска начали бои за Будапешт, превращая его при этом в руины. Сент-Дьёрдьи прятался в разбомбленных зданиях на нейтральной полосе между двумя армиями, пока советский

нарком иностранных дел не отправил на его поиски специальный отряд. Исследователя вместе с семьей вывезли на советскую военную базу к югу от Будапешта, где семейство прожило три месяца, до окончания войны. После этого Сент-Дьёрдьи смогли вернуться домой.

Ученый вернулся на развалины Будапешта национальным героем. А научный мир, опасавшийся, что исследователь погиб, поражался 116-страничному докладу, опубликованному в журнале *Acta Physiologica*, в котором Сент-Дьёрдьи и его коллеги объясняли разгадку одной из тайн живого.

Поначалу Сент-Дьёрдьи полагал, что Советский Союз поможет Венгрии после войны стать успешной демократической страной. Он занялся реорганизацией на родине научного сообщества, и пошел слух, что его могут вскоре избрать президентом. Но довольно быстро Сент-Дьёрдьи понял, что Венгрия сменила старых угнетателей на новых. Советская власть принялась преследовать инакомыслящих, а затем убивать их. Сент-Дьёрдьи связался со своими знакомыми в США, надеясь найти место преподавателя в каком-нибудь американском университете. Но правительство США сочло его дружественные отношения с советскими хозяевами признаком того, что он скорее шпион, нежели беженец с Нобелевской премией.

В рамках своей кампании за въезд в США Сент-Дьёрдьи прибыл в Бостон читать лекции в Массачусетском технологическом институте (МТИ)¹⁴. На них он рассказывал американской аудитории об исследованиях мышц, которыми занимался во время войны. Он говорил о волокнах и миозине, об АТФ и ионах. Завершив описание своих открытий, Сент-Дьёрдьи остановился, чтобы подвести итоги тому, что он узнал за это время.

«Я подошел к концу своего путешествия, и теперь вы, наверное, ожидаете от меня эффектного завершения лекции определением того, что же такое жизнь», — сказал он.

К тому времени биохимики пытались определить жизнь уже несколько десятилетий. В 1911 г. чешский ученый Фридрих Чапек дал вот такую сжатую формулировку: «В целом то, что мы называем жизнью, есть не более чем комплекс бесчисленных химических реакций в живой субстанции, именуемой протоплазмой»¹⁵.

В ходе своих занятий наукой Сент-Джёрджи неоднократно придумывал для жизни собственные определения — хотя бы ради того, чтобы посмеяться над представлением, что простая ее трактовка вообще когда-нибудь станет возможной. «Жизнь, — как он любил говорить, — всего лишь игра воды»¹⁶.

При фотосинтезе растения и бактерии, вырабатывая углеводы, расщепляют воду. А при клеточном дыхании — будь то растения или животные, которые поедают растения, — высвобождение энергии из тех углеводов нуждается в сборке молекул воды обратно. «То, что мы зовем “жизнью”, есть определенное свойство, сумма определенных реакций материальных систем, подобно тому как улыбка есть свойство или реакция губ»¹⁷, — однажды сказал Сент-Джёрджи.

Когда он глубже задумывался над тем, что же он и его братья-биохимики узнали о жизни, то находил весьма непростым дать ей внятное определение. Если оно включает в себя способность поддерживать свое существование с помощью химических реакций, то пламя свечки, вероятно, живое. А как насчет звезды или цивилизации?

Все живое, объяснял Сент-Джёрджи своей аудитории в МТИ, объединяют общие признаки. Но слишком категоричное следование этим признакам — верный путь к абсурду. «Кролик в одиночку никогда не размножится, — заметил Сент-Джёрджи. — И, если жизнь определять по самовоспроизводству, получается, что одинокий кролик не может считаться живым».

По словам ученого, на разных уровнях мы обнаруживаем разные признаки живого, но это зависит лишь от того, какие из них мы считаем наиболее значимыми. «Существительное “жизнь” бессмысленно, — заявил Сент-Джёрджи, — такой штуки не существует».

Вскоре после визита в МТИ Сент-Джёрджи получил разрешение на переезд в США. Но все его попытки найти профессорскую должность окончились ничем, и он оказался на птичьих правах в Лаборатории морской биологии в Кейп-Коде, штат Массачусетс. И все же дальше всего в изучении жизни исследователь продвинулся именно на своей новой родине. Каждое лето Сент-Джёрджи собирал ученых в своем просторном жилище у моря в дерев-

не Вудс-Хоул. Он прославился своими вечеринками¹⁸, ночными вылазками на рыбалку за полосатым окунем, заплывом вдоль берегов соседнего полуострова во главе армады любителей плавания на спине, а также маскарадами, на которые являлся в костюмах, олицетворяющих то Хроноса-Сатурна, то дядю Сэма, то святого Георгия с мечом и щитом из алюминиевой фольги.

В Вудс-Хоул Сент-Джёрджи продолжил заниматься своими изысканиями; его работе было оказано содействие, и ученый создал на спонсорские деньги научный институт. Там он вышел на новое направление исследований, нацеленное на поиск фундаментального различия между живой и неживой материей.

Живые существа обладали особыми химическими свойствами, которые Сент-Джёрджи назвал «чуткой реактивностью и гибкостью»¹⁹. Он полагал, что живое получает эту способность благодаря электронам, мигрирующим от атома к атому в молекуле белка. Молекулы типа аскорбиновой кислоты, по мнению исследователя, могли перемещать электроны от атомов кислорода к другим молекулам, не повреждая внутренность клетки. «Все это нужно, чтобы материя стала живой», — заявил Сент-Джёрджи.

Интуиция вела его в правильном направлении. Для сохранения своей жизни клетки должны управлять собственным электрическим зарядом и не позволять заряженным частицам носиться у себя внутри, разрушая ДНК и белки. Но Сент-Джёрджи, не имея подготовки в области квантовой физики, столкнулся с задачей, оказавшейся ему не по зубам. Любитель эффектных выступлений, он уверенно пообещал, что разберется, как оживает материя, и таким образом отыщет лекарство от рака²⁰.

Незадолго до своей смерти в 1986 г. Сент-Джёрджи подал в Национальные институты здоровья заявку на баснословный грант в миллионы долларов. Джон Эдсолл, гарвардский биолог и давний поклонник Сент-Джёрджи, рассмотрел ее и побывал в лаборатории ученого, чтобы оценить его работу. В Вудс-Хоул не оказалось ничего особо вдохновляющего, и Эдсолл отклонил заявку исследователя.

«Я с горечью ощутил, что он лишился своих необычайных чутя и инстинкта, в прошлом верно направлявших его в блистательном преодолении важнейших проблем»²¹, — говорил Эдсолл.

Никто не мог отобрать у Сент-Дьёрдьи Нобелевскую премию или его сделанные в военный период открытия, касающиеся мышц. Но, к огорчению его коллег, тайна жизни в конце концов отыгралась на нем. Что было еще печальнее, сам Сент-Дьёрдьи тоже правильно понимал происходящее с ним — это видно из статьи, написанной им в 1972 г.:

«Я перешел от анатомии к изучению тканей, затем к электронной микроскопии и химии и, наконец, к квантовой механике. В этом путешествии вниз по шкале масштабов есть особая ирония, потому что в своих поисках разгадки жизни я дошел до атомов и электронов, которые точно не живые. Где-то по дороге жизнь проскользнула у меня меж пальцев»²².

ПРОГРАММЫ

В 1920-е гг. мир все еще постепенно приходил к пониманию странностей квантовой физики. Общественности было простительно думать, что физики с ума посходили. Еще недавно они повелевали величественным, предсказуемым космосом, повиновавшимся точным как часы законам Ньютона, а теперь заявляли, что основы этого космоса противоречат здравому смыслу. Свет — и частица, и волна разом. Электрон может быть одновременно и там, и тут. Энергия — череда квантовых скачков.

Но, когда Макс Дельбрюк¹, в ту пору обучавшийся физике в Германии, открыл для себя этот новый мир, ему сразу стало в нем хорошо, как дома. Он поразил своих преподавателей способностью выводить из теории квантовой физики новые следствия и применять их для объяснения свойств реальных атомов. Одного этого Дельбрюку уже хватило бы для успешной карьеры — если бы он не поехал в 1931 г. в Данию. Он отправился туда поучиться у физика-нобелиата Нильса Бора, в частности для того, чтобы узнать, что Бор не считает квантовую физику самой замысловатой штукой в этом мире. Жизнь-то куда замысловатее.

Нильс Бор утверждал, что физики никогда не смогут наблюдать всю физическую реальность одновременно. К примеру, если они хотят исследовать свет, то могут изучать его либо как частицу, либо как волну, но не как одно и другое разом. Столь же двойственной, по мнению Бора, была и природа жизни. Физик мог правильно интерпретировать поведение газов и жидкостей в организме, но физика была не в состоянии объяснить, как организм поддерживает стабильность своих газов и жидкостей, чтобы выжить.

«Он много об этом говорил, — писал впоследствии Дельбрюк, вспоминая Бора. — Мы можем смотреть на живой организм либо как на живой организм, либо как на толчею молекул»².

Бор помог Дельбрюку видеть жизнь как некий передний край, где физику дано открыть нечто радикально новое. «Взять, к примеру, простейший тип клетки. Нам известно, что она состоит из обычных компонентов органической химии, а во всем остальном подчиняется законам физики, — писал Дельбрюк. — Можно проанализировать любое количество соединений в ней, но нам никогда не удастся получить из них живую бактерию, если только мы не внесем на рассмотрение совершенно новые и взаимодополняющие точки зрения».

Жизнь сохраняет необычайную упорядоченность, и это при том, что Вселенная как будто специально создана для разрушения этого порядка. Никого не удивит, если рюмка упадет на землю и разобьется на сто осколков. Удивительным будет, если сотня осколков соберется в рюмку. Нагрейте кастрюлю воды и бросьте туда набор пищевых красителей. Вряд ли вы ожидаете, что они выстроятся в красивую радугу. Вы получите нечто бурое. Живое же нарушает эту установку. Из яиц вылупляются лебеди, из семян произрастают циннии. Даже одна клетка способна поддерживать поразительный молекулярный порядок.

«Самая заурядная живая клетка оказывается волшебной шкатулкой с секретом, — объяснял впоследствии Дельбрюк, — полной затейливых изменчивых молекул и далеко превосходящей все наши химические лаборатории в искусстве органического синтеза, который осуществляется с легкостью, быстротой и отличной оценкой оптимальных соотношений».

Завершив учебу у Бора, молодой ученый вернулся из Дании в Германию, где стал работать в Берлинской лаборатории у физика Лизы Мейтнер. Днем он трудился над задачами вроде той, как придать нужное направление гамма-лучам. Ночами же пытался практически с нуля изучать биологию. Дельбрюк чувствовал себя чуть ли не единственным человеком на Земле, взявшимся поддерживать миссию Бора.

«По моему мнению, физики недостаточно знали биологию и в целом не интересовались ею, — говорил исследователь. —

Что же до биологов, то квантовая механика и подобное ей были далеко за пределами их компетенции».

Позже Дельбрюк отыскал других ученых, блуждавших по этому пограничью, — «группу внутренних эмигрантов среди теоретических физиков», как он их называл. Немецкий исследователь восхищался кружком физиков в Копенгагене, который организовал Бор для совместного изучения квантовой физики, и последовал его примеру в Берлине. Он пригласил новых друзей собираться в доме своей матери. Повесткой собраний стало «совместное рассмотрение некоторых загадок жизни»³.

Растирая дрожжи, Бухнер неизменно находил зимазу. Но когда биохимики разложили клетки других биологических видов, они обнаружили иные ферменты. Почему зимаза есть в клетках дрожжей, а в наших собственных ее нет? И почему, когда клетка дрожжей делилась надвое, дочерние сохраняли способность самостоятельно вырабатывать зимазу? Когда в 1932 г. Дельбрюк занялся биологией, ученые располагали лишь смутными догадками на этот счет. Они подозревали, что ответ связан с наследственными факторами, получившими название генов. Но пока не знали, что такое гены.

По правде говоря, не исключалось, что ген не более чем абстракция. Закономерности наследования могли быть обусловлены сочетанием неких неуловимых деталей внутри клеток. Но при более внимательном их изучении ученые стали подозревать, что гены как-то связаны с таинственными нитевидными объектами — хромосомами. Можно было разглядеть 23 пары хромосом в каждой из наших клеток. Можно было пронаблюдать, как их набор удваивается при клеточном делении. Можно было заметить, что у половых клеток оказывается только по одной копии каждой хромосомы и что при оплодотворении эта копия находит себе пару. Но оставалось тайной, что же управляет этими процессами и как унаследованные хромосомы могут влиять на наши признаки.

Пытаясь в 1923 г. описать этот хромосомный балет, биолог Эдмунд Уилсон признавался, что ему трудно поверить в его реальность, настолько тот сложен. «Просто дух захватывает, — делился ощущениями Уилсон. — Подобные процессы абсолютно ошеломительны — при определенном складе ума усвоить их труднее,

нежели те, которые физики предлагают нам ныне принять касательно строения атомов»⁴.

Некоторые важнейшие сведения насчет хромосом и наследственности поступили из одной полной мух лаборатории Колумбийского университета. Там биолог Томас Хант Морган руководил коллективом исследователей, изучавших под микроскопом хромосомы плодовой мушки-дрозофилы. Эти структуры, словно змейки, исчерчены поперечными полосками. Изучая мушек поколение за поколением, ученые смогли пронаблюдать, как пары хромосом обмениваются друг с другом этими исчерченными участками. Группа Моргана доказала, что наследование того или иного короткого участка хромосомы определяет конкретные признаки у мухи. Например, цвет ее глаз — окажется он белым или красным. Или же — устойчива будет муха к холоду или замерзнет насмерть. Столь существенные результаты заставили Моргана заподозрить, что гены прячутся в этих хромосомных сегментах.

Ничего более конкретного он сказать не мог. Начать с того, что хромосомы представляли собой ужасающую биохимическую неразбериху — путаницу из белков и чрезвычайно странного вещества, нуклеиновой кислоты. Но один из учеников Моргана, Герман Мёллер, получил важные данные о генах, облучая мух рентгеновскими лучами. Его подопытные то и дело выдавали мутации: например, муха, у всех предков которой глаза были красными, внезапно оказывалась с коричневыми. Если затем Мёллер разводил мутантных мух, они могли передавать новый признак потомству. Иными словами, исследователь изменил ген.

Мёллер предположил, что мутации происходят регулярно. Чтобы менять гены, природа не нуждалась в рентгеновском аппарате. Время от времени изменять случайным образом тот или иной ген могли высокие температуры или определенные химические соединения. Из подобных-то слепых сдвигов и рождается все разнообразие жизни. В 1926 г. Мёллер объявил, что ген — «основа живого»⁵.

В 1932 г. ученый поехал в Берлин, чтобы поработать вместе с тамошними генетиками. Те испытывали на мухах разные виды излучений, надеясь увидеть, какие мутации можно получить с их

помощью. Пообщавшись с Мёллером, Дельбрюк проникся благоговением и решил, что задействует свое знание квантовой физики, чтобы разобраться в загадочном явлении. После того как Мёллер уехал из Берлина работать в СССР, Дельбрюк приступил к сотрудничеству с местными генетиками, занявшись тем, что он называл своим «контрабандным исследованием»⁶.

Немецкий ученый осознавал, что гены, какова бы ни была их конкретная природа, глубоко парадоксальны. Они достаточно стабильны, чтобы передаваться на протяжении тысяч поколений, но лишь для того, чтобы внезапно мутировать, а потом снова сделаться стабильными. Разрешить этот парадокс Дельбрюк намеревался с помощью физики.

Когда атом поглощает квант света — фотон, то один из его электронов может перескочить на более высокий энергетический уровень, где и остается. Рентгеновские лучи, возможно, оказывают подобное влияние на ген. Тот факт, что эти лучи с их чрезвычайно узкими пучками могли вызывать мутации, означал также, что гены чрезвычайно малы.

«Все это по большей части предположения, — оговаривались Дельбрюк и его соавторы в статье 1935 г., — которые пока еще покоятся на шатких основаниях».

Если авторы переживали, что их статья породит вал заблуждений, то, как оказалось, они могли не беспокоиться. Публикация вышла в журнале, которого, как потом сказал Дельбрюк, никто не читал. По выражению исследователя, их идеям «достались похороны по высшему разряду».

Вскоре после публикации статьи о генах Дельбрюк бежал из нацистской Германии. Он покинул не только свою страну, но и свою научную область. Бросив физику ради того, чтобы полностью посвятить себя биологии, Дельбрюк направил свои стопы в лабораторию Томаса Ханта Моргана, теперь работавшего в Калифорнийском технологическом институте. Но, оказавшись там, немецкий ученый почувствовал, что совершил ужасную ошибку. Морган «не знал, что делать с этим физиком-теоретиком», вспоминал потом Дельбрюк. А когда он попробовал ставить опыты на Моргановых мухах, занятие это показалось ему нудным, а результаты — невнятными.

По счастливой случайности Дельбрюк как-то столкнулся с биохимиком по имени Эмори Эллис. Он весьма заинтересовался, узнав, что тот изучает не животных, а фаги. Опыты, которые проводил Эллис, были простыми, но эффектными. Он добавлял поражающие бактерий вирусы в чашки Петри и наблюдал, как там, где фаги уничтожили миллионы своих хозяев, образуются прозрачные дыры. Эллису достаточно было лишь перенести кусочек агара из такой проплешины в незараженную чашку, чтобы вызвать новую эпидемию. У фагов, как оказалось, были собственные гены, но эти гены размножались, просто производя собственные копии. У них не было хромосомной путаницы, через которую нужно было продираться.

Дельбрюк любовно называл вирусы «атомами в биологии». Он приступил к собственным экспериментам, из которых вскоре выросла работа, обеспечившая ему впоследствии Нобелевскую премию. Оказалось, что вирусы, как и мухи, мутируют. Некоторые мутации отнимали у них способность поражать определенный штамм бактерий, другие же позволяли нападать на новый. Подсчитывая пустые места в своих чашках Петри, Дельбрюк мог точно измерять частоту появления мутаций. Он был счастлив на своем новом поприще, пусть даже мало кто в те времена признавал новую научную область, которую он создавал.

В 1945 г., через несколько лет после того как Дельбрюк сменил профессию, один из друзей вручил ему тоненькую книжную новинку — хит сезона. Она называлась «Что такое жизнь?» (What Is Life?), и Дельбрюк просто опешил. Автором был Эрвин Шрёдингер, физик, которого Дельбрюк знал в былые времена занятий квантовой физикой в Германии. А чтобы ответить на вопрос, поставленный в заглавии книги, Шрёдингер оживил ту самую статью Дельбрюка — похороненную по высшему разряду.

Эрвин Шрёдингер родился в 1887 г. в Вене. Впоследствии он стал профессором физики в Цюрихе, где вывел уравнение, увековечившее его имя. Уравнение Шрёдингера предсказывает волновые изменения системы, будь то фотон, атом или группа молекул, в пространстве и времени. Но, помимо этого, имя Шрёдинге-

ра приклеилось к самому знаменитому мысленному эксперименту с котом.

Шрёдингер осознавал, до какой степени необычны были выводы, вытекавшие из его трудов и трудов других специалистов по квантовой физике. Он предложил способ наглядно представить себе эту необычность: допустим, у нас в коробке кот. Коробка оборудована приспособлением, которое может пустить внутрь яд и убить кота. А теперь представьте себе, что это приспособление срабатывает в ответ на самопроизвольный распад радиоактивного атома.

Согласно магистральным толкованиям квантовой физики 1930-х гг., атом мог одновременно существовать как в распавшемся, так и в нераспавшемся состоянии. Лишь наблюдение заставило бы его волновую природу оказаться в одном из них. Шрёдингер утверждал, что если квантовая физика верна, то кот должен быть одновременно и живым и мертвым. Судьба его определится только в тот момент, когда наблюдатель заглянет в коробку.

Жизнь и смерть служили Шрёдингеру не просто пищей для мысленных экспериментов. Его отец увлекался ботаникой и познакомил Эрвина со сложным устройством растений, когда тот был еще ребенком. В студенчестве Шрёдингер жадно глотал книги по биологии. Позже, когда Мёллер с помощью рентгеновских лучей получил мутации, молодого ученого заинтересовала природа генов. В нем проснулось любопытство дилетанта, касающееся «фундаментального различия между живой и мертвой материей»⁸, как он однажды выразился. Когда знакомый передал Шрёдингеру статью Дельбрюка 1935 г. о генах, она стала для исследователя ядром, вокруг которого постепенно выросли его собственные соображения. В те времена Дельбрюк и Шрёдингер были коллегами по профессии, разъезжавшими по Европе ради общения с рассеянной по континенту братией квантовых физиков. Однако Шрёдингер ни разу не сказал и не написал Дельбрюку о почерпнутом у него вдохновении.

Австрийский ученый тоже бежал от нацистов, но оказался не в Калифорнии, а в Ирландии, где власти построили научный центр, чтобы Шрёдингер мог его возглавить. Одним из условий его работы было чтение публичных лекций в Тринити-колледже.

Исследователь решил, что не станет рассказывать о своих уравнениях, ведь его слушатели не специалисты в квантовой физике. Вместо этого он задумал прочесть курс лекций, в котором излагались бы его личные размышления о природе живого⁹.

В феврале 1943 г. в лекционный зал стеклась огромная толпа. Организаторам пришлось ограничить доступ для тысяч желающих. Взойдя на кафедру, Шрёдингер предупредил переполненный зал, что будет говорить не как специалист, а как «наивный физик». И задал наивный вопрос — тот же, которым задавался Георг Шталь почти на четверть тысячелетия раньше: что такое жизнь?

Значительная часть биологических сведений, изложенных тогда Шрёдингером перед дублинской аудиторией, была не нова. А то новое, что содержалось в его лекциях, впоследствии оказалось по большей части неверным. И все же ему удалось заложить основы современного научного подхода к определению того, что значит быть живым. Идеи Шрёдингера озарят путь целому поколению ученых, которые поставят биологию на молекулярное основание. И, что не менее важно, он продемонстрировал физикам, насколько несостоятельными оказываются их теории, стоит лишь вступить на территорию живого. Да и теперь, спустя много десятилетий, физики не могут справиться с брошенным им вызовом.

«Отрицательная энтропия — вот то, чем организм питается»*, — заявил Шрёдингер. Энтропия по сути есть мера неупорядоченности. Мельтешение атомов и молекул с течением времени увеличивает энтропию естественным путем. Чтобы сохранять свою упорядоченность, живому необходимо поглощать энергию таким способом, который противодействует возрастанию энтропии. И оно распространяет эту упорядоченность в будущее, передавая свои гены потомкам.

Объясняя наследственность, Шрёдингер опирался на десятилетней давности работу Дельбрюка о хромосомах. Австрийский ученый представлял их себе как стабильные кристаллы, содержащие гены и способные воспроизводиться из поколения в поколение.

* Это и следующее высказывание Шрёдингера процитированы в пер. А. А. Малиновского по книге «Что такое жизнь с точки зрения физики?» — М.: Гос. изд-во иностр. лит-ры, 1947. — *Прим. пер.*

У Шрёдингера были лишь смутные представления о том, как работает это устройство. Кристаллам следовало быть, по его выражению, «апериодическими». В обыкновенных кристаллах наблюдается периодичность: лед — это решетчатая конструкция из молекул воды, поваренная соль — совокупность ячеек, состоящих из атомов натрия и хлора. Неважно, в каком направлении вы двигаетесь внутри таких кристаллов, их элементарные ячейки будут одинаковыми. Но в хромосомах, как предполагал Шрёдингер, расположение атомов может варьировать, и вариации эти повторяются более сложным образом — они подобны цепочке букв, выбранных из алфавита. Такие вариации могут служить, по определению ученого, «программным кодом», способным породить целый организм.

«Различие в структуре, — рассуждал Шрёдингер, — здесь такое же, как между обычными обоями, на которых один и тот же рисунок повторяется с правильной периодичностью все снова и снова, и шедевром вышивки, скажем, рафаэлевским гобеленом, который дает не скучное повторение, но сложный, последовательный и полный значения рисунок, начертанный великим мастером».

Размышления Шрёдингера по поводу энтропии и программных кодов не напугали слушателей; его лекции снискали огромную популярность — столь огромную, что ему пришлось повторить весь курс на бис. Молва о сенсационных идеях австрийского исследователя продолжала распространяться, и один из издателей предложил Шрёдингеру изложить их в небольшой книжке. Брошюра «Что такое жизнь?» стала бестселлером следующего года. Она не только заинтересовала широкую публику, но и задала курс развитию науки. Через девять лет после публикации брошюры два ее читателя обнаружат, что «апериодический кристалл» Шрёдингера не просто предположение, а реальная молекула — ДНК, обитающая в каждой нашей клетке.

Одним из этих читателей был английский физик Фрэнсис Крик¹⁰. Родившийся в 1916 г. в провинциальной Англии в семье выходцев из среднего класса, Крик уже в отрочестве разочаро-

вался в религии и обратился к науке, чтобы познавать окружающий мир. Тайны, которые еще лишь предстоит раскрыть, писал он впоследствии, «легко превращаются в заповедник для религиозных суеверий»^{*11}. Крик решил изучать физику в Лондонском университетском колледже, но не впечатлил своих преподавателей. В аспирантуре ему поручили измерять вязкость воды, о чем он отзывался как о «самом унылом задании, какое только можно себе вообразить»¹².

В годы Второй мировой войны Крик служил в Научно-исследовательской лаборатории британских ВМС, где разрабатывал подводные мины для потопления нацистских кораблей. Когда война закончилась, ему не захотелось возвращаться к теме вязкости воды. Не желал Крик и оставаться конструктором военной техники. Он жаждал чего-то большего. Однажды ему случилось прочесть о недавно открытых антибиотиках, и мысль, что эти молекулы могут спасти людям жизнь, взбудоражила его. Крик рассказывал о них своим друзьям с таким воодушевлением, что сам поразился своему энтузиазму. Исследователь задумался, а не сможет ли он в 30 лет радикально сменить род занятий и стать биологом.

Как раз примерно в это время Крик и прочел «Что такое жизнь?». Шрёдингер внушил сомневавшемуся англичанину уверенность, что переход к биологии не столь радикален, как сперва может показаться. Жизнь была всего лишь частью окружающего мира, которую физике еще предстояло объяснить. Крик решил, что не станет ограничиваться исключительно антибиотиками или какой-либо одной органической молекулой. Скорее, его привлекало то, что он называл «границей между живым и неживым»¹³.

В этом направлении Крика подтолкнуло и неприятие религиозных суеверий. Его с мальчишеских лет пренебрежительное отношение к церкви продолжало сохраняться и в зрелом возрасте. Он свысока смотрел на интеллектуалов, утверждавших, что жизнь всегда будет сопротивляться сведению ее к простым механизмам. Для Крика это были лишь пережитки витализма. Но Анри

* Из книги «Что за безумное стремленье!». — *Прим. пер.*

Бергсон оставался популярен даже после Второй мировой войны. В те же годы теорией, согласно которой молекулы исполнены целесообразности, породившей сначала жизнь, а в конечном итоге и сознание, прославился богослов и палеонтолог Пьер Тейяр де Шарден. В Англии бездушную картину мира современной науки отвергал писатель Клайв Льюис, он выражал надежду, что подобному видению придет на смену такое изучение природы, которое не станет разрушать красоту жизни. «В своих описаниях оно не будет отделяться разрозненными объяснениями, — писал Льюис в 1943 г. — Говоря о частях, оно будет помнить о целом»¹⁴.

Однако единственный способ понять целое — это начать с частей, полагал Крик. Он устроился в Кавендишскую лабораторию, ту самую, где за 40 лет до него Джон Батлер Бёрк провалился с радиобами. Со своим увлечением живой природой на заре XX столетия тот смотрелся в лаборатории одиноким чудаком. Все его коллеги занимались изучением электронов, радиоактивности и других неживых объектов и явлений. Однако к 1940-м гг. физики Кавендишской лаборатории, вооружившись своим профессиональным опытом, начали разбираться в биологических молекулах.

Чтобы определить строение компонентов жизни, ученые заставляли биомолекулы собираться в кристаллы. Затем они бомбардировали их рентгеновскими лучами, а те отражались от кристаллов и попадали на фотопластинки. Туманные пятна и кривые, проявлявшиеся на снимках, указывали на повторяющуюся структуру таких образований. И после этого сотрудники лаборатории могли использовать математические расчеты, чтобы по следам на снимках определять форму молекул. Они начали с простого — с витаминов и других небольших соединений, а затем решили ответить на вызов, который бросили им белки, представлявшие собой устрашающе гигантские клубки аминокислотных цепочек.

По структуре можно было в принципе понять, как белки работают и какие функции выполняют. Биохимики были уже отчасти знакомы с ферментами, ускоряющими химические реакции. Другие белки вроде бы играли сигнальную роль, третьи сцеплялись и могли служить кирпичиками, из которых складывалось здание организма. В 1940-е гг. многие биологи предполагали, что гены состоят из белков, собранных в хромосомах.

Поступив в Кавендишскую лабораторию, Крик тут же поразил сотрудников своей сверхъестественной способностью мысленно прозревать извивы и складки белковых молекул и угадывать, как будет выглядеть их рентгеновское изображение. Но вскоре после начала этой работы он отвлекся на другое. Ряд экспериментов рубежа 1940–1950-х гг. показал, что белки все-таки не являются носителями наследственной информации. Ее основой оказалась ДНК — разновидность нуклеиновой кислоты, содержащаяся в хромосомных сплетениях.

В то время о строении ДНК было мало что известно. И Крик погружался в размышления о том, какой формы должна быть эта молекула, чтобы получить свойства аperiodического кристалла Шрёдингера. Руководство Кавендишской лаборатории не поощряло подобных мыслительных грез, но в 1951 г. исследователь познакомился с приехавшим в Кембридж молодым американцем Джеймсом Уотсоном, тоже поклонником книги «Что такое жизнь?». И тот был счастлив часами беседовать с Криком о ДНК.

Однако на разговорах далеко не уедешь. Если ДНК представляла собой программный код жизни, нужно было знать, как в ней хранятся гены. Крик и Уотсон знали, что в Лондоне есть коллектив ученых, который пытается сделать первые качественные снимки кристаллов ДНК. Под руководством Розалинд Франклин они аккуратно и методично выделяли молекулы, облучали их рентгеном под разными углами и рассматривали получавшиеся снимки.

Франклин категорически не нравилась нетерпеливость этой парочки. Как-то раз она даже выгнала Уотсона из лаборатории, иначе не могла продолжить свою работу. Когда Крик с Уотсоном попытались построить модель, опираясь на несколько предварительных снимков, она приехала в Кембридж и объяснила исследователям, что у них всё неверно. Впоследствии без ведома Розалинд Крик и Уотсон ознакомились с кое-какими ее неопубликованными результатами. Этих данных им наконец хватило, чтобы представить новую структуру, которая, по их мнению, соответствовала тому, что было известно науке о химических свойствах ДНК, и даже объясняла, как ДНК может служить веществом наследственности.

На фоне белков с их безумными петлями и переплетениями молекула ДНК была проста и изящна. Крик и Уотсон догада-

лись, что ДНК состоит из пары спиральных остовов, соединенных друг с другом перекладинами. Все перекладины образуются парами молекул, которые называются нуклеотидными основаниями. Основания бывают четырех типов, и на каждой перекладине с обеих сторон сидит одно из них. Каждый ген, состоящий из тысяч пар оснований, представляет собой уникальную последовательность этих четырех типов.

«Теперь мы уверены, что ДНК — это код, — писал Крик в 1953 г. своему 12-летнему сыну Майклу. — То есть один ген от другого отличается именно порядком оснований (букв), подобно тому, как одна печатная страница отличается от другой»¹⁵.

Модель Крика и Уотсона также продемонстрировала, каким образом живые существа сохраняют в своих генах этот порядок. Когда клетка копирует находящуюся в ней ДНК, она разделяет два остова таким образом, что на каждом остаются торчать основания в их исходной последовательности. Так как каждому типу основания может стать в пару лишь определенный другой тип основания, то вторая цепочка достраивается по этой матрице и получаются две новые точные копии старой последовательности.

В тот день, когда Крик и Уотсон осознали, что вычислили строение ДНК, они отправились в ближайший паб отмечать свой прорыв. Крик вопил, что они «раскрыли тайну жизни». Это был клич победы в его сражении с виталистами.

Совместно с Франклин и другими коллегами они зафиксировали свои результаты, и 25 апреля 1953 г. в журнале *Nature* вышла серия статей, где описывалась модель двойной спирали и излагались данные, ее доказывающие. Когда газета *The New York Times* брала у Крика интервью, тот сообщил, будто на данный момент «просто нутром чувствует, что это правильно»¹⁶.

В августе Крик послал оттиски публикаций в Дублин Шрёдингеру с коротким примечанием: «Смотрите сами: судя по всему, ваш термин “апериодический кристалл” приходится как нельзя кстати»¹⁷.

ДНК не сразу стала эмблемой жизни, в роли которой она выступает в наши дни. Она получила некоторую известность, когда 1962 г. Крик и Уотсон разделили Нобелевскую премию (Фран-

клин нельзя было номинировать на нее, поскольку исследовательница умерла в 1958 г.). Но в массовую культуру эта молекула проникла лишь после того, как в 1968 г. Уотсон издал ставшую бестселлером книгу «Двойная спираль» (*The Double Helix*), где описал историю ее открытия. На страницах книги была помещена фотография Уотсона и Крика, сделанная вскоре после выхода их статьи в *Nature*.

Двое ученых сфотографированы у себя в Кавендишской лаборатории позирующими на фоне модели двойной спирали в человеческий рост, которую они соорудили из палок, пластинок и винтов. На изображении Уотсон смотрит на Крика, указывающего логарифмической линейкой на один из витков молекулярного остова. Эта фотография стала символом поворотного момента в современных представлениях о жизни. Один историк даже поместил ее в ряд важнейших фотографий⁸, посвященных науке XX в., наряду с портретом Эйнштейна и снимком ядерного гриба.

Но иконы неизбежно искажают историю. Хотя бы потому, что на фотографии нет Розалинд Франклин. А кроме того, это изображение сослужило дурную службу памяти о Крике. Она приклеила его имя к двойной спирали, как будто это единственное достижение ученого. Но дальнейшая работа Крика оказалась не менее значимой: он примкнул к международному коллективу ученых, выяснявших те правила, по которым клетки транслируют генетическую информацию в структуру белков. Эти правила получили название генетического кода. Но нет фотографии, где Крик указывал бы линейкой на генетический код. Однако это его достижение, вероятно, столь же важно, как и открытие двойной спирали.

Для Крика было очевидным, что гены и белки записываются разными алфавитами. ДНК состоит из четырех различных оснований. Белки же собраны из двух десятков различных аминокислот. Создав РНК-копию гена, наши клетки «скармливают» ее фабрике, синтезирующей белок, — рибосоме. Крик и его коллеги установили, что рибосома считывает по три основания за раз, чтобы определить, какую именно аминокислоту присоединить к белку. Если одно из этих оснований меняется в результате мутации, то клетка может синтезировать белок, в котором на этой позиции будет другая аминокислота.

Генетический код не просто отвечал внутреннему чутью Крика, он воплощал торжество его научного подхода к жизни. «Это в некотором смысле ключ к молекулярной биологии, — заявил он. — После такого скептикам будет трудно отвергать фундаментальные модели молекулярной биологии, над которыми мы бьемся вот уже столько лет»¹⁹.

Но у Крика не сложилось стать великодушным победителем. К его огорчению, открытие генетического кода не убедило виталистов. Напротив, Крик повсюду наблюдал подъем витализма. Однажды он услышал от некоего кембриджского священника, что ДНК может служить доказательством экстрасенсорного восприятия. С ужасом Крик прочитал о желании принстонского физика Вальтера Эльзассера (который прославился тем, что установил, каким образом Земля генерирует магнитное поле) попробовать себя в области биологии. В 1958 г. Эльзассер заявил о своем якобы открытии «биотонических явлений», которые «необъяснимы в терминах механического функционирования». Другой ученый писал в *Nature*, что отличие живого от неживого заключается в «биологическом импульсе», который никогда не получит объяснения через атомы и молекулы.

Крик так рассердился, что начал выступать в Кембридже с лекциями, в которых предупреждал об угрозе витализма для цивилизации. Вскоре после этого Вашингтонский университет пригласил его в Сиэтл прочесть серию лекций о влиянии науки и философии на «человеческое восприятие рациональной вселенной». Крик использовал эту возможность для громкого выпада против своих врагов. Он озаглавил свои лекции «Витализм умер?» (*Is Vitalism Dead?*)²⁰.

В Сиэтле Крик засыпал аудиторию рассказами о головокружительных достижениях науки, в которых были и его собственные заслуги, — о том, как разобрались в наследственности, генетическом коде, работе клетки. Несмотря на полученные данные, сетовал он, витализм все еще держит позиции. В такой его стойкости, по мнению Крика, повинна наша склонность к суевериям. Единственным пришедшим на ум исследователю способом решить эту проблему было контролирование школьного образования. В качестве противоядия от иллюзий, подпитываемых гуманитарными

науками, все школьники должны будут получать большие дозы естественно-научных предметов. Старая культура словесности, по утверждению Крика, была «несомненно, вымирающей», и ее следовало вытеснить новой культурой, основанной на «естественных науках в целом и естественном отборе в частности».

Исследователь завершил свой цикл лекций в Сиэтле суровым предупреждением: «Итак, тем из вас, кто является сторонником витализма, даю вот такое пророчество: во что вчера верили все, а сегодня верите вы, завтра будут верить только психи».

Каким бы одаренным ученым ни был Крик, полемистом он оказался неумелым. Когда в 1966 г. его лекции были опубликованы в виде книги «О молекулах и людях» (*Of Molecules and Men*)*, один рецензент назвал ее «ужасающей смесью наивности и фанатизма».

Книга получилась настолько плохой, что многие ученые — собраты Крика оказались в числе самых строгих ее критиков. Витализм был предан научному забвению еще в 1930-е гг. Эмбриолог Конрад Уоддингтон задавался вопросом, не пытается ли Крик «стегать мертвую лошадь»²¹. Выдающийся нейрофизиолог сэр Джон Экклз²² положительно отзывался о тех фрагментах лекций, где Крик описывал новую научную дисциплину — молекулярную биологию, но отвергал его наукоцентричное представление об обществе как «догматическую религиозную декларацию». Кроме того, Экклз порицал Крика за вульгарное отнесение к витализму всего, что было вне молекул и атомов.

«В биологии, — пояснял Экклз, — есть новые эмерджентные качества, не выводимые из химии, равно как и химия не выводится из физики».

Крику не суждено было одолеть своих виталистов. Отчасти проблема состояла в том, что этим штампом он размашисто клеймил всех, кто не разделял его взгляд на мир, — разномастное собрание литераторов, любителей паранормальных явлений и даже некоторых профессиональных ученых. Но дело было также и в его собственных исследованиях ДНК и генетического кода.

* Аллюзия на заглавие известного романа Дж. Стейнбека «О мышках и людях» (*Of Mice and Men*). — *Прим. пер.*

Сколь бы значительными они ни оказались, многие существенные вопросы о живом и неживом остались без ответов. В 2000 г., за четыре года до смерти исследователя, трое ведущих биологов опубликовали обзор, который озаглавили «Молекулярный витализм» (Molecular Vitalism). Авторы доказывали, что упрощенный, механистический взгляд на жизнь, согласно которому ДНК представляет собой некую инструкцию, не обладает достаточной объяснительной силой для понимания важнейших свойств живого: например, способности клетки сохранять стабильность в мире, где все нестабильно, или гарантированного развития сложной анатомии у эмбриона. Обозревая панораму геноцентрической биологии на заре нового тысячелетия, они выразили сомнение, что геноцентризм «убедит виталиста XIX в., что природа жизни постигнута»²³.

С возрастом Крик стал позволять себе такие размышления о жизни, на которые редко отваживается молодой ученый. Он задумался об инопланетянах. Возможно, они похожи на нас. Возможно, в первую очередь именно они занесли на Землю жизнь. Или же, напротив, инопланетяне отличаются по своим внутренним химическим процессам от известной нам жизни. Возможно, они обитают на газовой планете или внутри звезды. И пусть даже инопланетная жизнь совсем другая — Крик предполагал, что она все же может оказаться во многом похожей на земную. Существовало нечто такое, что исследователь называл «общей природой живого».

Эту общую природу Крик бегло обрисовал в 1981 г. «Система должна обладать способностью напрямую воспроизводить собственные инструкции и опосредованно — все механизмы, необходимые для их выполнения, — писал он в своей книге «Жизнь как она есть» (Life Itself). — Воспроизводство наследственного материала обязано быть весьма точным, а мутации — ошибки, которые могут быть точно скопированы, — должны случаться с довольно низкой частотой. Ген и его “продукт” должны быть относительно тесно связаны. Система должна быть открытой и получать приток сырья, а также в той или иной форме приток свободной энергии»²⁴.

Всего лишь полвека прошло с тех пор, как Макс Дельбрюк рассуждал о тайнах жизни на своих полуподпольных берлинских собраниях. Теперь его внуки по разуму думали о ней преимущественно

в категориях генов — как о способности тех кодировать необходимые для самовоспроизводства молекулы и двигать эволюцию. Исследования Крика глубоко повлияли на научное понимание природы жизни. Например, на конференции, организованной NASA в 1992 г., это влияние ощущалось все время — там обсуждали, как в принципе подойти к изучению вероятной жизни на других планетах.

Один из участников конференции, Джеральд Джойс, впоследствии рассказывал мне о ней. «Мы обсуждали поиски жизни и происхождение жизни, — вспоминал он, — и кто-то сказал: “А может быть, стоит вначале дать определение тому, о чем мы говорим?”»²⁵

Ученые принялись сыпать идеями, одни из которых тут же отбрасывали, другие же объединяли. Разговор начался на заседании и продолжился на банкете. Группа ученых из NASA полагала, что главное — это метаболизм, но в первую очередь потому, что он обеспечивает материал и энергию для получения новых копий генов. Однако жизнь копирует гены не идеально. Только при условии возникновения ошибок и запускается эволюция, позволяющая живому приспосабливаться и принимать новые формы, которые затем передаются следующим поколениям. «В молекулах записывается история с самого ее начала, — говорил мне потом Джойс. — Вот чем биология отличается от химии».

К завершению банкета ученые обобщили свои размышления в восьми словах:

«Жизнь — самоподдерживающаяся химическая система, способная к дарвиновской эволюции»²⁶.

Чеканная, краткая и запоминающаяся, их формулировка прижилась. Ее стали называть попросту «определение жизни по NASA», как будто космическое агентство поставило на нее официальную печать одобрения. На научных конференциях ученые показывали эти восемь слов в своих презентациях. Фраза попала в учебники. Студентам, читавшим определение, было простительно думать, что вопрос решен.

Но до этого было далеко. К определению жизни по NASA, равно как и к предшествующим ее определениям, не прилагались списки того, что следует считать живым или неживым. А когда ученые обращались к реальным объектам, с которыми мы соседствуем в этом мире, консенсуса уже не складывалось.

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ВОЗВРАЩЕНИЕ В ПОГРАНИЧЬЕ

ПОЛУЖИЗНЬ

Мистер Бёрк не готов положительно утверждать, что эти организмы живые. Они, возможно, *полуживые*¹.

Весной 2020 г. по улицам Сан-Франциско среди бела дня бродили койоты. В прибрежных водах Гонконга резвились стаи розовых дельфинов. В один уэльский городок вторглось стадо горных коз, а по городскому парку Тель-Авива разгуливали шакалы. В Венеции бакланы ныряли за рыбой во внезапно очистившиеся каналы, а по бульвару Лас-Вегас канадские гуси водили своих гусят мимо закрытых магазинов, где продавались ручки Montblanc и сумочки от Fendi.

Живое непривычно расширяло свои владения за счет отступления нашего вида. Миллиарды людей на месяцы ушли на карантин — ученые окрестили этот период антропопаузой². Для тех, кому повезло, главной проблемой этого периода стала скука. Тех, кому не повезло, поджидали безработица, недоедание и другие бедствия. Тех же, кому не повезло больше всех, — болезнь. Их тела горели от жара и сотрясались от судорожного кашля. Некоторых больных по ночам знобило так, что на зубах от лихорадочной дробы появлялись сколы. Четверо из пяти заболевших выздоравливали дома. Пятый же попадал в больницу. У иных легкие превращались в воспаленные гнойные руины. Сотни тысяч умерли*. На острове Харт** в Нью-Йорке экс-

* Приведены данные по США. — *Прим. ред.*

** Этот остров был куплен властями Нью-Йорка в 1868 г. в основном как место для массовых захоронений. — *Прим. ред.*

каваторами рыли траншеи, чтобы справиться с немислимым количеством гробов.

Эта новая пневмония впервые дала о себе знать в конце 2019 г. в китайском городе Ухане. За несколько недель китайские ученые установили, что между всеми случаями этого заболевания протягивается микронитью особая связь — вирус, которому дали название SARS-CoV-2³. Вирусологи проанализировали гены этого вируса и частично реконструировали его записанную в мутациях историю. Подобно ряду других опасных вирусов последнего десятилетия, SARS-CoV-2 распространился от летучих мышей. И аналогичным образом выработал адаптации, позволившие ему теперь успешно приживаться уже в человеческом организме.

Достаточно было кашлянуть или, скажем, запеть, чтобы выпустить в окружающий воздух аэрозольные капельки с вирусами, которые тут же вдыхал человек, оказавшийся неподалеку от вас в автобусе, за обеденным столом, в церкви. Попав в очередной нос, вирус мог заразить очередного хозяина. Этот злодей утыкан белковыми шипиками, которые цепляются за определенные белки клеток дыхательных путей. Оболочка вируса сливается с оболочкой клетки, к которой он прицепился, и в результате вирусные гены оказываются внутри. В них для записи белковых последовательностей используется тот же генетический код, что и во всех наших клетках. В результате клетка считывала вирусные гены и синтезировала вирусные белки как свои родные. Теперь клетки заполнялись вирусными белками, которые блокировали их нормальную работу и вынуждали производить новые вирусы, а также создавали всё новые копии вирусных генов, которые затем укладывались в новые оболочки с белковыми шипиками. Эти свежие вирусы собирались в пузырьки, которые мигрировали к оболочке пораженной клетки и изливались наружу, выпуская в дыхательные пути миллионы «потомков».

У большинства людей иммунная система узнавала о вторжении, когда вирусы только осваивались в их носу. Она строила оборону, обучаясь прицельно атаковать вирус антителами, которые могли помешать ему заразить следующие клетки. Но у врага были собственные коварные уловки, закодированные в генах. Он мог отключать систему оповещения внутри пораженных им клеток.

У некоторых больных он размножался бесконтрольно, спускаясь в легкие. Иммунная система утрачивала свою хирургическую точность, скатываясь до грубой силы и разбрасывая токсичные соединения во всех направлениях. Жертвы вируса медленно тонули в океане, который был произведен их собственным организмом.

Если бы SARS-CoV-2 всегда поражал своих жертв быстро и тяжело, не исключено, что бороться с ним было бы проще. Заболевшего человека можно, к примеру, поместить в карантинную палату. Но, прежде чем проявить первые симптомы, SARS-CoV-2 таился внутри своих носителей по нескольку дней. Люди жили повседневной жизнью, не подозревая о том, что внутри у них размножаются вирусы, или о том, что выдыхают тучи заразы. Они спокойно обедали в кафе и ресторанах, работали в кол-центрах, облакачивались на поручни круизных лайнеров, бороздивших Тихий океан. Заразив окружающих, некоторые носители вируса в конце концов заболевали. А другие — нет.

Люди, не знаящие о том, что инфицированы, разнесли COVID-19 из Уханя. Кто-то поехал в другие районы Китая, чтобы отпраздновать с родственниками Новый год по лунному календарю. С пассажирами самолетов инфекция попала в Европу, а оттуда на другие континенты. Размножаясь, вирус мутировал, и появлялись новые штаммы с иными генетическими прописями. По мутациям ученые реконструировали их путешествия от государства к государству, от города к городу. Некоторые страны справлялись с пандемией хорошо, многие же — из-за гнета бедности или в силу самонадеянности высокого уровня жизни — испили чашу бедствий сполна.

Трудно найти другой пример столь молниеносного и тяжелого нокаута для человечества. Трудно найти и пример более успешного размножения: с помощью нашего вида вирус произвел квадриллионы собственных копий за считанные месяцы.

И тем не менее, несмотря на все это, многие ученые скажут, что SARS-CoV-2 неживой. Он не заслуживает допуска в элитарный клуб под названием Жизнь.

Тысячи лет люди были знакомы с вирусами только по смертям и опустошению, которые те несли. Врачи давали вирусным болезням названия — оспа, бешенство, грипп. Рассматривая в XVII в.

с помощью своего микроскопа капельки воды, Антони ван Левенгук обнаружил там бактерии и прочие крошечные чудеса, но вирусы разглядеть не смог, поскольку они гораздо мельче. Когда два столетия спустя исследователи наконец открыли вирусы, они все равно так и не увидели их по-настоящему.

В конце XIX в. небольшая группа европейских ученых изучала заболевание табачных листьев — так называемую табачную мозаику. При ней рост кустиков замедлялся, а листья покрывались пятнами. Растерев пораженный лист с водой, исследователи впрыскивали жидкость в здоровые растения и наблюдали, как те тоже заболевают. Но, пытаясь найти в растворе патоген, ни бактерий, ни грибков ученые не обнаруживали⁴. Похоже, это было нечто совершенно иное.

Голландский исследователь Мартин Бейеринк процедил растертые листья пораженного табачного куста сквозь керамический фильтр. Его поры были слишком мелкими, чтобы сквозь них проскользнула бактерия. Получилась прозрачная жидкость. Но все равно оказалось, что заболевание передается очередному растению. Бейеринк заключил, что в табачных кустах размножается какой-то невидимый агент. В 1898 г. он назвал его «вирус», используя древнее слово, обозначающее яд.

Впоследствии специалисты отыскивали вирусы, вызывающие бешенство, грипп, полиомиелит и многие другие страшные заболевания. Некоторые действовали только на определенные виды животных, другие же — только на растения. Биологи открыли фаги — вирусы, поражающие исключительно бактерии. Первым вирусом в истории, который удалось рассмотреть, стал именно фаг.

В 1930-е гг. инженеры сконструировали электронные микроскопы, достаточно мощные для того, чтобы в поле зрения попал мир вирусов. Изобретение позволило увидеть фаги, сидящие на бактерии-хозяине. Те фаги походили на кристаллы, установленные на проволочных ножках. Другие вирусы оказались похожими на змей, третьи — на футбольные мячи. SARS-CoV-2 относится к коронавирусам, названным так из-за белкового гало, «украшающего» их поверхность. Такое гало напомнило вирусологам корону из газовых струй, которая становится видна во время солнечного затмения.

Биохимики разобрали вирусы на молекулярные составляющие. Начали с открытого Бейеринком вируса табачной мозаики, который, как оказалось, содержит белки, построенные из того же набора аминокислот, что и у нас. Но среди этих белков биохимики не обнаружили ни одного фермента из тех, которые наши клетки используют для метаболизма. Вирусы не питаются и не растут. Старые не производят новые, по крайней мере напрямую. Вирус — это просто перепакованный набор атомов самого вирусоносителя.

Для биологов, искавших определение жизни, эти объекты стали головной болью. Исследователи не могли отмахнуться от вирусов, ведь те явно обладали некоторыми признаками живого. Но не всеми. Как было бы удобно, если бы они оказались фантомами вроде батибиуса или радиобов! Но чем больше ученые занимались вирусами, тем сильнее убеждались в их реальности и тем более загадочной представляла их природа.

«Если спросят, жива или мертва проходящая через фильтр частица — вирус, — писал в 1937 г. британский вирусолог Норман Пири, — вот единственный разумный ответ: “Не знаю; мы знаем много всего, что он умеет, и еще много всего, чего он не умеет, и если какая-нибудь комиссия даст определение понятию живого, тогда я попытаюсь проверить, подходит ли он под это определение”»⁵.

Пири и его собратья-вирусологи продолжали открывать основные свойства вирусов⁶. Внутри их белковых оболочек и жировых мембран заключена группа генов, скрепленных вместе определенными белками. Но у них совсем нет собственной АТФ, которая давала бы энергию для химических реакций. Снаружи вирусы покрыты лохматой шубой белков в сахарной глазури. Эти белки, как правило, точно пристыковываются к белкам на поверхности клеток. Стыковка — первый этап вирусной инфекции, и для «успеха» она должна быть точной, как у ключа с замком. Это одна из причин, по которым вирусы столь избирательны по части поражаемых видов и способны влиять лишь на одни типы клеток, но не на другие.

Как только вирус садится на клетку, ее оболочка расступается и ценный груз генов — собственность вируса — попадает внутрь.

Если суть жизни заключается в тиражировании генов, то вирусы должны определенно считаться живыми. Гены некоторых из них закодированы в ДНК с использованием того же четырехбуквенного алфавита, которым записана и наша собственная наследственность. Пораженная клетка прочтет эту вирусную ДНК и синтезирует молекулы РНК, на основе которых затем будет производить белки для чужака-оккупанта.

Но Пири и другие вирусологи обнаружили, что многие вирусы упростили этот порядок процессов. В 1930-е гг. британский исследователь получил данные, указывавшие, что гены вируса табачной мозаики состоят не из ДНК, а из РНК. Дальнейшие исследования показали, что и у многих других гены построены из РНК, в том числе у SARS-CoV-2. Когда РНК-вирусы внедряются в клетку, их гены транслируются напрямую в белки. Вот таким исключительно эффективным способом вирусы заставляют нас болеть в своих собственных вирусных интересах. Но при том лишь они изобрели столь специфический вариант биохимии.

Какова бы ни была основа генетического кода вирусов — ДНК или РНК, они способны обходиться удивительно малым числом генов. У нас примерно 20 000 белок-кодирующих генов. SARS-CoV-2 сумел обрушить мировую экономику, располагая всего 29. Всякий раз, когда он внедряется в клетку чьих-то дыхательных путей, миллионы вновь возникших вирусов несут этот набор из 29 генов. Обычно все копии их идентичны. Но некоторые содержат ошибки.

Вирусы мутируют, подобно более привычным формам жизни. Мало того — они мутируют гораздо быстрее, чем человек, растения и даже бактерии. Наши клетки содержат молекулярный штат корректоров, вычитывающих новые последовательности ДНК и возвращающих большинство ошибок на исправление. Львиная же доля вирусов не умеют исправлять ошибки. SARS-CoV-2 и другие коронавирусы отличаются тем, что у них есть ген примитивного белка-корректора. Но, хотя скорость их мутирования не столь велика, как у других вирусов, они все же накапливают мутации в тысячи раз быстрее, чем мы.

Иногда эти новые мутации дают определенному вирусу конкурентное преимущество перед другими. Они могут ускорить его

воспроизводство. Они могут сделать мутантный вирус невидимым для радара иммунной системы. Таким вирусам будет благоприятствовать естественный отбор.

Иными словами, современные исследования вирусов показывают, что те обладают еще одним признаком живого: они эволюционируют. Они могут выработать сопротивляемость противовирусным препаратам. Они могут приспособиться к новому виду-хозяину. В определении жизни по NASA эволюция признака среди важнейших критериев, и все же Джеральд Джойс, один из его авторов, счел, что способность вируса эволюционировать не может перевесить того факта, что он не является самоподдерживающейся химической системой. Вирусы получают все необходимое из химической системы клетки, и только внутри нее они способны эволюционировать.

«Если исходить из рабочего определения, вирус не проходит конкурс»⁷, — заявил Джойс в интервью журналу *Astrobiology Magazine*.

Впрочем, у вирусов нашлись и защитники. Еще в 2011 г. французский ученый Патрик Фортер выдвинул ряд доводов в пользу того, что они живые. По крайней мере, в определенное время, говорит он. Для Фортера клетка — фундаментальный признак живого. И когда в нее вторгается вирус, она, по сути, становится продолжением вирусных генов. Исследователь называет ее вироклеткой. «Мечта нормальной клетки — произвести на свет две клетки, мечта вироклетки — произвести сто и более новых вироклеток»⁸, — писал он в 2016 г.

Фортеру не удалось убедить большую часть собратьев-вирусологов. Пурификасьон Лопес-Гарсиа и Давид Морейра назвали его довод «чуждым логике»⁹. Другие отметили вироклетку как своего рода поэтическую вольность. Вирусы не живут и уж тем более не мечтают. И когда международная комиссия по их таксономии приняла современную систему классификации, она однозначно заявила, что «вирусы не являются живыми организмами». «Они живут только заемной жизнью», — пояснил один из членов комиссии.

Странно, что люди выталкивают вирусы из дома жизни, оставляя их мыкаться у порога. За порогом — ужасная давка. В литре

морской воды вирусов больше, чем людей на всей планете¹⁰. Как и в ложке грязи¹¹. Если бы мы могли сосчитать все вирусы на Земле, численностью они бы превзошли все формы клеточной жизни, вместе взятые, наверное, десятикратно.

Разнообразие вирусов тоже колоссально¹². По оценкам некоторых исследователей, на планете могут обитать триллионы их форм. Когда специалисты открывают новые вирусы, часто это представители крупного таксона, неизвестного прежде. У орнитологов есть законный повод радоваться, когда они обнаруживают новый вид птиц. А представьте себе, каково это — открыть птиц вообще! У вирусологов примерно так и происходит.

Можно ли изгнать все это биологическое разнообразие за рамки жизни? Ведь изгнание вирусов, помимо прочего, означает, что мы отказываемся рассматривать их тесную связь с экологической сетью жизни. Они соперничают с хищниками по кровожадности, уничтожая коралловый риф или изводя синегнойную палочку в легких. Со многими же хозяевами вирусы поддерживают вполне мирные отношения. Наш здоровый организм — обиталище триллионов вирусов, которые в совокупности называются «виром». Большинство из них поражают бактерий, грибы и других одноклеточных представителей нашего микробиома. Некоторые исследования указывают на то, что виром человека поддерживает равновесие его микробиома и вносит вклад в благополучие человечества.

У Земли есть собственный виром, действующий как геохимическая сила. Моргните — и за этот миг 10 млрд трлн фагов в океане¹³ успеют поразить морских бактерий. Многие из них убивают микробов-хозяев, ежегодно выбрасывая в воду около 3 Гт органического углерода и стимулируя рост новой жизни. Иные фаги более милосердны: они пробираются внутрь своего хозяина и позволяют ему некоторое время пожить. А некоторые даже приносят с собой полезные для хозяев гены. Существуют фаги, которые дрейфуют в океане, имея в запасе гены фотосинтеза. Инфицированные ими микроорганизмы лучше усваивают солнечный свет. Кислородом, которым мы дышим, мы отчасти обязаны этим вирусам.

Вышеупомянутые фаги приобрели гены усвоения света воровским путем. Когда их предки поражали другие фотосинтезирую-

щие микроорганизмы, они при репликации случайно присоединяли хозяйские гены к собственным. Но вирусы также способны дарить геномам хозяев новые гены. Бактерии, например, могут приобрести резистентность к антибиотикам благодаря заражению вирусом. Наш собственный геном содержит десятки тысяч вирусных фрагментов, составляющих до 8% нашей ДНК. Некоторые из этих фрагментов превратились в гены и генные переключатели. Если вирусы неживые, значит, в нас зашито неживое.

Вирусы — не единственные, кто завис на границе жизни. Вспомните о красных кровяных клетках, или эритроцитах, бегущих по сосудам. Без них, точнее, без кислорода, который они переносят от легких по всему организму, вы жить не сможете. Эритроциты покрыты мембранами, подобно бактериям и слизевикам, а также другим клеткам. Внутри них полно сложных ферментов и других белков. Красные кровяные клетки даже стареют и умирают. «Продолжительность жизни эритроцита составляет порядка 100–120 дней»¹⁴, — сообщал коллектив исследователей в одном обзоре 2008 г. Но ведь то, что обладает «продолжительностью жизни», живое, так?

И тем не менее по многим критериям эритроциты не живые. У них особый путь развития, не такой, как у других клеток нашего организма. Они возникают из клеток-предшественниц в нашем костном мозге и затем высвобождаются в кровоток. С собой красные кровяные клетки несут гемоглобин и другие белки, необходимые для переноса кислорода. Однако они не содержат ДНК. Поэтому зрелый эритроцит не располагает набором генетических рецептов для синтеза собственных белков и клеточного деления.

Эти клетки отличаются от других и еще в одном важном отношении: они не способны самостоятельно вырабатывать энергию, так как у них нет энергогенераторов. Другие клетки содержат десятки свободно плавающих мешочков с ферментами — митохондрий. И оказывается, митохондрии тоже одна из форм полужизни. У каждой из них 37 собственных генов, наряду с рибосомами, которые служат им для синтеза соответствующих белков. А время от времени митохондрия размножается таким же способом, как бактерии: образует перетяжку посередине и делит-

ся на две новые митохондрии, у каждой из которых собственная кольцевая ДНК.

Разгадка тайны митохондрий лежит в глубине нашей истории. Два миллиарда лет назад их предки были свободноживущими бактериями. Но их поглотила более крупная клетка, и два вида образовали партнерство. В обмен на АТФ митохондрии получили убежище. Так как им уже не требовалось выживать самостоятельно, митохондрии утратили большинство своих генов, но не все. И подобно своим предкам-бактериям они не потеряли способности делиться.

Просмотрите типичный список критериев живого, и окажется, что митохондрии соответствуют большинству из них — даже большему числу, чем эритроциты. Тем не менее они не способны существовать вне клетки-хозяина. Они не умеют самостоятельно питаться. Они не могут самостоятельно строить ДНК или белки. Безусловно, когда-то митохондрии были живыми существами, но теперь трудно сказать, во что они превратились. Называть их мертвыми ну никак нельзя, так как от них зависит наша собственная жизнь.

Но, может быть, митохондрии и эритроциты настолько малы, что их можно не принимать в расчет? С глаз долой — из сердца вон? Однако некоторые из парадоксов живого доступны невооруженному глазу. В 1948 г. Альберт Сент-Дьёрдьи ловко подметил, что если определять жизнь через самовоспроизводство, то тогда отдельно взятый кролик неживой. Ведь одинокий кролик способен произвести других кроликов. Судя по тому, что самовоспроизводство остается критерием живого, многие ученые проигнорировали замечание Сент-Дьёрдьи. Можно проявить снисходительность и посчитать, что люди, выдвигавшие это определение, решили, что Сент-Дьёрдьи просто играл словами. Неважно, способен ли размножаться один кролик, ведь он принадлежит к виду, представители которого размножаются.

Но природа, как оказалось, умеет вредничать еще сильнее, чем Сент-Дьёрдьи.

В 1920-е гг. супружеская чета натуралистов, Карл и Лаура Хаббс, путешествовала по Мексике и Техасу, отлавливая рыб. Супруги изучали добычу в мельчайших подробностях, вплоть до полос,

крапинок и лучей плавников. Столь любовное, скрупулезное внимание позволило им установить, что многие виды пресноводных рыб появились вследствие гибридизации. Два вида скрещивались, и теперь получившиеся гибриды могут скрещиваться лишь между собой. Однако один из этих гибридных видов — *Poecilia formosa*, родич гуппи — оказался весьма и весьма особенным.

«Среди 2000 обследованных экземпляров из Тамаулипаса и Техаса не встретилось ни одного самца»¹⁵, — сообщали Хаббсы. Они называли этих рыбок моллинезиями-амазонками, но не в честь реки, а по имени воительниц из античной мифологии.

Моллинезии-амазонки появились около 280 000 лет назад при гибридизации двух видов рыб — атлантической моллинезии и парусной моллинезии. Однажды возникнув, новый вид не оставляет своих прародителей. Ныне моллинезии-амазонки всегда обитают бок о бок либо с атлантическими, либо с парусными моллинезиями. Как будто выживание вида зависит от этого соседства.

Чтобы понять смысл этих закономерностей, Хаббсы доставили представителей всех трех видов в свою лабораторию в Мичиганском университете. Они запустили рыбок в аквариумы и предоставили природе взять свое. Самки моллинезий-амазонок спаривались с самцами как атлантических, так и парусных моллинезий. Они откладывали икру, из которой вылуплялись только моллинезии-амазонки. И, в полном соответствии с названием, все потомство амазонок было женского пола.

«Хотя выводки были большими и их было множество, — отметили Хаббсы, — в них не оказалось ни одного самца».

В середине XVIII в. Абраам Трамбле изучал способность самок тлей размножаться без самцов, порождая линию дочерей и внучек. Впоследствии были открыты и другие беспозвоночные, которые могли плодиться подобным девственным образом — партеногенетически. Их яйца самопроизвольно развивались в зародыши, безо всякой нужды в самцовой сперме. А когда прошло два столетия и Хаббсы занялись моллинезиями-амазонками, было обнаружено, что позвоночные тоже бывают партеногенетическими.

Однако, в отличие от тлей, моллинезии-амазонки нуждаются в спаривании с самцами. Как показали дальнейшие эксперимен-

ты, сперматозоиды самцов добираются до яйцеклеток моллинезий-амазонок и сливаются с ними, впрыскивая внутрь свои гены. Но отцовские и материнские гены не собираются в новый геном. Вместо этого ферменты яйцеклетки разрывают ДНК самца, который так и не станет отцом. Все, что нужно этой рыбке от самца — триггер, который заставит ее яйцеклетки развиваться в эмбрионы.

Вот почему моллинезии-амазонки представляют собой проблему для тех, кто хотел бы четко отграничить живое от неживого. Одна моллинезия-амазонка неспособна размножаться. Но и две неспособны. Более того, моллинезии-амазонки как вид не могут дать потомство самостоятельно. Эти рыбки — половые паразиты⁶, в размножении зависимые от других видов. Если живое следует определять через способность вида к самовоспроизводству, тогда эти на первые взгляд заурядные рыбки оказываются на пограничье.

Разумеется, моллинезии-амазонки существуют не совсем уж отдельно от более типичных форм жизни. Они, в конце концов, произошли от других моллинезий, обладающих всеми привычными признаками живого. То же относится и к остальным обитателям пограничья, представителям полужизни, которых мы наблюдаем сейчас. Митохондрии произошли от банальной морской бактерии, которую просто по случайности вобрал в себя наш одноклеточный предок — так началось ее сумеречное существование длиной в 2 млрд лет. Даже родословная вирусов нередко возводится к бродячим фрагментам паразитической ДНК, возникшим в обычных организмах.

Но, если отодвинуться назад во времени еще дальше, примерно на 4 млрд лет, все живое уступит место полуживому, а затем и неживому.

ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТА

Дэвид Димер смотрел в кратер и чувствовал себя так, словно попал в эпоху младенчества Земли. Чтобы добраться сюда, ему понадобилось несколько дней — сначала самолетом из Калифорнии на Аляску, затем через Берингов пролив на восточную оконечность России. В Петропавловске-Камчатском Димер с группой американских и российских ученых погрузился на старый уазик и пять часов ехал до расщелины каньона. Команда вошла в каньон пешком по раскисшей тропе, которая в конце концов привела их по склону на вершину сопки Мутновской — действующего вулкана. Это было в 2004 г. Последний раз Мутновская сопка извергалась в 2000 г.

В свои 65 лет Димер обладал ростом Линкольна и лысиной Эйзенхаэура. Обходя нависшие валуны, он пробирался мимо пепла и застывших потоков лавы. На фоне горизонта были видны торчащие неподалеку пики других вулканов. Поднявшись еще на 600 м, Дэвид и его коллеги оказались у края кратера Мутновской. Здесь, на покрытом черно-серыми породами участке, ничего не росло. Из-под земли с ревом вырывался пар. Димер надел респиратор и спустился в пропасть. Следующие несколько дней коллектив ученых занимался обследованием кратера вулкана и его краев. Исследователи собрали образцы воды и грязи. А затем Димер приступил к эксперименту.

Его лабораторным столом стало поле бурлящих горячих источников с тухлым запахом сероводорода. В качестве экспериментальной реторты Димер выбрал себе лужу размером с небольшую дорожную яму. Вода в ней, кислая, как уксус, была полна взвеси

беловатой глины. Посреди лужи в этой взвеси пробулькивал столбик пузырьков.

Поднимаясь на вулкан, Димер захватил с собой порошок жизни, приготовленный им еще в Калифорнии. В его состав входили четыре нуклеотида РНК и четыре аминокислоты — строительных кирпичика белка: аланин, аспарагиновая кислота, глицин и валин. В качестве завершающей приправы Дэвид добавил в порошок миристиновую кислоту — один из компонентов кокосового масла.

Исследователь опустил в кипящую воду лабораторный стакан и набрал туда литр содержимого. Затем он всыпал в стакан свой порошок, и вода стала напоминать молоко. Когда все как следует перемешалось, Дэвид осторожно наклонился над своей лужей и вылил в нее раствор.

Димер занимался чем-то вроде того, что столетием раньше проделывал Джон Батлер Бёрк. Чтобы разобраться в природе жизни, он проводил опыт — помещал неживые химические соединения в емкость, где они, возможно, обретут некоторые свойства живого¹. Но Бёрк был физиком, мало знавшим о молекулярной основе жизни, а Димер имел за плечами 40 лет опыта современной биохимии. Но даже весь этот опыт не помог ученому предсказать, что же произойдет на вулкане дальше.

Как только Дэвид опорожнил стакан в водоемчик, на дымящейся поверхности воды появилась белая пена. Природа снова удивила его. Димер собрал пену в колбу и взял образцы глины. Они отправятся с ним в лабораторию, чтобы помочь хоть чуточку лучше разобраться с тем, как 4 млрд лет назад возникла жизнь, — возможно, в каком-то месте вроде Мутновской сопки.

«На данный момент попросту бессмысленно размышлять о происхождении жизни; с тем же успехом можно размышлять о происхождении материи»², — писал Чарльз Дарвин в 1863 г. своему другу Джозефу Гукеру.

Чарльз был куда консервативнее своего деда Эразма. Он не хотел публично рассуждать о том, как могла возникнуть жизнь из неживой материи. В «Происхождении видов» он коснулся этого вопроса лишь единожды: «Мы должны допустить, что и все орга-

нические существа, когда-либо существовавшие на земле, могли произойти от одной первобытной формы, [в которую некогда заронилась жизнь]»*.

Дарвину еще придется пожалеть о последних словах. «Заронилась» отдавало библейским сюжетом о творении. Хотя ученый имел в виду всего лишь то, что живые организмы должны были так или иначе возникнуть в отдаленном прошлом. Как именно это произошло, он сказать не мог.

В другом письме Гукеру Дарвин рассуждал о «теплом прудике», который мог послужить сосудом для химических реакций, породивших простейшие организмы. Он так и не поделился этой идеей публично, не говоря уже о том, чтобы развить ее в полноценную теорию. Но своим друзьям признавался, что будет очень рад, если подтвердится зарождение жизни из химических соединений, «ведь это будет открытием исключительнейшего значения»³. Дарвина бы обрадовало не меньше, если бы его опровергли.

«Но я до этого не доживу», — предсказывал он.

Сдержанность Дарвина разочаровывала его учеников. Их герой разработал теорию, позволявшую подступиться к одному из величайших научных вопросов, но подступиться — и остановиться. «Главный недостаток дарвиновской теории, — сетовал Эрнст Геккель, — в том, что она не проливает света на происхождение первобытного организма (вероятно, простейший клетки), от которого произошли все остальные. Когда Дарвин допускает отдельный акт творения для этого первого вида, он нелогичен и, на мой взгляд, не вполне искренен»⁴.

Геккель и другие последователи великого англичанина без колебаний сделали шаг вперед. Они собирали данные о том, как могла зародиться жизнь. Они писали книги, читали сенсационные лекции и спорили с верующими оппонентами, утверждавшими, что только Бог мог сотворить жизнь. Но в движении вдоль границы жизни обнаружилось, что тропа скользкая и опасная. К примеру, Гексли предположил, что открыл раскинувшегося на всю планету батибиуса, однако в итоге оказалось, что его сбила с пути хими-

* Пер. А. Л. Зеликмана под ред. А. Л. Тахтаджяна. Текст, помещенный в квадратные скобки, в русском издании отсутствует. — *Прим. пер.*

ческая ошибка. Джон Батлер Бёрк, вероятно, стал одним из первых, кто попытался воспроизвести зарождение жизни в пробирке. Но, пробыв мировой знаменитостью всего несколько месяцев, он был предан забвению.

Задним числом кажется, что раз ученые настолько мало знали о самой жизни, то глупо было даже начинать думать о ее происхождении. Гексли рассуждал о протоплазме, но говорил о ней в таких терминах, что она представлялась чуть ли не мистическим желе. Когда же дело доходило до наследственности, никто в XIX в. — даже сам Дарвин — не мог ее постигнуть. Само слово «генетика» появилось в 1900 г., когда Гексли уже пять лет как не было в живых. В первые десятилетия XX в. биологи наконец оставили в покое тему спонтанного самозарождения. Они принялись расшифровывать ферменты и отслеживать гены в поколениях мушек-дрозофил⁵.

Советский биохимик Александр Иванович Опарин⁶ пришел к убеждению, что все эти успехи наконец дали возможность осмысленно обсудить происхождение жизни. Теперь наука уверенно отправила витализм в отставку. «Но все многочисленные попытки найти какие-либо специфические, встречающиеся только в организмах “жизненные силы” неизменно кончались полной неудачей»^{*7}, — заключил он.

Для Опарина живые существа мало отличались от остального во Вселенной. Наш организм состоит из углерода, кислорода и прочих элементов, которые можно найти в морских волнах, облаках стратосферы и песчинках. В нем для синтеза новых молекул используются ферменты, но некоторые из этих химических реакций могут происходить и вне живого организма. Живые существа показывают сложные картины роста, но и у кристаллов они тоже бывают. Достаточно вспомнить напоминающие цветы морозные узоры на окнах.

«Своим изяществом, сложностью, красотой и разнообразием эти “ледяные цветы” могут напоминать даже тропическую растительность, а между тем они представляют собой всего лишь

* Цит. по изданию: Опарин А. И. Возникновение жизни на Земле. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. С. 261. — *Прим. ред.*

воду — простейшее из известных соединений»⁸, — говорил Опарин. Неживыми эти ледяные цветы были потому, что у них отсутствовали некоторые другие признаки, обязательные для жизни. «Жизнь определяется не какими-либо особыми свойствами, — заключал Александр Иванович, — но определенной, специфической комбинацией этих свойств».

Подобный взгляд наводил меньше страха на понимание происхождения жизни. Вопрос о том, как появилась жизнь, не так уж отличался от вопроса о появлении Земли. К 1920-м гг. астрономы уже знали, что Солнечная система сформировалась из пылевого диска. Гравитация заставляла пылинки притягиваться друг к другу, сгущаться и сталкиваться, пока они не собрались в планеты. Свежеобразовавшаяся Земля была поначалу шаром из расплавленных минералов. Через миллионы лет она остыла и покрылась твердой корой. Из атмосферы выпала дождями вода и стала океаном. Опарин рассматривал все эти превращения как грандиозный химический эксперимент, в результате которого образовалось множество разнообразных новых химических соединений, способных впоследствии реагировать друг с другом и порождать очередные соединения, а те постепенно накапливали свойства, необходимые для жизни.

Некоторые свои идеи Александр Иванович изложил в небольшой книжке 1924 г.* Она была написана на русском языке, и прочли ее лишь его немногочисленные коллеги — советские ученые. Но прохладный прием не заставил Опарина сойти со своего пути размышлений⁹. Напротив, он проводил опыты и активно читал. Он сплетал воедино новые идеи, почерпнутые из разных наук — от микробиологии до химии, геологии и астрономии, замечая междисциплинарные связи, которые ускользнули от узких специалистов. В 1936 г. Опарин развил эти новые соображения в более пространной книге «Возникновение жизни на Земле»**, которая была переведена на английский и оказалась доступной для гораздо более широкой аудитории.

* Происхождение жизни. — М.: Моск. рабочий, 1924. 71 с. — *Прим. ред.*

** Опарин А. И. Возникновение жизни на Земле. — М.; Л.: Биомедгиз, 1936. 159 с. — *Прим. ред.*

Ученый открыл своим читателям глаза на важное обстоятельство: та Земля, на которой зарождалась жизнь, значительно отличалась от планеты, на которой мы живем сейчас.

Мы дышим воздухом, в котором 21% кислорода. Его молекулы постоянно исчезают из атмосферы, так как легко реагируют с другими соединениями. Планетарный запас кислорода пополняют растения, водоросли и фотосинтезирующие бактерии. До появления жизни атмосфера, вероятно, была почти бескислородной. Александр Иванович понял, что в подобном мире химические реакции должны были протекать совсем иначе, нежели в наше время. И привел аргументы в пользу того, что некоторые из этих реакций дали начало первым кирпичикам жизни.

Опарин предполагал, что пар из вулканов мог реагировать с минералами, образуя углеводороды. Те могли, в свою очередь, проходить через новые реакции, с формированием более сложных соединений. Соединения начали слипаться в капли и захватывать молекулы из окружающей среды. Они производили подобные себе капли и постепенно превратились в известную нам клеточную жизнь.

У советского исследователя не было машины времени, чтобы побывать на юной Земле и проверить, правилен ли его сценарий. Ученым для проверки своих гипотез, их уточнения и переработки еще только предстояло проводить эксперименты и собирать данные о Земле и других планетах.

«Этот путь труден и длинен, — предостерегал Александр Иванович, — но зато он надежно ведет нас к познанию жизни»*.

Опарин был не единственным в 1920-е гг. ученым, кто задумывался о детстве Земли. В 1929 г. упоминавшийся выше Дж. Холдейн¹⁰ опубликовал собственную статью о происхождении жизни. Хотя советский и английский исследователи тогда не знали друг о друге, их мысли шли параллельными путями, обращаясь к тем временам, когда впервые возникли живые организмы. «Полагаю, мы имеем право строить предположения о происхождении жизни на этой планете»¹¹, — писал Холдейн.

* Цит. по изданию: Опарин А. И. Возникновение жизни на Земле. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. С. 265. — *Прим. ред.*

Как и Опарин, он догадывался, что в этих предположениях основную роль должны играть различия между нынешней Землей и новорожденной. Ученый размышлял о воздействии ультрафиолета на воду, углекислый газ и аммиак, в результате которого появились сахара и аминокислоты, накапливавшиеся в океане, пока он не приобрел консистенцию, по выражению Холдейна, «горячего разбавленного бульона».

При всех сходствах рассуждений внимание Опарина и Холдейна было сосредоточено на разных аспектах жизни. Александр Иванович, по сути, рассматривал ее как химическую проблему. Загляните в указатель к «Возникновению жизни на Земле», и вы найдете там множество терминов из области метаболизма — вроде «гидролиза» или «окисления». Но там нет «гена», нет «наследственности».

Холдейн же был в первую очередь генетиком, и для него главный вопрос о происхождении жизни заключался в том, как она начала копировать наследственную информацию. Он считал, что гены возникли на самой заре жизни. Сейчас они окутаны многочисленными слоями белков и мембран внутри наших клеток. Но первые гены должны были представлять собой голые молекулы, строившие копии самих себя из Холдейнова «горячего разбавленного бульона».

Через пару десятков с лишним лет после того, как Холдейн и Опарин выдвинули свои идеи, о них впервые услышал старшекурсник Чикагского университета, представитель уже следующего поколения. Узнав об этих идеях на одном из кафедральных семинаров, Стэнли Миллер был заинтригован, но вместе с тем озадачен: почему никто до сих пор не подтвердил эти идеи экспериментально? Самому Миллеру было неинтересно заниматься опытами; он вообще считал эксперименты пустой тратой времени¹². Он предпочитал высокую теоретическую науку и собирался провести годы аспирантуры, размышляя о том, как звезды синтезируют новые элементы.

Планы эти провалились, когда научный руководитель* Миллера уехал из Чикаго, приняв должность в Калифорнии. Отчаянно

* Речь идет об известном американском физике-теоретике Эдварде Теллере (1908–2003). — *Прим. ред.*

нуждаясь в исследовательском проекте, Стэнли вернулся мыслями к происхождению жизни. Чем больше молодой человек раздумывал о нем, тем менее безумным казался ему эксперимент по проверке идей Опарина. Миллер не собирался создавать радиобов, а тем более настоящую жизнь. Он собирался всего лишь проверить предположение, что химические процессы древней Земли давали начало органическим молекулам.

Семинар, на котором Миллер услышал об Опарине, проводил лауреат Нобелевской премии по химии Гарольд Юри. Миллер отловил нобелиата в его кабинете и предложил тому свой план. Юри ответил, что для аспиранта это неудачная идея, так как из нее, скорее всего, ничего не выйдет. Он пытался склонить Миллера к другим проектам, не столь амбициозным, но более надежным, например к описанию химического состава метеоритов. Но Миллер был непоколебим, и в конце концов Юри сдался. Он дал молодому человеку год на то, чтобы тот похимичил в его лаборатории. Если за год у Миллера ничего не получится, с ним придется попрощаться.

Для опыта Миллер и Юри взялись имитировать условия древней Земли на лабораторном столе. «Тогда мы сконструировали стеклянный аппарат, вмещавший модель океана, атмосферы и конденсатор дождя»¹³, — вспоминал позже Стэнли.

В эту емкость Миллер добавил газы, которые, как считалось, были типичными для древней Земли: водяной пар, метан, аммиак и водород. Энергию для химических реакций в те далекие времена, по предположению Миллера, давали молнии, поэтому он вставил в аппарат электроды, чтобы вызывать искры. После нескольких предварительных проб и уточнений Миллер включил аппарат и оставил его работать всю ночь.

На следующий день раствор превратился в красноватую жижу. Опорожнив сосуд, Миллер обнаружил, что теперь в жиже были аминокислоты — строительные кирпичики белков — наряду со множеством других углеродсодержащих молекул.

Свои результаты Стэнли опубликовал в мае 1953 г., в нежном возрасте 23 лет. «Реакция на статью ошеломила меня», — вспоминал он впоследствии. Как некогда Джона Батлера Бёрка, Миллера осаждали толпы репортеров. Весть о его эксперименте ста-

ла настолько сенсационной, что Институт Гэллапа провел опрос с целью узнать, сколько людей верит в возможность создания жизни в пробирке. Утвердительный ответ дали лишь 9%.

Одним-единственным экспериментом Миллер положил начало новой области науки, которой было дано название «пребиотическая химия». Ученые воспроизвели синтез аминокислот и даже получили некоторые из оснований, входящих в состав нынешних ДНК и РНК. Пожилой к тому времени Холдейн, в молодости ставший одним из основных сеятелей идей на этом поле, теперь наблюдал плоды в виде новых открытий. Он также вдохновлялся идеями исследований молекулярных биологов, к примеру Фрэнсиса Крика, стремившихся установить, как живое хранит информацию в генах и извлекает ее оттуда.

Даже в 1960-е гг. у Холдейна оставались свежие идеи для посева. Он пришел к выводу, что жизнь — «бесконечное воспроизводство крупных сложно устроенных молекул». Изначально их устройство должно было быть намного проще того, что имеется в наши дни. Тот факт, что у некоторых вирусов одноцепочечная РНК, а не двухцепочечная ДНК, навел Холдейна на мысль, что, возможно, РНК первой возникла в ходе эволюции.

В 1963 г. Холдейн отправился во Флориду, чтобы изложить свои соображения на конференции, где присутствовали Опарин и другие ведущие специалисты по проблеме происхождения жизни. Свой доклад исследователь озаглавил «Данные, необходимые для проекта первого организма» (Data Needed for a Blueprint of the First Organism)¹⁴. Он мысленно реконструировал эту давно канувшую в небытие форму жизни — своего рода версию батибиуса. Предполагалось, что это был свободноживущий микроорганизм, хранивший свою наследственную информацию в РНК, а не в ДНК. Он мог использовать свои РНК-гены как инструкцию по синтезу белков, которые затем могли производить новые копии его же генов. Сколько генов было достаточно для подобной основанной на РНК жизни, Холдейн сказать не мог. «Первоначальный организм, быть может, состоял всего лишь из одного так называемого гена РНК»¹⁵, — предположил он.

Эта идея была убедительной¹⁶ — более того, настолько убедительной, что независимо пришла также в голову Крику и дру-

гим ученым. Но Крик, Холдейн и все остальные сторонники гипотезы РНК-жизни могли обсуждать ее только в самых туманных выражениях. На современной Земле единственные основанные на РНК формы жизни — это вирусы, которые для размножения нуждаются в хозяине. РНК-жизнь на древней Земле должна была как-то справляться сама.

Путешествие Дэвида Димера в Россию на вулкан началось в 1975 г. — с беседы за сэндвичем с огурцом в придорожном английском кафе. Он перекусывал на пару с британским биофизиком Алеком Бэнгхемом, и разговор у них шел о мембранах.

Живому необходимы гены для наследственности и белки для метаболизма, но для выживания ему требуются еще и мембраны. Они представляют собой заслоны, удерживающие внутри химию живого и обеспечивающие ее работу. Жизнь, насколько известно, не способна существовать в виде ничем не отграниченного облака химических соединений. Но лишь в 1950-е гг. Бэнгхем и другие исследователи занялись анализом мембран и впервые установили, из чего они состоят.

Один из наиболее распространенных типов молекул в мембранах — цепочки атомов углерода, которые называются липидами. Одни липиды короткие, другие длинные; некоторые украшены иными элементами, например кислородом, отчего их химические свойства меняются. Но все липиды объединяет удивительная способность к самоорганизации. Один конец такой цепочки отталкивает молекулы воды. Другой притягивает. Если свободные липиды плавают в воде, они самопроизвольно собираются в двуслойную пленку. Гидрофобный (водоотталкивающий) конец обращается внутрь, гидрофильный (притягивающий воду) — наружу. В начале 1960-х гг., взбалтывая эти пленки, Бэнгхем обнаружил, что они распадаются, а затем перестраиваются в трехмерные конфигурации. Вначале они образовали змеевидные трубки. Затем те расщепились на полые шарики. Эти жировые шарики получили название «липосомы».

У Димера, который был восьмью годами моложе Бэнгхема, липиды уже входили в программу обучения в аспирантуре Уни-

верситета штата Огайо, где молодой исследователь извлекал их из яичных желтков, листьев шпината и крысиной печени. После защиты диссертации он переехал в Калифорнию и стал работать в отделении Калифорнийского университета в Беркли, где научился замораживать мембраны и затем раскалывать их для изучения внутренней структуры. Димер продолжил это направление исследований, получив должность в отделении того же университета в Дейвисе. В возрасте 36 лет он нашел возможность поработать год в Англии с Бэнгхемом.

Совместно ученые провели серию важных исследований липидов. Они сконструировали шприц, позволявший получать много липосом¹⁷ одинакового размера. Подобные инновации позже превратят липосомы в инструмент медицины. Фармацевты станут помещать в них свои препараты, чтобы доставлять те внутрь клетки. Когда началась пандемия COVID-19, производители вакцин отправили ослабленные дефектные вирусные гены в липосомы, чтобы затем они могли попасть в наши клетки.

В один прекрасный день 1975 г. Бэнгхем с Димером ехали на машине в Лондон. Когда они остановились пообедать в придорожном кафе, Димер упомянул, что слышал, будто у Бэнгхема есть какая-то теория зарождения жизни. Ему было любопытно узнать какая.

В ответ тот сказал, что жизнь началась с липосом.

Для Холдейна и его последователей главный признак жизни — наличие генов. Для последователей Опарина главный вопрос о происхождении жизни — как появился метаболизм. Но для возникновения жизни были необходимы также границы, и работа с липидами привела Бэнгхема к предположению, как именно могли образоваться первые примитивные клетки. Если на древней Земле имелись липиды, они должны были самопроизвольно собираться в липосомы — готовые контейнеры для молекул жизни. Чтобы произвести прообразы ДНК, РНК и белков, планете понадобилось бы гораздо больше времени. Крупный недостаток идеи Бэнгхема заключался в том, что неизвестно было, существовали ли липиды до появления жизни. И даже если существова-

ли, неизвестно, обладали ли эти первозданные молекулы липидов нужными свойствами, чтобы образовать полые оболочки для будущей жизни.

Бэнгхем и Димер поговорили об этих фундаментальных вопросах, доели сэндвичи и поехали дальше в Лондон. «Я подумал: вернусь в Дейвис — надо будет узнать, какие из липидов умеют собираться в липосомы», — рассказывал мне потом Димер.

Один из аспирантов Димера, Уилл Харгривс¹⁸, вызвался испытать ряд разных липидов. Он двигался от длинных молекул к коротким. Большинство липидных молекул в живых клетках содержат 12–18 атомов углерода, но Харгривс обнаружил, что даже десятиуглеродные липиды способны давать стабильные липосомы.

Когда в 1980 г. Харгривс защитился, Димер все еще не знал, могли ли в действительности на древней Земле синтезироваться короткие липидные цепочки. Вскоре он познакомился с сотрудником NASA Шервудом Чаном, который помог ему разобраться в этом. Чан был обладателем необычного камешка размером около 2 см и охотно поделился его кусочком с Димером.

Этот камешек когда-то входил в состав астероида, образовавшегося при рождении Солнечной системы 4,57 млрд лет назад. С ним столкнулся другой астероид и отколол от первого кусочек породы, который блуждал по Солнечной системе до 1969 г., пока не оказался по соседству с нашей планетой. Гравитационное поле Земли жадно затянуло метеорит, и однажды поутру жители австралийского города Мерчисона увидели, как по небу летят огненные шары, за которыми стелется дым. Затем последовал громовой удар. Рассредоточившись по окрестностям, местные жители нашли в полях сотни черных камней.

Некоторые из них попали в руки специалистов NASA, обнаруживших, что в действительности находки можно назвать скоплениями минеральных зерен. Еще более удивительным оказалось содержимое некоторых из этих зерен — там нашлись аминокислоты, а также множество других органических соединений. Мерчисонский метеорит* продемонстрировал, что для возникновения

* В среде российских специалистов, занимающихся исследованиями метеоритов, его принято называть Мурчисонским. — *Прим. ред.*

ингредиентов жизни не требовалось уповать на химические процессы, свойственные нашей родной планете. Многие из ее кирпичиков образовались в космосе и затем упали на Землю¹⁹.

Чан передал Димеру крохотный образец Мерчисонского метеорита. В Дейвисе тот обработал его хлороформом и другими реактивами, чтобы извлечь липиды, которые могли там содержаться. Затем он налил получившийся раствор на предметное стекло и оставил испаряться. Пошел затхлый запах, внушивший Димеру надежду, что там кое-что обнаружилось.

Как только хлороформ улетучился, Димер смочил стекло водой и посмотрел на него в микроскоп. Он увидел движение, организацию. Вода проникла в сухой экстракт, который разбух и превратился в шарики. Димер получил липосомы!²⁰ Он расчехлил камеру и принялся неистово фотографировать их. Этот момент стоило увековечить — ведь такое случается раз в 4,5 млрд лет.

Результаты опыта указывали на то, что липиды, выпадавшие из космоса, могли самопроизвольно образовывать стабильные липосомы. Но сами по себе липосомы всего лишь пустые оболочки. Димер и его студенты принялись экспериментировать, смешивая их с органическими молекулами, чтобы узнать, можно ли наполнить эти оболочки предшественниками жизни. Если они высушивали липосомы с ДНК, а затем возвращали их в водную среду, те восстанавливались так, что ДНК оказывалась внутри.

Эти эксперименты привели Димера к мысли о протоклетке, содержащей фермент, способный синтезировать молекулы РНК. Однако чтобы построить РНК, нужно откуда-то взять основания. Если на древней Земле образовывались и основания, протоклетка могла вбирать их в себя. Но это решение порождало новую проблему. Наши клетки поглощают вещества из окружающей среды с помощью специальных каналов (канальных белков), кодируемых генами. Древние протоклетки должны были владеть намного более простым способом захвата оснований. Возможно, молекула, проплывая мимо протоклетки, прилипала к ее мембране, а затем медленно затягивалась внутрь.

Димер и его коллеги решили смоделировать древнюю мембрану и посмотреть, как она будет работать. Они изготовили липидные слои, на которых разместили белки. А затем добавили раз-

личные соединения, чтобы проверить, смогут ли белки провести их с одной стороны липидного слоя на другую.

В 1989 г. Димер сделал перерыв в своей работе и отправился в отпуск в Орегон. Во время долгой поездки вдоль реки Маккензи он продолжал размышлять о протоклетках и о том, как они могли поглощать молекулы. Мысли Димера блуждали, пока в воображении не нарисовались потоки оснований, вливающиеся в протоклетки по прообразам каналов. Но как их затянуть внутрь? А скажем, с помощью электрического поля. Димер представил себе, как основание медленно протягивается по каналу, не пропуская следующие за ним более мелкие заряженные частицы, словно это неспешно ползущий грузовик, за которым выстроилась очередь легковушек. Исследователь понял, что такая пробка моментально замедлит электрический ток в канале. Он задумался: что получится, если измерять силу тока в канале по мере продвижения основания?

«Мы полагали, что, возможно, увидим небольшой пик», — вспоминал он потом.

А что, если вместо одного основания попытаться протащить целый отрезок ДНК? Будет ли вместо одного пика наблюдаться ряд небольших? У каждого из четырех оснований ДНК свои размер и форма. Что, если пики будут отличаться? Что, если он сможет расшифровать последовательность отрезка ДНК, протянув ее сквозь канал?

Внезапно прямо посреди Каскадных гор Димер осознал, что размышления о происхождении жизни привели его к чему-то совсем неожиданному. Оказывается, он обдумывал метод прочтения ДНК.

Для 1989 г. идея быстрого чтения последовательностей ДНК представлялась чуть ли не волшебством. Стандартные методы того времени работали так медленно, что ученым удавалось прочесть лишь несколько сотен оснований в день. В таком темпе им потребовалось бы 100 000 лет на секвенирование генома одного-единственного человека. Некоторые ученые мечтали ускорить этот процесс, и теперь Димер стал одним из таких мечтателей. Ему виделось, как ДНК пробивается сквозь канал, распевая свою последовательность в виде электрической арии.

По окончании орегонской поездки 1989 г. Димер взял красную ручку и изобразил свое видение в блокноте. Он нарисовал ДНК, проскальзывающую по каналу. Набросал воображаемый график скачков напряжения, которые в его представлении вызывались каждым из оснований. «Канал должен быть в сечении соизмеримым с ДНК»²¹, — написал исследователь.

Димер заручился поддержкой других ученых, чтобы те помогли ему с реализацией этой идеи. Для начала — с целью создания дорожной пробки из ДНК и других молекул-участниц — требовалось подобрать канал нужного размера и формы. В 1993 г. Дэвид узнал о канале, способном справиться с этой задачей, — это гемоллизин, который вырабатывают бактерии. Он отправился в лабораторию специалиста по гемоллину Джона Касьяновича из Национального института стандартов и технологии в Мэриленде. С собой он вез нити РНК, чтобы вдеть их в молекулярную иголку.

Объединив усилия, Димер и Касьянович создали липидную мембрану, закрывающую круглое отверстие. В середину мембраны они внедрили гемоллизиновый канал. Когда исследователи включили электрическое поле, им удалось по этому каналу протолкнуть кусочки РНК. И они увидели ряд пиков. Их число совпало с числом оснований в этих кусочках.

Результатов успешного эксперимента хватило для статьи, и она была опубликована в 1996 г.²² Но до прибора, читающего ДНК, было еще далеко. Еще предстояло определить, как различать между собой четыре основания. Димеру и Касьяновичу представлялось что-то вроде вымаранных предложений в отредактированном правительственном документе. Можно было сосчитать количество букв в них, но ученые понятия не имели, какие слова были записаны этими буквами.

Один из бывших студентов Димера, Марк Эйксон, вернулся в Калифорнию, чтобы возглавить посвященный этому проект. Его целью было научиться распознавать замаскированные буквы. Эйксон и его коллеги настроили свою электронику так, чтобы различать еще более тонкие колебания силы тока, одновременно понизив чувствительность приборов к окружающим шумам. Они воспользовались тем, что молекулы двух из четырех осно-

ваний ДНК — аденина и гуанина — намного крупнее, чем цитозин и тимин. Эйксон и его коллеги доказали, что большие основания дают значительные спады силы тока, а малые — менее значительные²³.

Димеру еще не удавалось различать язык генов отчетливо. Но теперь, по крайней мере, он мог отличить гласные от согласных.

С Дэвидом Димером я познакомился в 1995 г.²⁴ Я приехал в Санта-Круз, куда исследователь перебрался после того, как женился на Оулёв Эйнарсдоттир — она преподавала в местном отделении Калифорнийского университета, размещавшемся на северной окраине города. Димер променял сельские равнины Дейвиса на мрачные красоты побережья, где на пляжах возлежали морские слоны, а на них со склонов холмов взирали сосны и секвойи. В первый же вечер в Санта-Крузе я пошел гулять в центр города.

Там все еще были видны последствия землетрясения Лома-Приета, случившегося шестью годами ранее. Я проходил мимо безмолвных заброшенных зданий, по открытым ранам темных, запустелых улиц. Утром я отправился в лабораторию Димера.

«Хотите понюхать космос?» — спросил исследователь. И сунул мне под нос образец липидов Мерчисонского метеорита. Повеяло чердаком. «Хотите услышать инсулин?» — снова спросил он. Несколько лет назад Димер перевел генную последовательность в буквенную музыкальную нотацию: аденину соответствовала буква А, гуанину — G, цитозину — С, а тимин, за неимением буквы Т в нотном ряду, стал Е*. Ученый стал пропевать мне вполголоса последовательность букв в гене инсулина, отдаленно это напоминало песню.

Тогда Димеру было 56 лет. Минуло десятилетие с тех пор, как он получил липосомы из метеорита, и за эти годы исследователь разработал подробный сценарий происхождения жизни, опираясь как на собственные труды, так и на достижения других ученых. Выдвинутая еще Холдейном и некоторыми исследователями в 1960-е гг.

* Соответствует более привычным для нас ля (А), соль (G), до (C) и ми (T). — *Прим. ред.*

идея, что первичная жизнь основывалась на РНК, с годами набрала немало сторонников. РНК оказалась удивительно многофункциональной молекулой — возможно, ее функций было достаточно, чтобы поддерживать жизнь на древней Земле. Так, в Колорадском университете биохимик Томас Чех открыл у пресноводного простейшего тетрахимены необычную молекулу РНК. Эта молекулярная цепочка могла самопроизвольно изгибаться и вырезать из себя кусок, словно сама себе фермент. Вскоре исследователи обнаружили и другие молекулы РНК, способные вести себя подобно ферментам, — они получили название рибозимов.

Рибозимы продемонстрировали, что РНК способна выполнять две функции одновременно: хранить генетическую информацию, как ДНК, и осуществлять ферментные реакции, как белки. В 1986 г. гарвардский биохимик Уолтер Гилберт с учетом этого открытия усовершенствовал гипотезы Холдейна и других о происхождении жизни. Он назвал свою теорию «мир РНК»²⁵.

Гилберт предположил, что жизнь с самого начала использовала только РНК — задолго до того, как вообще появились ДНК и белки. Этой форме жизни был придан набор молекул РНК, каждая из которых выполняла худо-бедно определенную функцию. Одни могли хранить и передавать генетическую информацию, а другие — захватывать химические соединения для синтеза новых молекул РНК. Жизнь, основанная на РНК, была способна эволюционировать, так как в ходе копирования генов совершались и ошибки.

Впоследствии, предполагал Гилберт, у РНК-жизни сформировались белки и ДНК. Возможно, молекулы РНК приобрели способность соединять аминокислоты в совсем коротенькие белковые цепочки. Эти новые молекулы способствовали выживанию клеток, а когда белковые молекулы стали длиннее, то, вероятно, оказались эффективнее молекул РНК. Гены РНК, судя по всему, эволюционировали в двухцепочечную форму ДНК, которая оказалась более надежным способом кодирования наследственности.

Гилберт следовал геноцентрической традиции Холдейна. Он полностью сосредоточился на эволюции молекул РНК, не уделяя внимания их упаковке в клетке. С помощью своих липосом Димер попытался поднять новый вопрос — как раз об упаковке.

Он предположил, что протоклетки могли образоваться из липидов, занесенных метеоритами. Какие-то космические пришельцы наверняка падали на новорожденные вулканы, вздымавшиеся над уровнем моря. Принесенные ими липиды смывало в небольшие водоемы и горячие источники — вместе с целым набором других потенциальных кирпичиков белков и РНК. Периодически вода испарялась, а на ее месте оставалось нечто вроде первобытной высохшей ванночки. Затем сухой осадок в этой ванночке снова заливало дождем или наводнением.

Совместно с Аджоем Чакрабартти, молодым специалистом из его лаборатории, Димер воспроизвел для меня эти древние химические процессы²⁶. Он открыл банку с липидами яичного желтка и добавил немножко в пробирку с водой. Ее содержимое помутнело, наполнившись микроскопическими пузырьками.

Затем Димер взял вторую пробирку и добавил в нее сухие белесые волокна ДНК из молок лосося, словно повар, посыпая блюдо шафраном. (ДНК молок лосося дешева, и ее легко приобрести у поставщиков биоматериалов; она вполне пригодна в качестве замены РНК.) Волокна ДНК стали клейкими. Димер подсыпал в раствор флуоресцентной краски для ДНК. Затем он смешал липиды и ДНК на нескольких предметных стеклах.

«А не подогреть ли нам это?» — спросил он Чакрабартти.

Тот включил нагреватель и поместил предметные стекла на его поверхность.

«Вот наша приливная лужица», — сказал Димер.

В древней луже могли плавать липосомы, собравшиеся из липидов. Под действием солнечных лучей вода из лужи испарялась, и липосомы подтягивались ближе друг к другу. Соприкасаясь, они сливались. При дальнейшем испарении из пузырьков образовывались слои, между которыми, словно в бутерброде, оказывались другие молекулы.

То же происходило и на предметном стекле. Через несколько минут Димер снял его с горячей поверхности. ДНК и липиды засохли тонкой пленкой. Затем исследователь снова заполнил свою миниатюрную приливную лужицу несколькими каплями воды. Смоченное стеклышко он поместил под флуоресцентный микроскоп, и Чакрабартти выключил свет.

В окуляр я увидел, как липиды струйками выстреливают из сухой пленки в окружающую воду. Поначалу они извивались, подобно змейкам, но постепенно сформировались в пузырьки. Одни были тусклыми, зато другие ярко светились флуоресцентной зеленой краской, сигнализируя, что заглотили ДНК.

И все же эти экзерсисы отнюдь не были доказательством, что жизнь зародилась именно так. Димер хотел всего лишь продемонстрировать один из этапов сценария, к которому склонялся он и его единомышленники. В то время они подвергались непрерывным нападкам скептиков, не веривших в РНК-мир. Пока еще никто не представлял себе, из каких простых кирпичиков могли образоваться первые молекулы РНК. А место, где могла зародиться жизнь, многие ученые искали не в вулканических водоемчиках, которым отдавал предпочтение Димер. Их взгляд обращался на дно океана.

В 1970-е гг. океанографы изучали срединно-океанические хребты — расположенные по всему океаническому дну образования вдоль швов между литосферными плитами, где из недр земли поднимается магма и наращивает морское дно. К своему удивлению, ученые обнаружили кое-где на этих хребтах гигантские черные трубы, изрыгающие темный дым. Оказалось, что трубы эти — глубоководные горячие источники. Морская вода попадает в разломы хребтов, где нагревается и вступает в реакции с окружающими минералами. Поднявшаяся обратно к поверхности дна, она уже насыщена подземными химическими соединениями. На выходе компоненты раствора мгновенно вступают в реакцию с холодной морской водой и выпадают в осадок в виде полых конусов и труб.

При более пристальном рассмотрении исследователи обнаружили, что эти трубы обитаемы²⁷ и их экосистемы не похожи ни на одну из известных на Земле. Микроорганизмы извлекали энергию из химических соединений, изрыгаемых источниками. Потом они становились кормом для более крупных организмов. По стенам труб ползали слепые креветки. Словно бамбуковые рощи, росли трубчатые черви. Более 4 млрд лет назад, когда расплавленный шар Земли остыл и обзавелся корой, в древнем океане таких источников должно было быть множество. Высокая тем-

пература и характерные для них необычные химические соединения могли благоприятствовать появлению генов, метаболизма и клеток²⁸.

Димер не растерялся и привел свои возражения. Пребиотическая манна небесная — выпадающие из космоса органические соединения — рассеялась бы на безбрежных просторах океана, не дойдя до горячих источников на дне. Образовавшиеся в океане липосомы лопнули бы от избытка солей.

Исследователю по-прежнему предстояло много работы. Если жизнь зародилась в поверхностных лужицах, ей бы потребовался какой-то способ получать энергию. Современные водоросли и бактерии в водоемах умеют усваивать солнечный свет, но для этого у них есть сложные комплексы белков. У протоклетки в распоряжении не было столь мудреной природной солнечной батареи. Тогда Димер задался вопросом: что, если вокруг нее уже плавали простые солнечные батареи? В Мерчисонском метеорите, помимо прочего, содержались молекулы полициклических ароматических углеводов, сокращенно ПАУ. Когда на ПАУ попадает свет, он способен отдавать электрон.

Возможно, размышлял исследователь, ПАУ из метеоритов встраивались в липосомы. При столкновении с фотонами ПАУ испускали электроны, которые можно было использовать. Они могли генерировать энергию, необходимую протоклеткам для осуществления химических процессов.

Никто не мог сказать, работает ли этот сценарий, ведь никто раньше не пробовал смешивать ПАУ с липосомами. И вот Димер со своими студентами попробовал.

«Хорошо бы заставить их связывать энергию в полезной форме, — сказал мне Димер. — Потому что пока мало кто впечатлен этой гипотезой».

Четыре года спустя, в 1999 г., на конференции по проблемам происхождения жизни Димер познакомился с российским вулканологом Владимиром Компаниченко. Услышав, что Дэвид одержим первобытными водоемами, Компаниченко пригласил его приехать на Камчатку. Для Димера это стало бы самым доступным анало-

гом путешествия во времени. Камчатка изобилует действующими вулканами²⁹, и условия в тех местах настолько суровы, что живое там редкость. Отправившись туда, Димер сможет исследовать озера в кратерах, горячие источники, лужи и всевозможные прочие водоемы. Вместо того чтобы воображать себе химические условия древней Земли, он сможет наблюдать их своими глазами.

Димер принял предложение Компаниченко. В 2001 г. он организовал научную экспедицию на Камчатку. Ее участники перелетали от вулкана к вулкану на военном вертолете, а внизу по тундре разбегались бурые медведи. Одно вулканическое озеро было бирюзового цвета, другое покрывала нефтяная пленка — не потому, что кто-то разлил там бензин, а из-за быстрого распада растительного материала, падавшего в воду. Обычно на то, чтобы растительные остатки превратились в нефть, уходят сотни миллионов лет. В этом странном месте хватало просто сотен.

На склонах вулканов Димер зачерпывал воду из дымящихся fumarol и изучал горячие источники, окруженные кольцами осадка, как слив в ванне, — это были результаты именно тех циклов намокания и высыхания, которые он надеялся отыскать в природе. Озерца содержали различные комбинации минералов, нагревались до разных температур и были несхожими во многих других отношениях. Для американского исследователя здесь было столько интересного, что он понял: ему придется вернуться. Как раз во вторую поездку, в 2004 г., он и привез свой порошок жизни³⁰.

Тридцать лет Димер изучал происхождение жизни, следуя по стопам Стэнли Миллера — в стенах лаборатории. Он проводил эксперименты в стеклянных пробирках, контролируя чистоту ингредиентов и температуру. Этот контроль позволял ему определять достоверность полученных результатов. Но он также оставлял почву для размышлений, действуют ли процессы, смоделированные в лаборатории, в непредсказуемом мире, где организмам приходится выживать.

Как только Димер высыпал свой порошок в лужу на Мутновской сопке и появилась пена, он понял, что произошло нечто необычное. Пена состояла из липидов, собравшихся в мембраны. Но, чтобы точно установить, что именно он наблюдал, исследователю необходимо было вернуться в Санта-Круз. Вместе с коллега-

ми он обнаружил, что большинство соединений из его порошка прилипали к частицам глинистой взвеси в воде. Но были и такие, которых захватывали липиды. Они не обратились моментально в пузырьки, как в лаборатории Димера. В воде с ними прореагировали железо и алюминий, превратив их в плавучие хлопья.

На Мутновской сопке ученому не удалось создать жизнь с нуля, но результат глубоко повлиял на его размышления. Все водоемы и источники на вулкане имели высокую температуру и сильную кислотность, но во многих отношениях они различались. В некоторых водоемах содержались частицы глины или других соединений алюминия, способные помешать развитию жизни. В других же, напротив, условия благоприятствовали ей. Димер приступил к изучению разнообразия гидротермальных источников в других частях света. Иногда он ездил туда сам, иногда организовывал полевые экспедиции для своих коллег и студентов. Они побывали в Йеллоустоне, на Гавайях, в Исландии. В Новую Зеландию³¹ коллега Димера Брюс Деймер взял с собой алюминиевый блок, заполненный пробирками. В каждой пробирке была высушенная пленка из РНК и других химических соединений. Деймер воткнул пробирки в осадок в источнике и периодически заливал в них термальную воду из него. В результате в этих пробирках удалось получить липосомы, содержавшие небольшие цепочки РНК.

Экспедиции были дорогими, трудными и довольно короткими. Чтобы продолжать исследования у себя дома в Санта-Крузе, Димер изготовил искусственный вулканический пруд. «Я имитирую то, что видел на Мутновской сопке», — объяснил он мне.

Ученый сконструировал прозрачный пластиковый ящик размером с чемодан. Он как следует заделал швы, чтобы можно было заполнить внутреннее пространство углекислым газом, создав атмосферу, подобную той, что существовала на Земле 4 млрд лет назад³². Внутри ящика Димер поместил металлический диск с отверстиями по окружности, куда можно было вставить 24 пробирки. Каждая пробирка воспроизводила один из камчатских водоемов — в ней была горячая закисленная вода с различными соединениями наподобие тех, которые обнаружили в источниках на Мутновской сопке. Исследователь изобрел собственный цикл высыхания и намокания. Диск медленно вращался, так что

каждая пробирка дважды в сутки в течение получаса находилась под трубкой, из которой дул углекислый газ. Вода испарялась, оставляя кольца осадка химических соединений. Диск продолжал вращаться, и высушенная пробирка оказывалась под другой трубкой, из которой брызгала вода.

В эти пробирки Димер со своими коллегами поместил липиды и основания — строительные кирпичики ДНК и РНК. После того как сосудики в течение нескольких часов подверглись чередованию намокания и высыхания, в них обнаружили липосомы с захваченными основаниями внутри. А в части этих пузырьков оказалось нечто еще более примечательное: основания соединились. Некоторые из новых молекул достигали длины в сотни нуклеотидов. «Мы создали РНК-подобную молекулу»³³, — сказал исследователь.

В наших собственных клетках основания образуют связи только посредством высокоспециализированных ферментов. Димер со своей командой обошел это требование, воспользовавшись необычными химическими условиями первобытного водоема. Высыхая, липосомы сливались и сплющивались в листы. Эти тонкие слои становились жидкими кристаллами, в которых основания уже не скакали в постоянном возбуждении. Они выстраивались упорядоченно³⁴, и в таком виде у них было больше вероятности образовать связи. Когда в пробирки снова попадала вода, слои разбухали и от них отпочковывались пузырьки, унося с собой РНК-подобные молекулы. С каждым циклом намокания и высыхания молекулы удлинялись.

В РНК-мире Уолтера Гилберта первые живые создания нуждались в рибозимах для синтеза новых молекул РНК. Теперь опыты Димера подсказывали еще более радикальную возможность: не нужно было никаких рибозимов, потому что липиды справлялись с синтезом РНК самостоятельно. Это исследование говорило о том, что миру РНК мог предшествовать Липидный мир³⁵.

Второй раз я приехал к Дэвиду Димеру осенью 2019 г. Со времени моей первой поездки в Санта-Круз прошло более двух десятков лет. Я стал седовласым отцом семейства, а Димер только что отпраздновал 80-й день рождения. Я прилетел в Сан-Франциско

по рабочим делам, и Дэвид настоял на том, чтобы вечером встретиться со мной в отеле и на машине отправиться к нему в Санта-Круз. Было заметно, что у него отменное здоровье. Димер утверждал, что это заслуга биохимии. Эксперименты, которые он проводил в 1970-е гг., убедили его в пользе антиоксидантов, и он стал принимать пищевые добавки.

«И вот он я, по-прежнему бодрый», — заявил исследователь.

Однако Димер попросил меня не разговаривать с ним, пока он полностью сосредотачивается на том, чтобы безопасно вырлиться из города на шоссе. Но как только мы доехали до сосновых рощ и прибрежных утесов, он расслабился. И замурлыкал свою «песню ДНК».

Я спросил у Дэвида, что по прошествии всех этих лет он думает о жизни. Тот признался в отсутствии у него удовлетворительного ответа на вопрос, что же это такое. «Мы получим его, когда синтезированные нами молекулярные системы обретут свойства живого», — сказал исследователь. Затем он перечислил скороговоркой ряд этих свойств. Я спросил: это действительно определение жизни или всего лишь описание известной нам жизни? Обязательно ли жизнь должна основываться на молекулярных цепочках типа ДНК и белков?

«Я застрял в своем ящике, — признался Димер. — Не могу представить себе, чтобы эти функции выполняло что-то, кроме нуклеиновых кислот и белков. Вы меня спрашиваете, как я себе все это мыслю. Я люблю проводить эксперименты. Люблю наблюдать, как что-то происходит. Я просто думаю: “Что бы сделать еще не особо затейливое?”».

Когда мы приехали в Санта-Круз, я увидел, что со времени моей прошлой поездки следы землетрясения изгладились. Но открылись другие раны, которые будет труднее залечить. Обеспеченные компьютерщики, которым стало не по карману жить в Кремниевой долине, ринулись в горы, предлагая миллион долларов за малогабаритное бунгало. Возле городской автобусной остановки лениво слонялась босоногая женщина, жестами выпрашивая у прохожих сигареты.

Димер не повез меня в рощу секвой, где когда-то находилась его университетская лаборатория. Вместо этого мы направились

к похожему на склад зданию на окраине города у железнодорожных путей. Год назад исследователь основал компанию в бизнес-инкубаторе Startup Sandbox. Там предоставляли помещения для стартапов в области разработки костных трансплантатов, тестов на раковые заболевания и систем автоматического ухода за растениями. Димер был втрое старше большинства разработчиков.

Мы устроились в его офисе на втором этаже. Там было уютно, как бывает в комнате, куда только что переехали. На стене в рамке висел снимок падающей звезды. На полке одиноко стоял фантастический роман Станислава Лема. Из-под стола Димер вытащил свой искусственный пруд, чтобы показать мне его в действии.

«Не бог весть что, — сказал он, — но второго такого в мире нет».

Мне тоже было что показать Димеру. Я открыл у себя на смартфоне фотографию, которую мне недавно прислал знакомый биолог. На ней был металлический брусок размером с губную гармошку с восемью отверстиями. Рядом стояла открытая коробка с надписью: “MinION”.

«Привезли новую игрушку, — было написано в посте. — Секвенатор за \$1000. Дешевле твоего айфона! Не знаю, радоваться или за голову хвататься».

Я прокрутил ленту до следующего сообщения, которое этот знакомый прислал мне еще через несколько недель. Он хотел узнать, какие микроорганизмы заселяют произведения живописи, поэтому взял чешуйку краски со старинной картины, выделил из нее генетический материал и поместил каплю насыщенного ДНК раствора в свой секвенатор MinION. И прислал мне видеозапись: подсоединенный к ноутбуку прибор считывает последовательности ДНК. За пять часов MinION прочел 42 млн пар оснований.

«Та-дам! — писал мне друг. — Даже не верится, что еще при моей жизни это устареет».

«Ну надо же!» — выдохнул Димер в тихом восхищении. Я не удивился, что видео его обрадовало. Машинка, которой пользовался мой знакомый биолог, вела свою родословную от видения, представшего глазам Дэвида 30 лет назад.

В 2007 компания Oxford Nanopore Technologies приобрела патент на идею секвенатора ДНК, разработанного Димером и его коллегами. В последующие годы Дэвид и другие ученые нашли способы усовершенствовать конструкцию. У других бактерий обнаружилось более подходящие канальные белки. В Oxford Nanopore придумали, как разместить множество таких каналов на одной мембране, чтобы можно было секвенировать много копий ДНК одновременно. А еще их затаскали по судам. Технология становилась все более многообещающей, и другие занимавшиеся секвенированием ДНК компании стали оспаривать патенты.

«Нас заваливают исками», — сказал мне Димер.

Свой первый секвенатор компания Oxford Nanopore выпустила в продажу в 2015 г. На тот момент по сравнению с другими технологиями он был компактным, простым и дешевым. Ученые стали использовать этот прибор для прочтения тех ДНК, которые без него так и осталась бы непрочитанными. Во время вспышки лихорадки Эбола в Западной Африке в 2015 г.³⁶ исследователям понадобилось лишь сутки, чтобы прочесть гены вирусов, выделенных у пациентов. В лесах Уганды специалисты по дикой фауне быстро определяли новые виды насекомых³⁷. В 2016 г. NASA отправило MinION на МКС, где астронавтка Кэтлин Рубинс провела первое секвенирование ДНК в космосе. Дэвид Димер надеялся, что когда-нибудь нанопоровый секвенатор сумеет обнаружить гены на другой планете.

Идеи Димера воплощались в жизнь иным образом: для изучения мира РНК более молодые ученые конструировали усовершенствованные протоклетки. Биолог Кейт Адамала³⁸ разработала собственный рецепт липидных пузырьков, в которые она отправляла молекулы РНК. Она создала пузырьки-протоклетки, способные расти и делиться надвое. Она изготовила и такие, которые испускали вспышку света, почуяв определенные вещества. И даже те, что умели общаться между собой. Правда, ни одна из протоклеток не умела делать все это одновременно. Каждую такую клетку Адамала наделила отдельным видом РНК. Но все вместе ее творе-

ния проливали свет на то, какой могла быть жизнь до появления известной нам жизни — если, конечно, мы согласимся называть живым то, у чего нет ДНК.

У себя в лаборатории Димер совместно со студентами продолжал изучать возможные этапы сборки свободных молекул липидов и нуклеиновых кислот в первобытные протоклетки. В 2008 г. было установлено, что, проходя через циклы намоканий и высыханий, липосомы способны синтезировать цепочки РНК до ста оснований длиной. Но скептики отметили, что эти молекулы намного короче любой РНК вирусного генома. Оставалось непонятным, как столь краткие генетические инструкции могли положить начало истории живого. Поэтому Димер и его коллеги попытались изготовить более длинные.

Незадолго до моего приезда они для изучения своих творений стали использовать новый прибор — атомно-силовой микроскоп, который постукивает по молекулам миниатюрным металлическим пальчиком, сканируя каждый их атом. Дэвид показал мне один из сканов. Это была биохимическая картина в духе Джексона Поллока: пространство, заполненное шнурами, клубками и петлями.

«Мы полагаем, что это самые длинные цепочки РНК, которые только удавалось создавать искусственно, — сказал Димер. — Если кто-то собирается получить рибозим, пусть примет во внимание, что он должен быть достаточно длинным, чтобы сворачиваться. В данном отношении у нас тут уже есть подходящие».

Эти клубки предоставили Дэвиду дополнительное подтверждение³⁹ его теории происхождения жизни. После того как Земля сформировалась, из океана поднялись вулканы и их склоны стал поливать дождь. Водоемы заполнялись, из гейзеров и бурлящих горячих источников били нагретые подземные воды. С неба падали астероиды, метеориты и частицы пыли, привнося сюда триллионы тонн органических соединений. Вулканы тоже действовали как химические реакторы, поставляя собственные соединения из недр планеты. Попадая в водоемы, липиды иногда собирались в пузырьки, заключая внутрь различные соединения, и затем образовывали вместе с ними высыхающий осадок. В их жидких кристаллах росли молекулы РНК, и, когда вода возвра-

щалась, сухие слои обращались в триллионы липосом, несущих новые молекулы.

Многие из этих пузырьков лопались, но некоторые сохраняли стабильность. РНК внутри них действовала как удерживающая скоба. Такие стабилизированные пузырьки с большей вероятностью доживали до следующего выпадения в осадок, и у РНК было больше шансов оказаться в следующем поколении пузырьков. Димер и его коллеги обнаружили, что в этих жидких кристаллах одиночная цепочка ДНК может работать как матрица для комплементарной цепочки. На древней Земле молекулы РНК могли начать копироваться в грязевом осадке «ванночек» задолго до того, как такую задачу взяли на себя ферменты.

Со временем к этим сетям РНК добавлялись новые молекулы, которые затем удлинялись. Они принимали на себя новые функции внутри липосом. Одни втыкались в мембраны, чтобы служить примитивными каналами. Другие захватывали основания, ускоряя нарастание новых молекул РНК. Липосомы высвобождались из своей жидкокристаллической колыбели и начинали делиться самостоятельно. Энергию для роста они брали, возможно, усваивая солнечный свет с помощью пигментов, полученных из метеоритов.

Согласно Димеру, эти протоклетки стали первыми по-настоящему живыми объектами. Конечно, они были хрупкими. Но — в отсутствие конкуренции — благоденствовали. У них развилась способность соединять аминокислоты, образуя сначала короткие, а затем длинные цепочки, свивающиеся в настоящие белки. Белки были прочнее и могли выполнять больше химических функций. Одноцепочечная РНК тоже эволюционировала — в двухцепочечную ДНК, которая оказалась более стабильным способом хранения наследственной информации. И через какое-то время новые — основанные на ДНК — организмы полностью вытеснили РНК-жизнь.

В последние годы палеонтологи все «удревняют» и «удревняют» ископаемую летопись жизни⁴⁰ на Земле. Среди старейших найденных свидетельств — австралийские породы возрастом 3,5 млрд лет. В них содержатся толстые слои, которые могли быть образованы бактериальными матами, росшими в вулканических водо-

емах — именно там, где, согласно предсказанию Димера, должна была процветать древняя жизнь.

Если бы вы отправились назад во времени к самому зарождению жизни, то увидели бы пухлые подушечки из микробов на дне бурлящих источников по склонам вулканических островов. В остальном эти острова представляли собой голые черные скалы, разбросанные по зеленому океану под оранжевым небом. Иногда на небо набегали тучи, и на острова выпадал дождь. Ручьи переносили микроорганизмы из водоема в водоем. В этих уже населенных микробами скоплениях воды гены новоприбывших и старожилов смешивались. Дождевые тучи уходили в море, и острова припекало. Озера и лужи высыхали, ветра подхватывали пыль, разнося микробные споры на километры вокруг. Разлетаясь или стекая с водой по склонам, микроорганизмы добирались до соленых устьев ручьев. Приспосабливаясь к этой среде, они подготовились к освоению океана. Как только микробы оказались в море, вся планета ожила.

«Думаю, на это ушло около 100 млн лет», — сказал Димер.

Я вспомнил о Дарвине, 150 лет назад сомневавшемся, что он доживет до разрешения вопроса о происхождении жизни. И вот теперь я сижу и слушаю ученого, посвятившего этой загадке всю свою жизнь. Что еще застанет Дэвид в отпущенные ему годы? Укрепится ли его версия? Или он останется в памяти как Джон Батлер Бёрк своего времени?

У Димера по-прежнему много противников⁴¹. Один из самых упорных — Майкл Рассел, также 80 лет от роду. С точки зрения Рассела, путь к зарождению жизни был усеян не липидами, а минералами. Исследователь путешествовал по островам Тихого океана и шахтам Ирландии, разыскивая жилы серебра и пирита. В ходе своих экспедиций он заметил, что некоторые из этих минералов изначально зарождались вокруг гидротермальных источников. Но то были не сверхгорячие «черные курильщики» срединно-океанических хребтов. В других частях океана происходили другие химические процессы.

Здесь морское дно изобилует оливином, богатым магнием и железом. Вода, проникая в трещины, реагирует с ним, выделяя водород и тепло. Породы накапливают тепло, вода в них закипа-

ет и выстреливает обратно к поверхности морского дна, вынося с собой минералы, метан и целый набор других соединений. Многие положительно заряженные ионы водорода связываются этими соединениями, из-за чего кислотность раствора меняется. Он становится из кислого щелочным. Когда такой горячий раствор выходит из трещин на морском дне и сталкивается с холодными кислыми придонными водами, из него выпадают минералы, которые, скапливаясь, образуют гигантские полые холмы, увенчанные башнями до 60 м высотой.

Полости в этих холмах оказались Расселу идеальным местом для зарождения жизни. Из-за разницы в составах воды внутри полости и за ее пределами они становились необыкновенными химическими реакторами. Внутренняя сильнощелочная вода притягивала атомы водорода из наружной кислой. Тем приходилось пробираться сквозь микроскопические каналы в стенках. Такое их перемещение поразительно напомнило Расселу проход атомов водорода по каналам в клеточных мембранах — наши клетки используют этот способ для получения энергии. Более того, исследователь не считал это совпадением. Наш метаболизм и основывается на химических процессах, характерных для подобных полостей.

Атомы водорода, попадавшие в стенки щелочных источников, могли вызывать химические реакции, которые порождали новые соединения, способные к новым реакциям. Со временем в полостях возникли многие необходимые для жизни компоненты. Рассел предполагал, что подобные пустоты, возможно, выполняли роль клеток в доклеточную эпоху. В этих каменных лакунах мог появиться примитивный метаболизм⁴². Постепенно развившийся метаболизм стал пригодным для обеспечения настоящей жизни.

К началу 2000-х гг. щелочные источники и вулканические водоемы стали двумя основными сценариями зарождения жизни. Оба правильными быть не могли. В статье 2017 г., написанной в качестве темы номера для журнала *Scientific American*, Димер и его соавторы обосновали зарождение жизни на поверхности планеты с приложением подробных схем, как жизнь возникала на вершинах вулканов и стекала по их склонам в океан. Такой сценарий, настаивали они, гораздо лучше подкрепляется экспериментально, нежели расселовская теория щелочных источников.

Рассел в ответ уколол Димера. По его мнению, подобные исследования демонстрируют, что витализм⁴³ живет и здравствует. Эксперименты, дававшие жизнеподобные молекулы в имитациях прудов, утверждал Рассел, «совершенно не имеют отношения к делу и вводят в заблуждение»⁴⁴. Идею, что клетки могли начаться с болтающихся в воде липосом, исследователь объявил «порочной в своей основе».

Только щелочные источники, настаивал Рассел, давали нужный приток энергии, обеспечивающий специфические реакции, которые задействованы у живых существ в наши дни. Нагрев вулканического водоема и освещение его солнцем породит лишь множество конкурирующих реакций, которые не приведут к увеличению сложности. Эта идея столь же нелепа, как использование доктором Франкенштейном электрических разрядов, чтобы оживить части мертвых тел.

«Франкенштейновская идея попросту неверна, о химии речь или о трупах», — заявил Рассел.

Когда я упомянул эту теорию щелочных источников, Димер перечислил множество проблем, которые видел вокруг нее. Один из крупных недостатков теории заключался в том, что стенки источников были слишком толстыми, чтобы давать необходимую для удовлетворения этой концепции энергию. Представьте себе, сказал Димер, что вы пытаетесь использовать водяное колесо для получения электроэнергии. Если вы поставите колесо прямо под водопад, то овладеете энергией воды, падающей вертикально с большой высоты. Горизонтально она преодолевает совсем небольшое расстояние. «Но на расстоянии километра от водопада генератор работать не будет, энергии окажется попросту недостаточно», — сказал Димер.

В день моего приезда Дэвид проводил новый эксперимент. Он пригласил меня в Startup Sandbox потому, что недавно основал компанию UrRNA. Аспирант Гейб Медник из Санта-Круза стал его единственным сотрудником. У микроскопической компании Димера была одна цель: создать очередную биотехнологию, основанную на необычной химии времен зарождения жизни.

В августе 2018 г. американское Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) впервые за всю свою историю одобрило лекарство, основанное

на РНК⁴⁵. Компания Alnylam Pharmaceuticals разработала его как способ лечения транстретиновой амилоидной полинейропатии⁴⁶. Эту болезнь вызывает мутантный ген, синтезирующий дефектный белок. С годами вред от этих неправильных белков накапливается — люди чахнут, им становится трудно ходить, они мучаются судорогами и умирают от сердечных приступов.

Для разработки своего лекарства компания Alnylam изготовила липосомы по технологии, созданной при участии Димера 40 лет назад. В эти жировые пузырьки разработчики поместили специально сконструированные молекулы РНК. Липосомы проскальзывают внутрь клеток, где искусственная РНК высвобождается. Затем ее молекулы цепляются к матричной РНК поломанного гена, мешая клетке использовать ее для синтеза дефектных белков.

Успех Alnylam поднял вопрос о перспективах использования РНК для борьбы с избыточным холестерином, лечения рака и других заболеваний. Но была одна проблема: создание лекарств, основанных на РНК, стоит дорого. Компания Alnylam имитировала природу, используя ферменты для считывания искусственного гена и затем собирая молекулы РНК по одному основанию. Получив одобрение своего лекарства, компания установила цену его годового курса в 450 000 долларов.

Димер предположил, что сумеет изготовить РНК на заказ гораздо дешевле. Вместо того чтобы имитировать известную нам современную жизнь, он симитирует жизнь мира РНК. Димер и Медник запускали в свой искусственный пруд гены ДНК и затем пытались собрать комплементарные им молекулы РНК, высушивая и увлажняя пробирки. Для первой пробы они собирались изготовить молекулу РНК, которая отключала бы ген светящегося белка. Если добавить такую РНК в чашку со светящимися клетками, она захватит матричную РНК, отвечающую за этот белок, и клетки потемнеют. А когда это удастся, исследователи смогут начать работу над молекулами РНК, которые будут блокировать синтез белков, вызывающих заболевания.

Дэвид Димер понятия не имел, добьется ли он успеха. Но то, что он узнал о начальном этапе существования жизни, придавало ему уверенности, что добьется. «Все, что я делаю, — сказал он, — основывается на знании, что у жизни было начало».

НЕ ВИДНО КУСТОВ

Февральское солнце светило почти невыносимо. Я вышел из такси перед бюро пропусков Лаборатории реактивного движения (ЛРД)¹ NASA в Пасадине, штат Калифорния. Перед тем я провел несколько месяцев в холодной Новой Англии, под небом, которое в основном было либо пасмурным, либо темным, либо пасмурным и темным одновременно. Сотрудница ЛРД Лори Бардж встретила меня на проходной и повела в здание. По пути она надела темные очки Michael Kors, и ее глаза скрылись за дымчатыми стеклами. Пока мы шли по усаженному пальмами внутреннему двору, я шурился, словно шахтер, которого только что спасли из-под завала.

Я приехал в ЛРД поговорить с Бардж о ее астробиологических исследованиях. «По сути, это о том, как зарождается жизнь и как нам ее найти», — разъяснила она, когда мы устроились в тени пить кофе. Это была подходящая наука для исследователей, подобных Бардж, т. е. тех, кого с детства занимали фундаментальные вопросы. «Я хотела знать, откуда мы взялись, — рассказывала она. — Я хотела знать, откуда взялось Солнце. Откуда взялась Вселенная? Откуда взялась Земля? Почему Земля именно такая? А жизнь — она уникальна для Земли?»

Трудно было себе представить такого человека, как Бардж, где-то, кроме ЛРД. Это, наверное, самое главное научное учреждение на всей нашей планете, где исследуют возможность того, что мы не одиноки. Отправившись к Бардж, я смог впервые увидеть ЛРД своими глазами и, признаюсь, чувствовал себя словно паломник, наконец попавший в святое место.

Я принадлежу к поколению родившихся в 1960-е гг., когда земная жизнь внезапно пустила свои побеги за пределы населенной бактериями стратосферы, в космос. Тогда мы сидели по-турецки на коврах перед выпуклыми стеклянными телеэкранами, разглядывая нечеткие изображения: двуногие млекопитающие, заключенные в небольшие пузыри земной атмосферы, гуляли по Луне. В кинофильмах и телесериалах, которые мы в те времена смотрели, люди путешествовали по всей Галактике и встречались с нескончаемой чередой других форм жизни, странно напоминавших тех двуногих млекопитающих, которые откликаются на голливудские объявления о кинопробах. Казалось, началась межпланетная эра.

Но дальше Луны пилотируемая астронавтика не продвинулась, да и там задержалась не надолго. К 1970-м гг. ее амбиции сжались до околоземной орбиты. Тесные космические станции летали у нас над головами так низко, что можно было различить их блеск на ночном небе. Другие планеты исследовались машинами, а не людьми. И многие были сконструированы в ЛРД.

Именно здесь инженеры создали первые космические аппараты, улетевшие к другим планетам, — «Маринер-2», который в 1962 г. пролетел вблизи Венеры, и «Маринер-4», ставший три года спустя первым посланником человечества на Марс. Он летал над Красной планетой и делал снимки, а когда пиксели поступили в ЛРД, ученые увидели покрытую кратерами пустыню.

Среди сотрудников лаборатории были геологи, изучавшие, как планеты образовались из облаков мелких камушков. Были специалисты по атмосфере, размышлявшие о вихрях углекислого газа и сероводорода. И конечно, в штате ЛРД наличествовали биологи. Они не столько изучали известную нам жизнь, сколько задумывались о том, какой она может быть. В 1960 г. уже упоминавшийся микробиолог Джошуа Ледерберг дал этой новой области знаний название «экзобиология». Один ученый издевательски заметил, что экзобиологи, скорее, «экс-биологи». Специалисты из ЛРД не обратили на это внимания и продолжили работу над методами обнаружения внеземной жизни.

И разделились в грубом приближении на два лагеря. Первые считали, что жизнь лучше всего искать вблизи. Они собирались посылать на другие планеты исследовательские аппараты и прово-

дить там эксперименты. Для одного из подобных проектов группа экзобиологов соорудила инкубационную камеру, в которую можно будет набирать грунт с другой планеты и отслеживать, как организмы станут усваивать углекислый либо какой-то другой газ.

Во втором лагере полагали, что больше успеха принесет поиск жизни на далеких расстояниях. Главным сторонником дальнего поиска стал Джеймс Лавлок, получивший образование в Великобритании, а в 1960-е гг. работавший в ЛРД. Идея послать на Марс инкубационную камеру казалась Лавлоку до нелепости провинциальной. Не следует в поисках жизни ограничиваться той, которая играет по точно таким же правилам, — как, скажем, бактерии, населяющие земные грунты. Для Лавлока главным свойством жизни была способность сдвигать химическое равновесие — не только внутри собственных клеток, но и в масштабах целой планеты. Жизнь выделяла в атмосферу кислород. Жизнь подтачивала скалы, вымывая минералы в океан. В ЛРД Лавлок пытался сконструировать приборы, способные уловить признаки жизни в атмосферах отдаленных планет.

Поначалу самыми подходящими для поисков местами представлялись Венера и Марс. Во-первых, они, можно сказать, наши соседи, а во-вторых, оба обладают твердой корой, в отличие от газовых гигантов в более дальних областях Солнечной системы. Однако, когда «Маринер-2» долетел до Венеры, оказалось, что ее атмосфера поглощает столько солнечного тепла, что там можно плавить свинец. Экзобиологи вычеркнули ее из списка, который и без того был очень короток. Что касается Марса, то фотоснимки, переданные «Маринером-4», производили не столь безрадостное впечатление. Марсианские пустыни были холодными, изрытыми кратерами. Но ведь и на Земле жизнь не ограничивалась пышными тропическими лесами. Условия на Марсе могли быть аналогичными наиболее суровым средам обитания на нашей собственной планете.

«На самом деле наши новые знания о Марсе, в отличие от Венеры, вовсе не исключают его возможной обитаемости, — говорил в 1966 г. Норман Горовиц, глава биологического отдела ЛРД. — Можно сказать, что ситуация, хоть ее и нельзя назвать многообещающей, вместе с тем не совсем безнадежна»².

Через два года NASA занялось миссией «Викингов» — проектом по отправке двух космических аппаратов на марсианскую орбиту. Каждому предстояло сбросить зонд на поверхность планеты, чтобы познакомиться с ней поближе. Наконец летом 1975 г. «Викинги» вылетели с Земли.

В то время мне было девять лет. Космическому аппарату понадобился почти целый год, чтобы добраться до Марса, — для четвероклассника это, можно сказать, геологическая эпоха. Я ждал и ждал в надежде, что зонды обнаружат марсиан. Им было необязательно походить на голливудских статистов. Мне бы хватило марсианских змей или скунсов. Сгодились бы и куст хоть чего-нибудь или даже просто бактерия, по крайней мере для начала.

Пока «Викинги» бороздили космос, моя семья переехала из дома в пригороде на маленькую ферму. Теперь жизнь, как мне казалось, неотступно требовала моего внимания. В прудах таились каймановые черепахи; то влетая в амбар, то вылетая из него, день-деньской носились ласточки; на деревьях стрекотали цикады. Сейчас я думаю, что этот опыт ввел меня в заблуждение: я решил, будто жизнь трудно не заметить, и пришел к убеждению, что история космических исследований будет написана емкими бодрими заголовками — ЧЕЛОВЕК НА ЛУНЕ. ЖИЗНЬ НА МАРСЕ.

В июле 1976 г. «Викинг-1» сел и передал первые снимки на орбитальный аппарат, который, в свою очередь, передал их через миллионы километров на Землю, где их расшифровали инженеры ЛРД. Мы увидели эти первые снимки в вечерних новостях: серые камни на сером фоне. Это было волнующе — и вместе с тем разочаровывало. То же самое я мог увидеть, если бы улегся на живот на дорожку перед домом и посмотрел с близкого расстояния на гравий.

ЛРД дала в прямом эфире пресс-конференцию, на которой работчики «Викинга-1» принимали первые снимки. Астроном Карл Саган вглядывался в ближайший монитор, пытаясь разобрать изображение. За несколько месяцев до запуска аппарата он предполагал, что Марс могут населять многоклеточные организмы³, которые будет легко сфотографировать. Теперь он напрягал зрение с целью разглядеть хоть что-нибудь. «Тут, на этих снимках, явно нет объектов, которые, насколько я знаю, свидетельствовали бы

об обитаемости, — сказал он. Его взгляд все еще был прикован к монитору. — Не видно кустов, или деревьев, или чего-то подобного»⁴.

На следующий день с «Викинга-1» поступили первые цветные снимки. Почва оказалась красного цвета, а небо — розового. Обозревая километры ландшафта, мы не видели ни кустов, ни деревьев, ни чего-то подобного.

Потом «Викинг-1» погрузил в грунт ковш. Он принялся анализировать марсианскую почву на предмет признаков жизни. В ту пору я был слишком мал, чтобы понять, что именно с ней делают; насколько я мог судить, ее вроде как жарили. Но жизнь — она везде жизнь, и я был уверен, что анализы дадут однозначный ответ: да или нет.

Первые результаты были многообещающими, но Горовиц предостерег газету *The New York Times*, чтобы та не делала из них сенсаций. «Нет, мы не обнаружили жизни на Марсе», — сказал он. А когда «Викинг-1» провел анализ двух образцов почвы на наличие вырабатываемых живыми организмами углеродных соединений, там ничего не нашлось. «В органическом плане оба образца оказались весьма чистым материалом», — сказал Клаус Биман*.

Основоположник экзобиологии Джошуа Ледерберг впал в уныние космического масштаба. «У нас больше не может быть уверенности в том, что, куда бы мы ни заглянули, мы найдем там жизнь»⁵, — сказал он.

Я по-детски верил, что следующие полеты на Марс вскоре прояснят эту тайну. В конце концов, Саган и другие ученые говорили, что «Викинг-1» лишь первый шаг на пути непрерывных поисков жизни. Но после его удручающих результатов запал экзобиологии иссяк. Инженеры NASA продолжали строить аппараты для спуска на Марс, но их конструкция предусматривала в основном изучение геологии и атмосферы планеты.

В следующие после полета «Викинга-1» годы единственным исследованием, имевшим хоть какое-то отношение к поис-

* Клаус Биман (1926–2016) — австро-американский ученый, сотрудник МТИ, возглавлявший на этом проекте исследования по газовой хроматографии и масс-спектрометрии. — *Прим. ред.*

кам жизни, был проект подслушивания. Организованная NASA программа SETI* ставила целью отловить в небе радиосигналы от инопланетных цивилизаций. В качестве наших межзвездных ушей ЛРД предоставила свою сеть радиотелескопов. Несмотря на неприятие со стороны Конгресса США, NASA на протяжении 1980-х гг. удавалось наскрести достаточно средств, чтобы продолжать разработку планов для SETI. Агентство даже запустило свою прослушку, и та проработала год, прежде чем Конгресс закрыл проект.

«Не следует тратить драгоценные доллары на поиски зеленых человечков с уродливыми головами», — заявил Сильвио Конте, конгрессмен от штата Массачусетс, приложивший руку к остановке проекта.

Как раз в то время, когда NASA сворачивало программу SETI, один из сотрудников агентства сделал в Хьюстоне открытие, воскресившее мировой интерес к зеленым человечкам — или, по крайней мере, к зеленым микробикам. Космический центр им. Линдона Джонсона хранил коллекцию метеоритов, и в 1993 г. ученый Дэвид Миттлфелдт заметил в одном из них нечто странное. Метеорит представлял собой почти двухкилограммовый камень, обозначенный как Allan Hills 84001, сокращенно ALH 84001⁶. Его нашла еще в 1984 г. геологическая экспедиция, перебивавшаяся на снегоходах через горную гряду Алан-Хиллс в Антарктиде. Метеорит торчал прямо изо льда. Его не могло вымыть из подстилающей почвы. Поблизости не было гор, с которых он мог скатиться. Он мог только упасть с неба. После того как образец передали в Центр Джонсона, тамошние сотрудники определили его как фрагмент астероида. Камень несколько лет хранился в заполненной азотом камере, и вот им заинтересовался Миттлфелдт. Исследователь проанализировал образец, и выяснилось, что химический состав камня не похож на астероидный. Метеорит прилетел с Марса.

Эта горная порода образовалась на Красной планете 4 млрд лет назад, потом в нее врзался астероид, выбросив в космос обломки

* Search for Extraterrestrial Intelligence — «Поиск внеземного разума». — *Прим. пер.*

каменной. Наш герой дрейфовал миллионы лет, пока Земля не втянула его в свой гравитационный колодец. Тринадцать тысяч лет назад он упал в Антарктиде⁷. Он лежал себе и лежал в Алан-Хиллс, а тем временем закончился ледниковый период, появилось земледелие, выросли города и в космос устремились ракеты.

К моменту его обнаружения были известны лишь 11 марсианских метеоритов. В отсутствие способов послать геолога на Марс ALH 84001 оказался для NASA редкой и удачной возможностью изучить состав планеты. Молодой специалист Кристофер Романек тщательно исследовал камень и обнаружил пятна, указывающие на то, что в его трещины когда-то затекала вода. Если Марс на заре своей истории был таким же теплым и влажным, как Земля, то, возможно, там существовала жизнь и, возможно, она оставила после себя следы ископаемых микроорганизмов.

Романек присоединился к группе коллег под руководством Дэвида Маккея, и совместно ученые принялись искать в породе признаки жизни. Когда они подвергли ее фрагменты лазерной бомбардировке, выделились циклические углеродные молекулы, которые могут образовываться при разложении органического материала. Мощный сканирующий электронный микроскоп выявил в камне структуры в форме червячков, похожие на клетки. Когда Маккей спросил у своей тринадцатилетней дочери, что ей напоминает снимок «червячков», та ответила: «Бактерии». Затем исследовательница Кэти Томас-Кепрта обнаружила в метеорите кристаллы магнитных минералов. На Земле эти минералы производятся бактериями, которые используют их как миниатюрные компасы, помогающие ориентироваться.

Неужели ученые нашли остатки некогда живых бактерий, плававших в марсианских океанах, которые высохли миллиарды лет назад? Содержал ли метеорит ALH 84001 доказательства жизни? Или исследователей одурачил марсианский вариант эозоона?

Определение жизни по NASA не очень-то помогало. Коллектив Маккея не мог определить, являлись ли магнитные червячки самоподдерживающимися химическими системами. Если даже когда-то эти штучки и были живыми, они прекратили самоподдерживаться миллиарды лет назад. Что касается эволюции, микробиологу для ее наблюдения достаточно провести простой экспери-

мент с перекладыванием склизких бусин из пробирки в пробирку. Но исследователи из NASA не имели возможности проследить эволюционные изменения у своих загадочных структур.

Вместо этого они решили рассмотреть, как геологически и биологически соединяются атомы, и не важно, что принимается за объект исследования — неживой минерал или живая клетка. Каждый взятый по отдельности признак каменных червячков мог сформироваться и без присутствия жизни. Но в совокупности, как заключили специалисты NASA, данные свидетельствовали скорее в пользу примитивных клеток.

Когда об исследовании услышал глава NASA Дэниел Голдин, он обеспокоился, что обнаружение этого заключения кончится плохо. Конгресс только что закрыл проект SETI, а вскоре предстояло очень важное голосование по вопросам будущего финансирования агентства. Голдин созвал руководителей проекта и расспрашивал их несколько часов. В конце концов он счел их работу убедительной и не стал препятствовать публикации результатов. Статью принял журнал *Science*⁸, но еще до ее выхода в свет произошла утечка сведений. Безумные домыслы распространялись, как грипп, и NASA поспешило созвать пресс-конференцию.

Через 20 лет после того, как «Викинг-1» не нашел на Марсе жизни, одного намека на то, что 4 млрд лет назад она там все же существовала, хватило, чтобы на некоторое время завоевать телеэфир и место на первых полосах газет. Президент Билл Клинтон даже счел возможным привлечь к этому внимание, сделав заявление в Белом доме. «Если это открытие подтвердится, оно, безусловно, станет одним из самых поразительных вкладов в наши знания о Вселенной, когда-либо внесенных наукой»⁹, — сказал он.

Предсказание не сбылось. В последующие за выходом статьи годы ученые нашли новые доказательства того, что химия неживого способна производить жизнеподобные формы. В частности, ударные волны могут порождать магнитные минералы, очень схожие с теми, что были найдены в ALH 84001. Через два десятилетия после публикации той статьи журналист Чарльз Чои¹⁰ спросил у группы экспертов, что они думают об этом метеорите. И ни один из исследователей не смог поручиться, что камень содержит признаки жизни.

И все же ALH 84001 пригодился для истории науки. Бурно обсуждая вопрос, есть ли там ископаемые остатки некогда живых существ, ученые NASA вновь привлекли внимание к проблеме внеземной жизни. Если ALH 84001 не смог сколько-нибудь надежно доказать бывшее существование жизни на Марсе, стоило бы, наверное, снова полететь туда и собрать побольше данных о геологии планеты. Некоторые исследователи даже конкретно задумались, как получить новые образцы марсианских пород. Ведь совсем не обязательно дожидаться, пока астероид выбьет их при столкновении с поверхностью Красной планеты и направит к нам — космический зонд мог бы аккуратно доставить материалы на Землю в первозданном состоянии.

Мало того, дебаты по поводу ALH 84001 прищлись очень кстати: как раз в это время NASA перепрофилировало свою старую программу экзобиологии в нечто более масштабное. Новую дисциплину назвали астробиологией, определив ее как «науку о живой Вселенной»¹¹. В целях развития астробиологии NASA поддерживало ученых, подобных Дэвиду Димеру, т. е. изучавших зарождение жизни на нашей планете. Но плюс к тому поддержку получили исследования по широкому эволюционному фронту, захватившему также последующий период, когда жизнь наполнила планету кислородом и появились животные, растения и прочие многоклеточные организмы. Другие астробиологи занимались теми экзотическими формами, которые жизнь способна принимать на Земле и которые могут быть аналогами той инопланетной жизни, что в состоянии выдержать экстремальную среду обитания.

Что касается инопланетной жизни, теперь астробиологи могли задумываться не только о мирах нашей Солнечной системы, но и о небесных телах за ее пределами. В 1995 г. швейцарские исследователи обнаружили, что солнцеподобная звезда 51 Пегаса слегка колеблется из-за гравитационного воздействия вращающейся вокруг нее планеты. С тех пор астрономы открыли тысячи экзопланет всех видов и размеров. Астробиологи стали размышлять, какие из них могут быть обитаемыми. Вся известная нам жизнь нуждается для выживания в жидкой воде¹². Если планета расположена слишком близко к горячей звезде, вода выкипит. А если слишком далеко — обратится в лед.

Чем больше астробиологи раздумывали о «пригодности для обитания», тем больше сложностей возникало с этим понятием. Например, условия на планете могут со временем меняться. В 2004 г. исследователи ЛРД отправили на Марс пару марсоходов. Ползая по поверхности, те обнаружили породы, выглядевшие так, будто они образовались на дне древних рек и озер. В наши дни Марс непригоден для жизни, но вполне мог быть пригодным в прошлом.

К тому времени дети, следившие за приключениями «Викинга-1», уже выросли. Они выплачивали ипотеки и растили собственных детей. Но не только это отвлекало нас от небес. Спутники NASA обзревали сверху нашу планету и фиксировали зубчатый график роста среднемировой температуры. Мы, дети «Викинга-1», уже начинали видеть перемены собственными глазами: пруды, где мы прежде катались на коньках, перестали замерзать зимой, на улицы флоридских городов обрушивались цунами, в продаже появились дизайнерские маски к сезону лесных пожаров.

Программа SETI сумела восстать, словно феникс, из пламени парламентских прений, получив финансовую поддержку нового поколения технологических магнатов. Но шли годы, а мы не слышали никаких сигналов, кроме межзвездного шума пульсаров, черных дыр и остаточной ряби после Большого взрыва. Иные исследователи утверждали, что если экзопланеты кишат жизнью, то программа SETI не нужна. Разумные пришельцы наверняка уже вступили бы с нами в контакт — ради дружбы или завоевания. И тем не менее нас окружает так называемое Великое Молчание¹³.

К 2004 г., когда Лори Бардж поступила в аспирантуру Университета Южной Калифорнии, круг ее интересов сузился до планет Солнечной системы. «В аспирантуре я была помешана на Марсе», — рассказывала мне она.

В то время по планете разъезжали марсоходы «Спирит» и «Оппортьюнити». В числе их необычных открытий были «черничины» — так называли загадочные вкрапления миниатюрных синеватых шариков в каменистой поверхности Марса. Некоторые

геологи предположили, что марсианские «черничины» сформировались в древности, когда по карбонатным породам текла вода. Бардж училась, как именно следует проводить опыты с водой и минералами, чтобы понять, на что в принципе способна марсианская химия.

После защиты диссертации Лори приступила к работе в ЛРД. От постдока она поднялась до должности соруководителя Лаборатории происхождения жизни и пригодности для обитания. За это время ее интерес и навыки обратились в сторону химических процессов за пределами Марса. Бардж задумалась о возможности жизни в более отдаленных мирах — на ледяных спутниках Сатурна и Юпитера.

Некоторые спутники этих планет-гигантов наблюдал еще Галилей, но лишь в конце 1970-х гг. их подробные снимки были переданы на Землю пролетавшими мимо космическими аппаратами ЛРД. Одни спутники представляли собой каменные шары, изрытые кратерами. Другие были покрыты льдом. Эти замороженные миры настолько отличались от остальных объектов Солнечной системы, что исследователи заинтересовались, нет ли на них условий, пригодных для жизни¹⁴.

Особое любопытство Бардж и других ученых вызывал Энцелад — спутник Сатурна размером со штат Аризона. В 2005 г. зонд «Кассини» пролетел мимо южного полюса спутника и зафиксировал большой столб пара, поднимавшийся из гигантских разломов во льду.

Такой сюрприз заставил инженеров ЛРД изменить курс «Кассини». Аппарат вернулся к Энцеладу, чтобы подлететь к нему как можно ближе, затем еще и еще — общим счетом он возвращался 23 раза. При каждом пролете мимо спутника он засасывал облака пара и анализировал его состав. Ученые обнаружили, что выброс состоит из воды, углекислого и угарного газов, соли, бензола и ряда других органических соединений¹⁵.

Этот космический туман дал возможность подглядеть, что скрывается подо льдом. В итоге исследователи заключили, что ледяная скорлупа простирается вниз примерно на 25 км и служит сводом для соленого океана 30-километровой глубины. Хотя диаметр самого Энцелада всего 505 км, его океан намного глубже

наших. Самое глубокое место в океанах Земли — Бездна Челленджера, там чуть менее 11 км.

Энцелад удален от Сатурна на 237 000 км, но совершает полный оборот вокруг планеты всего за 33 часа. Гравитационное воздействие Сатурна постоянно растягивает ядро Энцелада — насыщенный водой шар из песка и гравия. Цикл деформаций создает достаточно трения, чтобы вода в ядре разогревалась до точки кипения. Она поднимается вверх, в океан, по дороге вступая в реакции с минералами и превращаясь в богатый химическими соединениями раствор. Из-за космического холода поверхность океана Энцелада остается замерзшей. Но в силу приливного воздействия Сатурна она покрывается разломами, через которые вырываются струи пара из теплого океана вниз.

Жидкая вода, тепло, органические соединения — на Энцеладе много компонентов, которые, похоже, необходимы для жизни. В годы, последовавшие за полетом «Кассини», Бардж и другие астробиологи стали размышлять, какие организмы могут скрываться под льдом и, если они там есть, как об этом узнать. Один из планов — вернуться на южный полюс спутника. Если в океане Энцелада обитают какие-то живые существа¹⁶, иногда они могут вылетать в космос с выбросами пара. Некоторые исследователи надеются на нанопоровые секвенаторы¹⁷, чтобы с их помощью уловить признаки жизни в ледяном тумане. Так как эти приборы достаточно компактны, они легко уместятся на борту космического аппарата, а испытания, которые проводили с секвенаторами астронавты на МКС, показывают, что они в состоянии работать в условиях низкой гравитации. Такой секвенатор, отправленный на Энцелад, сможет выделить ДНК из пара и, пропустив через нанопоры, прочесть ее.

Возможно, жизнь в других мирах основывается на ДНК, но почему бы ей не использовать для наследственности и другие молекулы? Если земная жизнь изначально была основана на РНК, нет причин исключать существование РНК-жизни и в других местах Вселенной. Но есть также вероятность, что инопланетная жизнь для записи своей наследственной информации использует совершенно другой «алфавит». Аперiodический кристалл Шрёдингера, быть может, способен принимать множество форм, которые на данный момент мы едва ли способны вообразить. Тем не менее даже

с учетом своего невежества мы, используя нанопоровый секвенатор во время пролета над Энцеладом, скорее всего, сможем обнаружить этот инопланетный вариант жизни. Если ее наследственные молекулы представляют собой длинные цепочки с инструкциями, то секвенатору удастся засосать их в свои поры и составить приблизительное представление об их внеземном коде.

Будь на то воля Бардж, NASA на Энцеладе не ограничилось бы паром второй свежести. Оно бы внедрило в океан прямо через ледяной разлом подводную лодку, которая опустилась бы на каменистое дно. Исследовательница предпочла бы не просто искать там жизнь, а изучать весь физический мир, который мог бы эту жизнь породить в прошлом или будущем.

Может быть, такая экспедиция никогда и не состоится. Может быть, проекту дадут зеленый свет, лишь когда Бардж уже уйдет на пенсию. Или, возможно, ей суждена участь Карла Сагана — растерянно вглядываться в снимки и анализы, переданные подводной лодкой с Энцелада. Тем временем Лори довольствуется попытками воспроизвести Энцелад в миниатюре. Она строит модели спутника в Отделе научного конструирования ЛРД.

Во время моего посещения лаборатории исследовательница дала мне урок конструирования лун для начинающих. Мы натянули фиолетовые перчатки, и Бардж вручила мне флакончик желтовато-зеленых кристаллов хлорида железа. По ее указанию я высыпал кристаллы в пробирку с водой, насыщенной силикатом натрия.

«Накройте ее и смотрите, что будет дальше», — сказала Лори. Я держал пробирку на уровне глаз. Большая часть кристаллов осела горкой на дне. Но через несколько секунд я увидел, как один из них растет и вытягивается вверх пузырем.

«О, у вас получается пузырь — замечательно! — сказала Бардж. — Как раз это я и хотела вам показать. Да какой *хороший*, вам повезло».

Достигнув размеров горошины, пузырек перестал расти. Теперь его верхняя часть, в свою очередь, вспучилась, и образовался новый пузырь. Когда и тот закончил расти, на его куполе появился следующий. Горка кристаллов превращалась в шишковатый столбик, тянущийся вверх со дна пробирки.

Я бы гордился своим хорошим пузырем, если бы понимал, как он у меня получился. Пришлось спросить Бардж, что же я такое наблюдаю.

«Если бы это можно было увеличить, вы бы увидели, что железосодержащие кристаллы растворяются», — ответила исследовательница. Железо в растворе тут же вступает в контакт с силикатом. Ионы железа и силикат в комбинации образуют пористую мембрану. Вода внутри мембранного пузырька становится сильно щелочной, и осмос затягивает сквозь поры внутрь ту воду, что снаружи. Сила напора жидкости разрывает вершину пузырька, раствор железа вытекает оттуда и поднимается выше, где создает очередную пористую стенку, и т. д.

Я повторял старый эксперимент. Алхимики, смешивавшие вещества подобным образом, называли свои творения философскими деревьями. Оказалось, что многие кристаллы способны в воде выстраиваться в полые столбики, а впоследствии геохимики открыли, что Земля и сама производит философские деревья. Там, где насыщенная минеральными компонентами вода поднимается со дна моря или озера, она может сформировать гигантские варианты той башни, которую я создал в лаборатории у Бардж. Исследовательница предполагала, что в лишенном солнечного света океане спутника Сатурна растут свои философские деревья.

«В сущности, на морском дне Энцелада те же условия, что встречаются в земных океанах, — сказала Бардж, — а значит, в них может существовать то же самое, что и у нас. Но, если мы хотим увидеть аналог такого столба воочию, придется спуститься под лед. Вот в чем проблема».

Чтобы составить представление о том, что же может вырасти на Энцеладе, Лори моделировала собственные столбы-башни¹⁸, испытывая различные сочетания минералов и условий, дающих такой эффект на Земле. Ее опыты были гораздо сложнее получения маленького пузырька из хлорида железа, который я сотворил под ее руководством.

В одном углу своей лаборатории Бардж моделировала в миниатюре 50-метровую башню, расположенную у побережья Исландии на гидротермальном поле Стритан. Наполнив толстый шприц

горячим раствором хлорида магния, она равномерно впрыскивала его в запечатанную колбу с составом, имитирующим морскую воду. Внутри выростала белая кисточка, видом и размером напоминавшая хвостик крольчонка.

Исследовательница планировала повторить выращивание без кислорода, как это было на древней Земле. Бардж понятия не имела, что может получиться. Когда она использовала другие вещества, башни получались то черными, то с зелеными и оранжевыми полосками. Одни образовывали лохматые перья, другие поднимались маленькими горками. Иные оказывались настолько прочными, что не разваливались, когда она сливала воду из колб. Некоторые же рассыпались, подобно замкам из песка.

«Каждая труба ведет себя по-своему», — сказала Лори.

Соорудив свои башни, Бардж получила возможность провести более детальные эксперименты. Ей удалось приспособить к этим сооружениям электроды, чтобы регистрировать генерируемый башнями электрический ток — иногда его хватало, чтобы зажечь небольшую светодиодную лампочку. В ходе другого эксперимента Бардж и ее коллеги обнаружили, что в богатых минералами отложениях вокруг столбов могут образовываться аминокислоты¹⁹ — строительные материалы для белков.

Если на Энцеладе есть жизнь, ей для дальнейшего существования нужен источник энергии. Запертая под ледяным сводом в 1,5 млрд км от Солнца, она не может полагаться на его свет. Но исследования Бардж указывают, что он, по-видимому, и не обязателен. В силу того что на Энцеладе активны приливные силы, там накопились запасы энергии — в диапазоне от выделяющихся при химических реакциях атомов водорода до генерируемых столбами-башнями электрических токов, — которые может использовать океаническая жизнь.

«Жизнь способна существовать без солнца, — говорит Бардж, — и это очень важно, поскольку означает, что она может быть и в океане подо льдом».

Меня поразило, что исследовательница употребляет слово «жизнь» мимоходом, не поясняя, что она под этим подразумевает. «Есть ли какое-то определение жизни, которым вы руководствуетесь в своей работе?» — поинтересовался я.

«Вообще-то нет, и, более того, я стараюсь его избегать, — ответила Бардж. — Меня по-настоящему удивляет и потрясает то, что может вытворять органическая химия, если убрать из системы живые организмы. И, честно говоря, я не знаю предела ее способностей».

Ответ Лори напомнил мне слова Стефана Ледюка — ученого, выращивавшего удивительные философские деревья в начале XX в. Они принимали формы раковин, грибов и цветов. Ледюк верил, что характер роста и самоорганизации его творений не просто аналог жизни. Они отчасти отражали сам дух живого. «Так как мы не можем провести границу между жизнью и остальными природными явлениями, следует заключить, что этой границы не существует»²⁰, — писал Ледюк в 1910 г.

Можно допустить, что на Энцеладе водится что-то такое, в чем мы запросто распознаем жизнь. В 2018 г. исследователи Венского университета обнаружили, что метаболизм одного из микробов, обитающих в океанических глубинах Земли, позволил бы ему выжить на спутнике Сатурна. Они воспроизвели у себя в лаборатории океан Энцелада и убедились, что этот микроорганизм способен там расти²¹. Но можно также допустить, что на Энцеладе есть нечто, не имеющее аналогов на современной Земле.

Возможно, там нет микроорганизмов. Возможно, тамошние философские деревья накапливают избыток усложняющихся с каждым годом химических соединений. В их числе могут быть липиды, образующие маслянистые пленки и пузырьки, цепочки аминокислот и РНК-подобные нити. Энцелад может оказаться ледяным вариантом дарвиновского теплого пруда, лишенным настоящей жизни, которая съела бы эти соединения. Было бы некорректным называть океан этого спутника первичным бульоном, ведь никто не в силах заглянуть в грядущее и объявить, что через тысячу лет на Энцеладе возникнет полноценная жизнь. Возможно, сейчас (что, впрочем, может длиться неопределенно долго) эта жизнь балансирует на границе, которую словами не описать²².

«Если мы найдем, допустим, клетки, которые ведут себя подобно земным, я скажу: “Ага, вот это жизнь”, — говорит мне Бардж. — Если найдутся сложные органические соединения, кото-

рые вроде бы похожи на биологические, но о том, откуда они взялись, ничего не известно, я скажу: “Возможно, но надо подождать и убедиться”. Если найдутся физические мембраны, заполненные органикой, мне будет очень интересно узнать о них побольше. Есть много чего промежуточного. Изучение жизни во Вселенной — это не только поиск жизни как таковой».

ЧЕТЫРЕ ГОЛУБЫЕ КАПЕЛЬКИ

В 560 км к северу от пробырки с радиобами Джона Батлера Бёрка и более чем на столетие позже проходит эксперимент¹, до странного похожий на бёрковский. Он разворачивается у реки Клайд, в корпусе им. Джозефа Блэка Университета Глазго. Только там нет ученых, склонившихся над лабораторными столами и занятых варкой бульона или очисткой радия. Эксперимент идет сам по себе.

Его запустил сотрудник этого университета химик Ли Кронин. Вместе со своими студентами он сконструировал робота, способного самостоятельно смешивать реактивы. Однако этот робот не ходит по лаборатории. Его остов представляет собой черную раму, закрепленную на столе. К одной из крестовин рамы приделан шприц с масляным содержимым. Он скользит по крестовине, пока не оказывается над чашкой Петри, куда выдавливает четыре голубые капельки. Когда шприц уезжает, капельки начинают двигаться.

Они ускользают друг от друга, разбегаясь к стенкам чашки. Замедляя движение, отклоняются от стенок и разворачиваются обратно. Направляются к своим капелькам-сестрам, но не сталкиваются и не сливаются. Вместо этого капельки в последний момент меняют курс и опять расходятся в разные стороны. Иногда они кружат друг вокруг друга, словно партнеры в танце, а иногда выстраиваются в группу и движутся по окружности, словно стайка рыбок в аквариуме.

В 1944 г. два психолога, Фриц Хайдер и Марианна Зиммель², сняли мультфильм с использованием вырезанных из картона двух треугольников, кружка и прямоугольной рамки. Мультфильм начинается с того, что большой треугольник находится внутри прямо-

угольной рамки. Психологи покадрово сдвигали фигуры так, что треугольник перемещался внутри рамки и одна из ее сторон в конце концов приоткрывалась. Треугольник выходил из прямоугольника и сталкивался с треугольничком поменьше и кружком.

Хайдер и Зиммель, в то время преподававшие в колледже Смита, попросили 34 своих студентов просмотреть эту короткометражку и описать, что в ней происходит. Только один испытуемый передал происходящее как перемещение группы геометрических фигур внутри и вокруг рамки. Остальные сообщали примерно следующее:

Мужчина выходит из комнаты на свидание с девушкой, а та приходит с другим. Первый мужчина велит второму убираться, второй отвечает ему тем же, но первый не соглашается, отрицательно качая головой. Затем двое мужчин начинают разборки, а девушка хочет войти в комнату, чтобы укрыться; она сначала колеблется, но все-таки входит.

Когда преподаватели попросили другую группу студентов описать характеры фигур, большинство участников исследования выбрали те же слова. Большой треугольник был «агрессивным», кружок — «испуганным», маленький треугольник — «непокорным». А когда психологи прокрутили пленку задом наперед, студенты описали совсем другие сюжеты и другие характеры.

Мультфильм Хайдера и Зиммеля помог установить, что наш мозг чутко настроен на признаки живого. Когда мы видим предметы, совершающие сложные движения, то определяем их как живых существ. Затем мы быстро интерпретируем движения этих объектов, чтобы понять их намерения. Это происходит настолько автоматически, что нам думается, будто мы видим нечто самоочевидное. Но в силу этого автоматизма мы не можем не приписывать жизнь также кружкам и треугольникам, даже если их толкают по стеклу два психолога, снимающие любительский мультфильм.

Метания капелек в лаборатории Кронина действуют на мозг таким же образом. Капельки выглядят то легкомысленными, то нерешительными, то общительными, то одинокими. Это казалось бы необычным, даже если бы Кронин тайно управлял капелями с помощью, скажем, магнитного поля. Но он не управляет

ими. Капли эти, смешав четыре несложных вещества, приготовил его робот. Одно из веществ — каприловая кислота, которая входит в состав пластика. Другое — 1-пентанол, который вырабатывается ананасами. Когда робот смешивает все четыре компонента и впрыскивает капли смеси в воду, они как будто оживают, становясь тем, что рисовалось воображению Джона Батлера Бёрка, когда он бросал радий в пробирку с говяжьим бульоном.

Эти голубые капельки — одни из самых странных обитателей пограничья жизни. Ученые ломают копья в спорах относительно вирусов — живые те или неживые, но вирусы хотя бы состоят из генов и белков. Даже липосома с несколькими кусочками РНК внутри имеет некоторое отношение к нашей собственной биологии. А капли Кронины всего лишь пузырьки, нагруженные обычными молекулами. Но тому, что создал робот в лаборатории Глазго, трудно подобрать название.

Обсуждая с Кронином его капельки, я остановился на слове «жизнеподобные». И Крону это понравилось. «Я бы сказал, что жизнеподобное предшествовало живому», — ответил он.

Биология триумфально вошла в XXI век. И пусть ученые пока не обнаружили внесемную жизнь, зато они приобрели невероятно детальные знания об обитателях нашей собственной планеты. Исследователи узнали, что гены закодированы в ДНК, которую они теперь могут прочесть быстро и недорого. Они смогли прочитать геномы неандертальцев, умерших 100 000 лет назад. Они научились извлекать из капли крови единственную клетку и составлять список всех активных в ней генов. Они сделали мозг прозрачным и проследили паутину связей между тысячами нейронов в трехмерной сети. Они нашли глубоко под землей жизнь, питающуюся радиоактивностью. И тем не менее все эти новые данные, все эти удивительные находки не связываются в четкое определение жизни, с которым бы все единодушно согласились.

Под ногами постоянно путаются живые парадоксы — вирусы, митохондрии и моллинезии-амазонки. Определение жизни по NASA, хоть и запоминающееся, не помогло самим сотрудникам агентства, когда они пытались установить, содержит ли метеоро-

рит ALH 84001 остатки живых организмов. Иные критики находят это определение не просто непрактичным, но и дезориентирующим. Оно сужает возможный круг форм, которые может принимать жизнь³.

Возьмем, например, критерий способности к дарвиновской эволюции. Это весьма специфический тип изменений во времени. Он имеет место, когда гены точно — но не идеально точно — копируются из поколения в поколение. Особи с определенными сочетаниями генов больше преуспевают в размножении, чем другие, и естественный отбор распространяет такие более приспособленные варианты дальше. Со временем он обращает многие мутации на производство новых адаптаций.

Но можем ли мы быть уверены, что где-то в другом месте эволюция не протекает как-то иначе?⁴ Разве, к примеру, нет вероятности, что другой тип биологии может допускать наследование приобретенных признаков — так называемую ламарковскую эволюцию? А что, если передача признаков возможна не только между поколениями, но и между особями в пределах одного поколения?

Эта неудовлетворенность породила вал новых определений — их уже сотни⁵.

Жизнь — это предопределенное, совокупно самоорганизованное свойство каталитических полимеров⁶.

Жизнь — это метаболическая сеть в определенных границах.

Жизнь — это новое качество, возникающее в органической химической системе вследствие диалектического перехода, порождаемого возрастанием сложности системы. Это новое качество характеризуется способностью к временному самоподдержанию и самосохранению.

Жизнь — это процесс существования открытых неравновесных целостных систем, состоящих из углеродных полимеров и способных к самовоспроизводству и эволюции на базе матричного синтеза их полимерных составляющих.

Жизнь — это неравновесная самоподдерживающаяся химическая система, способная обрабатывать, изменять и накапливать информацию, полученную из окружающей среды.

Жизнь — это монофилетическая клада, происходящая от последнего универсального общего предка и включающая всех его потомков⁷.

Как определение жизни может рассматриваться существование динамически организованной области воды, реализующей бозонную конденсацию эфемерных фотонов внутри и снаружи клетки⁸.

А вот и честное:

Жизнь — это то, что соглашаются считать ею члены научного сообщества (возможно, после некоторых конструктивных несогласий при сохранении уважения к чужому мнению).

«Часто говорят, — писали в 2018 г. исследователи Фрэнсис Уэстолл и Андре Брак, — что определений жизни столько, сколько людей, пытающихся их дать»⁹.

Как наблюдатель за наукой и учеными, я нахожу такое поведение странным. Что было бы, если бы астрономы постоянно придумывали новые определения звезд? Вот как ответил мне микробиолог Раду Попа¹⁰ (который стал собирать определения жизни с начала 2000-х гг.), когда я однажды спросил его, что он думает об этом положении дел.

«Это недопустимо в любой науке, — ответил он. — Нас устраивает, когда наука использует два или три определения одного предмета. Но та, в которой главный предмет не имеет определений? Это совершенно неприемлемо. Как мы собираемся дискутировать, если вы считаете, что жизнь определяется через ДНК, а я полагаю, что через динамические системы? Мы не можем создать искусственную жизнь, потому что не можем договориться о том, что такое жизнь. Мы не можем найти жизнь на Марсе, потому что не можем прийти к согласию по поводу того, что она собой представляет».

Пока ученые дрейфовали в океане определений, философы усердно гребли, стараясь отыскать берега жизни.

Одни пытались унять спорящих ученых, уверяя тех, что можно приспособиться жить с этой множественностью. Нам нет нужды

докапываться до Единственно Правильного Определения Жизни, заявляли они, потому что и рабочие определения вполне пригодны. NASA может выдвигать любое определение, лишь бы оно помогло сконструировать наилучший аппарат для поиска жизни на других планетах и спутниках. Врачи могут пользоваться иным определением для описания размытой границы, отделяющей жизнь от смерти. «Их [определений] ценность зависит не от консенсуса, а скорее от их значения для исследований»¹¹, — утверждают философы Леонардо Бич и Сара Грин.

Другие философы сочли этот подход, известный как операционализм, интеллектуальной отмазкой. Да, жизни трудно дать определение, но это не повод, чтобы даже не пытаться. «На практике, возможно, иногда операционализма и не избежать, — возражает философ Келли Смит, — но он попросту не сможет заменить верного определения жизни».

Смит и другие противники операционализма сетуют, что подобные определения опираются на консенсус группы людей. Но самые важные исследования жизни идут как раз на ее пограничье, где прийти к очевидному согласию труднее всего. «Ни один эксперимент, проведенный без ясного представления о том, что с его помощью ищут, никаких проблем в итоге не решит»¹², — заявил философ.

По мнению Смита, лучшее, что можно сделать, — это продолжать поиск такого определения жизни, которое все поддержат, которое подойдет там, где не подошли другие. Однако Эдвард Трифонов, генетик русского происхождения, задумался: а что, если удачное определение уже существует, просто оно погребено в завалах прошлых попыток?

В 2011 г. Трифонов рассмотрел 123 определения жизни. Все они были разными, но во многих повторялись одни и те же слова. Трифонов проанализировал лингвистическую структуру определений и разбил их на категории. За их разнообразием Трифонов обнаружил базовое ядро. Он заключил, что все определения едины в одном: жизнь — это «самовоспроизводство с изменчивостью»¹³. То, что ученые NASA сформулировали восемью словами, Трифонов уместил в три.

Его результат не положил конец спорам. У каждого из нас, включая ученых, есть персональные списки объектов, которые

мы считаем живыми либо неживыми. Если кто-либо выдвигает новое определение, мы сверяемся со списками, чтобы увидеть, где в этом случае проходит граница. Ряд ученых рассмотрел вычищенное определение Трифонова и не одобрил расположение границы. «Компьютерный вирус осуществляет самовоспроизводство с изменчивостью. Он не живой»¹⁴, — заявил биохимик Уве Майерхенрих.

Некоторые философы предлагают более тщательно обдумать, как именно мы придаем значение словам типа «жизнь». Начинать следует не с определений, а с размышлений о вещах, которым мы пытаемся дать определение. Пусть они говорят сами за себя.

Эти философы следуют традиции Людвига Витгенштейна¹⁵. В 1940-е гг. Витгенштейн указал, что обыденные разговоры избыточны понятиями, которым очень трудно дать определение. Как бы вы, например, ответили на вопрос, что такое игра?

Если вы попытаетесь в качестве ответа привести список необходимых и достаточных для нее требований, у вас ничего не получится. В некоторых играх есть победители и проигравшие, а в других состязательность отсутствует. В одних играх используются жетоны, еще в каких-то — карты, в третьих же вообще кегельные шары. В ряде игр игрокам платят за участие. В других — они сами за него платят и порой даже оказываются в долгах.

Однако, при всей этой путанице, нас нисколько не напрягают разговоры об играх. В магазинах игрушек продается множество игр, но никто не видел, чтобы дети разглядывали их в недоумении. Игры не загадка, утверждал Витгенштейн, потому что их объединяет некое родовое сходство. «Глядя на них, вы не увидите признака, общего для всех, — писал он, — но увидите сходство, связи и к тому же во множестве».

Группа философов и ученых из Лундского университета в Швеции задумалась: может быть, на вопрос, что такое жизнь, лучше всего отвечать подобно тому, как Витгенштейн отвечал на вопрос, что такое игра? Возможно, вместо того, чтобы составлять жесткий список необходимых признаков, стоит отыскивать черты базового сходства, естественным путем объединяющие предметы в категорию, которую мы называем «жизнь».

С этой целью в 2019 г. шведские исследователи начали опрашивать ученых из естественно-научной и других сфер. Был составлен

список объектов, куда входили люди, куры, моллинезии-амазонки, бактерии, вирусы, снежинки и т. п. Напротив каждого пункта лундский коллектив указал ряд понятий, которыми обычно описывается живое, такие как упорядоченность, ДНК и метаболизм.

Участники опроса отмечали понятия, которые, по их мнению, были применимы к объектам по списку. Например, снежинкам присуща упорядоченность, но не метаболизм. У человеческого эритроцита есть метаболизм, но нет ДНК.

Для оценки результатов и классификации объектов по семейным сходствам шведская группа применила статистический метод, называемый кластерным анализом. Мы, люди, попали в одну группу с курами, мышами и лягушками, т. е. к животным, обладающим мозгом. Моллинезии-амазонки тоже обладают мозгом, однако при кластерном анализе они оказались в особой группе, хотя и близкой к нашей. Так как эти рыбки не размножаются самостоятельно, они немного в стороне. Еще дальше ученые выявили кластер, включавший организмы без мозга, такие как растения и свободноживущие бактерии. В третью группу попал кластер эритроцитов и других клеткоподобных объектов, неспособных жить самостоятельно.

Дальше всего от нас оказались объекты, которые обычно не относят к живым. В один такой кластер вошли вирусы и прионы (деформированные белки, способные заставлять другие белки принимать их форму). В другой — снежинки, кристаллы глинистых минералов и другие объекты, неспособные воспроизводиться так, как живые.

Лундские исследователи обнаружили, что объекты достаточно легко поделить на живые и неживые, не увязая в споре о точном определении жизни. Они предполагают, что живым можно назвать объект, который обладает рядом признаков, ассоциирующихся с жизнью. Он не обязан обладать всеми этими признаками; необязательно даже, чтобы у всех живых существ был один и тот же их набор. Достаточно определенного сходства.

Куда более радикальный подход избрала философ Кэрол Клиланд. По ее мнению, нет смысла искать определение жизни или даже просто удобный его заменитель. Она полагает, что это в действительно-

сти вредит науке, так как мешает нам достичь более глубокого понимания, что значит быть живым. Клиланд питает столь сильное презрение к определениям, что некоторых из ее собратьев-философов это встревожило. Келли Смит назвал подобные идеи опасными.

Клиланд не сразу стала мятежницей. Поступив в Калифорнийский университет в Санта-Барбаре, она начала с изучения физики. «В лаборатории я была криворукой, мне ни один опыт не удавался», — говорила она позже в интервью. С физики Клиланд переключилась на геологию, и, хотя ей нравилось бывать в глуши с экспедициями, ей было некомфортно чувствовать себя редкой женщиной среди мужского засилья в этой области науки. На третьем курсе Кэрол открыла для себя философию и вскоре увлеклась фундаментальными вопросами логики. Окончив учебу и год проработав программистом, она пришла в Университет Брауна защищать диссертацию по философии.

В аспирантуре Клиланд размышляла о пространстве и времени¹⁶, причинах и следствиях. Вот образец ее рассуждений того периода:

Бинарное отношение R *супервентно* детерминированному нереляционному атрибуту тогда и только тогда, если:

1. $\square (\forall x, y) \diamond [R(x, y) \text{ и отсутствуют детерминированные атрибуты } P_i \text{ и } P_j \text{ детерминированного рода } P, \text{ такие, что } P_i(x) \text{ и } P_j(y)]$;
2. $\square (\forall x, y) \{R(x, y) \supset \text{существуют детерминированные атрибуты } P_i \text{ и } P_j \text{ детерминированного рода } P, \text{ такие, что } P_i(x) \text{ и } P_j(y) \text{ и } \square (\forall x, y) [(P_i(x) \text{ и } P_j(y)) \supset R(x, y)]\}$.

Окончив аспирантуру, Клиланд переключилась на темы, более подходящие для застольной беседы в гостях. Некоторое время она проработала в Стэнфордском университете, занимаясь логикой компьютерных программ¹⁷. Потом стала доцентом в Колорадском университете, где и продолжила работать.

В Боулдере* Клиланд обратила внимание на природу самой науки. Она размышляла, почему в одних науках, вроде физи-

* В этом городе находится основной кампус Колорадского университета. — Прим. ред.

ки, ставятся эксперименты и их можно повторять и повторять, а в других, например в геологии, экспериментов нет, ведь нельзя воспроизвести миллионы лет истории. Как раз когда Клиланд пыталась осмыслить эту разницу, она и услышала о марсианском камне из Антарктиды, который сам по себе представлял философскую головоломку.

Немалая доля споров вокруг ALH 84001 была связана не столько с самим метеоритом, сколько с вопросом, как правильно заниматься научными исследованиями. Одни ученые считали, что коллектив NASA провел великолепную работу по изучению метеорита, а другие — что из полученных ими результатов нелепо делать вывод, будто находка содержит окаменелости. Планетолог Брюс Якоски, один из коллег Клиланд по Колорадскому университету, решил организовать открытую дискуссию, в ходе которой обе стороны могли бы изложить свои взгляды. Но он понимал, что только анализ для выявления, скажем, магнитных минералов недостаточно для интерпретации ALH 84001. Требуется обдумать, как мы вообще делаем научные интерпретации. Якоски пригласил Клиланд поучаствовать в этом мероприятии и высказаться об ALH 84001 с философской точки зрения.

Подготовка на скорую руку к выступлению обернулась погружением в философскую проблему внеземной жизни. Исследовательница пришла к выводу, что баталии из-за ALH 84001 обусловлены различием между экспериментальными и историческими науками. Ошибка критиков состояла в том, что они трактовали исследование метеорита как экспериментальную науку. Было бы абсурдно требовать от сотрудников Маккея прокрутить историю заново. У них не было возможности оставить бактерии окаменевать в течение 4 млрд лет на Марсе и посмотреть, получилось ли что-то похожее на метеорите ALH 84001. У них не было возможности столкнуть тысячу астероидов с тысячей реплик Марса и посмотреть, что долетит до нас.

Клиланд заключила, что команда NASA провела качественное исследование по меркам исторических наук, сравнивая объяснения и подбирая те, которые наилучшим образом трактовали полученные данные. «Гипотеза жизни на Марсе — очень хорошая кандидатура на наилучшее объяснение структурных и химических

особенностей марсианского метеорита»¹⁸, — писала она в 1997 г. в журнале *The Planetary Report*.

Работа Клиланд о метеорите произвела такое впечатление на Якоски, что в 1998 г. он пригласил ее сотрудничать в один из коллективов только что созданного Института астробиологии NASA. В последующие годы исследовательница разрабатывала философские обоснования того, какой должна быть наука астробиология. Базу для своих идей она получала в общении с учеными, занимавшимися разными видами изысканий, которые так или иначе относились к астробиологии. Вместе с одним палеонтологом Клиланд путешествовала по австралийской глуши в поисках объяснений, почему там 40 000 лет назад вымерли гигантские млекопитающие. Она ездила в Испанию, чтобы узнать, как генетики секвенируют ДНК. Она также проводила много времени на научных конференциях, посещая один доклад за другим. «Я чувствовала себя словно ребенок в кондитерской», — призналась мне как-то исследовательница.

Но иногда, общаясь с учеными, Клиланд слышала свой философский тревожный звоночек. «Все работали с определениями жизни», — вспоминала она. Определение NASA, которому в ту пору было лишь несколько годков, пользовалось особой популярностью.

С философских позиций, как замечала Клиланд, ученые совершают ошибку. Эта ошибка не имела отношения к детерминированным атрибутам или прочим философским тонкостям, понятным лишь немногочисленным логикам. Это был фундаментальный просчет, ставший помехой науке как таковой. Природу такой ошибки исследовательница изложила в специальной статье и в 2001 г. отправилась в Вашингтон, округ Колумбия, чтобы сделать по ней доклад на конференции Американской ассоциации содействия развитию науки. Она выступила перед аудиторией, состоящей в основном из ученых, и заявила, что пытаться искать определение жизни бесполезно.

«Поднялась буря, — вспоминала Клиланд. — Все на меня орали. Это было просто поразительно. У каждого было свое любимое определение, и каждый хотел его озвучить. И вот пришла я и сказала им, что вся эта идея с определениями — негодная».

К счастью, некоторые из слушателей доклада Клиланд сочли, что в нем что-то есть. С целью выяснить, что же следует из ее идей, исследовательница начала сотрудничать с астробиологами. За два десятилетия она опубликовала ряд статей, собранных в конце концов в книгу «В поисках универсальной теории жизни» (The Quest for a Universal Theory of Life)¹⁹.

Затруднения, которые испытывали ученые с определением жизни, не имели отношения к специфике признаков живого, таких как гомеостаз или эволюция. Они были обусловлены природой самих определений — обстоятельством, которому редко уделяют внимание ученые. «Определения, — писала Клиланд, — непригодны в качестве инструментов для ответа на научный вопрос “Что такое жизнь?”»²⁰.

Определения полезны для организации наших понятий. Например, «холостяк» определяется однозначно: это мужчина, не состоящий в браке. Если вы мужчина и не состоите в браке, то вы по определению холостяк. Чтобы быть холостяком, недостаточно просто быть мужчиной или просто не состоять в браке. Но вот на вопрос, что такое мужчина, не всегда легко ответить. Свои сложности и с понятием «брак». Однако мы можем определять холостяка, не углубляясь в сии запутанные материи. Это слово хорошо тем, что связывает указанные понятия точным отношением. И именно потому, что определения выполняют столь узкую функцию, мы не можем пересмотреть их путем научного исследования. У нас попросту нет метода, с помощью которого мы могли бы когда-нибудь обнаружить, что определение холостяка как не состоящего в браке мужчины неверно.

Жизнь — нечто иное. Это не тот предмет, который можно определить через простое соединение понятий. Следовательно, бессмысленно искать перечень признаков, который выдаст истинное определение жизни. «Нас не интересует, что для нас означает слово *жизнь*, — писала Клиланд. — Нас интересует, чем жизнь *является*». И если мы хотим удовлетворить свой интерес, рассуждает исследовательница, нам следует отказаться от поисков определения.

До наступления эпохи современной химии алхимики пытались определить воду примерно тем же способом, которым мно-

гие биологи определяют жизнь, — составляя список ее свойств. Вода жидкая, прозрачная, является растворителем для других веществ и т. д. Однако это определение не только не проясняло тайн воды, но и приводило алхимиков к новым затруднениям, когда они обнаруживали, что не вся вода одинакова. Конкретные разновидности воды растворяли конкретные вещества и не растворяли другие. Алхимики стали давать этим «водам» различные названия. Но они попадали в еще бóльшие затруднения, видя, что вода может замерзнуть или выкипеть. Лед и пар не обладают свойствами жидкой воды. Алхимики были вынуждены объявить их совершенно иными сущностями.

Орешек оказался таким крепким, что сам Леонардо да Винчи запутался:

И потому она [вода] то жгучая, то крепкая, то кислая, то горькая, то пресная, то густая, то жидкая, порой она несет вред или болезнь, порой дарует здравие, а порой отравляет. Исходя из этого, можно сказать, что она претерпевает изменения своей природы столько раз, сколько существует мест, через которые она проходит. И подобно тому, как зеркало меняется в зависимости от цвета отражаемого, так и она в зависимости от природы места, через которое проходит, становится оздоравливающей, тлетворной, слабительной, вяжущей, серной, солевой, кровавой, скорбной, бурной, злой, красной, желтой, зеленой, черной, синей, маслянистой, жирной, тощей²¹.

Искусное создание нового определения воды не избавило бы Леонардо от неведения. Трудность заключалась в другом. А именно в том, как мало он и другие люди эпохи Ренессанса знали о химии.

Понадобилось три столетия, чтобы сложилась развитая химическая теория, объяснившая, что Вселенная состоит из атомов множества элементов, которые могут соединяться и образовывать различные молекулы. Оказалось, что вода, когда-то считавшаяся чистым элементом, состоит из молекул, представляющих из себя конкретную комбинацию двух элементов — два атома водорода на один атом кислорода. Из этих молекул состоит как жидкая вода

в озере, так и та, что содержится в кубике льда или облаке пара. Химики также установили, что «крепкая водка» и «царская водка» вообще не являются водой, ибо состоят из других молекул.

Но даже формула H_2O не определение воды. Единичная молекула не умеет того, что умеет вода. Например, когда та замерзает, то расширяется, поскольку множество молекул H_2O самопроизвольно складываются в кристаллическую решетку. По словам Клиланд, «сказать о воде, что это H_2O , значит ничего о ней не сказать». Однако знание формулы H_2O открывает путь к новым знаниям о природе этого вещества.

В отношении жизни, утверждает исследовательница, мы всё еще алхимики. Мы опираемся на интуицию, определяя, какие объекты живые, а какие неживые и составляя произвольные списки их общих признаков. Мы маскируем наше невежество определениями, которые никогда не ухватывают суть того, что мы пытаемся понять. Лучшее, что могут делать ученые прямо сейчас, по мнению Клиланд, — это стараться создать теорию, объясняющую жизнь.

Я знаком со многими исследователями, которые в этом согласны с Клиланд. У них еще нет теории живого. Они уверены, что когда-нибудь такая теория появится, но пока остается только гадать, какой же она окажется. Ученые словно вглядываются в тени, которые отбрасывает на нас из будущего эта теория. Как-то я попросил одного биофизика описать, что будет в ней сказано. «В ней будет сказано, что *должна* собой представлять жизнь», — ответил он.

Теории не возникают из ничего. Они появляются только тогда, когда ученые проведут уже тучи нудных измерений окружающего мира. Создатели современной химии поставили бесчисленное количество опытов, чтобы определить соотношение элементов в воде и других соединениях. Они открыли, что эти соотношения простые и выражаются целыми числами. Вода, как выяснилось, состоит из двух частей водорода, которые приходятся на одну часть кислорода. Метан — из четырех частей водорода на одну часть углерода. Эти кропотливые расчеты породили фундамен-

тальную догадку, что такие соединения — молекулы, состоящие из атомов.

Некоторые ученые наших дней полагают, будто теорию жизни можно получить лишь через уточнение измерений живого. Они изобретают инструменты для четкого определения времени, когда включаются и выключаются гены, измерения скорости роста клеток, установления взаимосвязей, с помощью которых живые существа воспринимают окружающий мир и принимают решения, что делать дальше. Возможно, пройдут десятилетия, прежде чем эти точные измерения покажут закономерности, которые позволят ученым сформулировать полноценную теорию.

Другие исследователи не столь терпеливы. Они создают теории²² на основе того, что уже известно науке. Даже простой набросок подобной теории может оказаться полезен, утверждают они, хотя бы только для того, чтобы подсказать исследователям, что именно нужно измерить для дальнейшего ее развития.

Первые теории жизни сформировались, как только в середине XX в. молекулярные биологи установили некоторые базовые законы строения ДНК и белков. Поначалу лишь немногие ученые осмеливались создавать теории, и работы большинства из них никто не замечал. Отчасти в этой незаметности были повинны они сами. Они изобретали собственные языки для осмысления своих идей и не особо заботились о том, чтобы другие их поняли. Ходит байка, будто двое таких теоретиков, Роберт Розен и Франсиско Варела²³, встретились на научной конференции. Они вообще не смогли придумать, что бы друг другу сказать.

Но при всем взаимном непонимании мысли теоретиков жизни шли во многом общими путями. Ученые разрабатывали краткие характеристики жизни²⁴, описывающие наблюдаемые свойства живых существ. Для этого требовалось отрешиться от чудес и загадок питонов и слизевиков и обнаружить основные условия, необходимые организму, чтобы оставаться живым²⁵. Теоретики оказались в роли физиков, впервые увидевших самолет. Если те захотят разобраться, как он летает, изучение современного воздушного лайнера станет для них напрасной тратой времени. Они запутаются в мониторах, кнопках вызова и тележках для еды. Чтобы узнать что-то существенное о полете как таковом, физикам

лучше бы поехать в Китти-Хок и посмотреть на аэроплан братьев Райт с его простыми крыльями из еловых и ясеневых досок.

В 1960-е гг. к этому крохотному сообществу присоединился студент-медик Стюарт Кауфман²⁶. В то время биологи как раз начали выявлять принципиальные связи между генами и белками, благодаря которым и возможна жизнь. Они узнали, что определенные гены становятся активными, только если на ДНК поблизости есть определенный белок. Они нашли некоторые звенья в длинных цепочках реакций, осуществляющих метаболизм. Кауфман задумался, не скрываются ли за головоломными подробностями поведения конкретных белков у конкретных видов некие особые принципы.

Кауфман разработал своего рода клеточную алгебру, которую применил для компьютерного моделирования гипотетических генов и белков. В ходе одного из экспериментов он попытался смоделировать простейший метаболизм. В качестве пищи он предложил использовать два вида молекул, условно говоря А и Б. У них была определенная вероятность соединиться друг с другом в более крупную молекулу АБ. У АБ, в свою очередь, была определенная вероятность тоже с чем-то соединиться и образовать еще более крупные молекулы. Присоединение дополнительной Б давало АББ, объединение двух АБ давало АБАБ. Смоделированный Кауфманом метаболизм позволял укрупнять молекулы, но автор также запрограммировал возможность для части крупных молекул расщепляться обратно на фрагменты.

Применяя различные правила синтеза и расщепления молекул, Кауфман испытал ряд метаболических сетей. Большинство из них мало к чему привело. Таким сетям удавалось лишь усваивать скормленные им А и Б и синтезировать небольшие молекулы, крупные же не получались. Однако исследователю то и дело попадались сети, которые выглядели жизнеспособными. В подобных сетях, как обнаружил Кауфман, некоторых из возможных молекул становится все больше и больше. Этих некоторых стало очень много, и они продолжали изобиливать, пока экспериментатор продолжал кормить сеть.

Кауфман нашел, что успешные молекулы объединены в циклы химических реакций. Первая молекула стимулировала рост второй, которая стимулировала рост третьей, и т. д. вплоть до послед-

ней молекулы в цикле, которая помогала первой. Как только молекул каждого типа становилось больше, они помогали синтезу своих партнеров в самоподдерживающемся цикле.

Такие сети исследователь назвал автокаталитическими системами, что вызывает в памяти слово «катализатор», означающее любое вещество, которое ускоряет химическую реакцию между двумя другими веществами. Ферменты как раз один из видов катализаторов, есть и катализаторы-металлы. Например, в нейтрализаторах автомобильных двигателей для уменьшения токсичности выхлопных газов в качестве катализатора используется платина. Нефть — продукт катализаторов, действующих в недрах земли под дном океана²⁷. По утверждению Кауфмана, автокаталитические системы отличаются от обычных катализаторов тем, что их компоненты катализируют друг друга.

Хотя ученый открыл автокаталитические системы компьютерным путем, он пришел к убеждению, что они отражают некое ключевое свойство жизни. Исследователь предположил, что и живые существа поддерживают свою жизнь за счет сети молекул — естественно, настоящих, а не компьютерных²⁸. Теория жизни, опирающаяся на автокаталитические системы, не будет нуждаться в таинственных витальных силах, наделяющих жизнью неживую материю. Когда Кауфман моделировал случайные системы, в них самопроизвольно формировались автокаталитические циклы.

К 1980-м гг. его идеи по поводу автокаталитических систем были признаны и другими учеными. Теория Кауфмана оказалась полезным руководством к размышлению о живом. Но поначалу исследователи могли наблюдать подобные системы в действии лишь на компьютере, где сетям предлагался цифровой корм. Однако затем химикам удалось создать автокаталитические системы не из нулей и единиц, а из настоящих молекул. Одну из самых сложных таких систем создал Реза Гадири²⁹, химик из Исследовательского института Скриппса*. Он со своими коллегами исполь-

* Исторически сложилось, что этот институт в русскоязычном пространстве называют так, хотя имя учреждение получило в честь основательницы института журналистки и филантропки Эллен Браунинг Скриппс (1836–1932). — *Прим. ред.*

зовал небольшие аминокислотные цепочки — пептиды. Экспериментаторы создали набор пептидов, способных выстраивать пептидные фрагменты в линию и соединять их. Смешав десятки различных пептидов и пептидных фрагментов, ученые оставили этот коктейль настаиваться без помех. В итоге самопроизвольно возникла автокаталитическая система из девяти пептидов, способных выстраивать друг друга из фрагментов и плодить миллионы новых копий.

Получается, что автокаталитические системы не просто математические фантазии. Но из этого не следует, что они типичны для природы. Смесь химических соединений с гораздо большей вероятностью просто достигнет равновесия, и реакции дальше не пойдут. Почему автокаталитические системы возникают редко, пока не понятно. Возможно, для них необходим приток молекул в нужном соотношении, иначе они не смогут создавать достаточное количество новых соединений для поддержания нужных реакций. Возможно также, что подобные системы имеют тенденцию схлопываться и разваливаться. Только если они обладают быстро восстанавливающейся структурой, например в их циклы вложены другие циклы, они способны выдерживать трудные периоды, когда нужных ингредиентов не хватает.

Ученым придется решить подобные вопросы, прежде чем идея автокаталитических систем сможет стать компонентом полноценной теории жизни³⁰. Не исключено, что такая теория сумеет объяснить, как жизнь поддерживает свое существование, а возможно даже, что еще важнее, как она возникла. В 2019 г. Стюарт Кауфман с двумя коллегами проанализировал сценарий Дэвида Димера, согласно которому жизнь началась с РНК-содержащих протоцитов в пересыхающих водоемах. Исследователи дали приблизительные оценки разнообразия молекул РНК, которые могли образоваться в таком пруду, и пришли к выводу, что один-единственный водоем был вполне способен породить автокаталитический набор молекул РНК. Однажды начавшись, этот самоподдерживающийся химический процесс³¹ мог затем привести к эволюции живых существ. Иными словами, жизни могли предшествовать автокаталитические системы.

Живые объекты особенные, но они не единственное, что есть особенного во Вселенной. В 1911 г. голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес³² обнаружил, что тонкий провод из ртути при охлаждении до температуры, близкой к абсолютному нулю, становится более чем особенным. При обычных температурах ток, проходя по металлической проволоке, теряет часть энергии — это свойство материала называется сопротивлением. Когда Камерлинг-Оннес охлаждал свой ртутный провод в жидком гелии, сопротивление металла постепенно снижалось, пока температура не достигла $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$. И тут оно внезапно падало до нуля. Если ученый делал из провода петлю, ток мог проходить по ней сколь угодно долго безо всяких потерь.

«Ртуть перешла в новое состояние, — объявил Камерлинг-Оннес, — которое в силу его необычайных электрических свойств может быть названо состоянием сверхпроводимости».

Впоследствии голландский ученый обнаружил, что и другие металлы, например олово и свинец, способны переходить в это новое состояние при температурах, близких к абсолютному нулю. Определенные сплавы могли становиться сверхпроводимыми и при более высоких температурах. Физики бросились изучать сверхпроводимость во всех ее проявлениях, надеясь найти материалы для принципиально новых технологий. Но проходили десятилетия, а их исследования сводились главным образом к методу проб и ошибок. Обычная физика, казалось, была не способна объяснить это явление, и в том, почему одни вещества обладали сверхпроводимостью, а другие нет, не виделось ни складу ни ладу.

Попытался объяснить сверхпроводимость и Альберт Эйнштейн — с помощью красивой теории³³, которая оказалась ошибочной. То же случилось с Нильсом Бором, Ричардом Фейнманом и другими ведущими физиками XX века. Наконец в 1950-е гг. Джон Бардин, Леон Купер и Роберт Шриффер выдвинули теорию, которая придала смысл всей этой бессмыслице. Сопротивление — результат беспорядочной скачки электронов, из-за которой энергия тока рассеивается во все стороны. Исследователи предположили, что часть электронов сверхпроводящего материала образует пары, движущиеся в одном направлении. Их упорядоченность

противодействует хаосу проводящего металла, уничтожая все сопротивление току. Новая теория сверхпроводимости объяснила, почему одни металлы достигают этого странного состояния, а другие нет, и помогла приблизить такое необычное состояние материи к нашей повседневности — явление сверхпроводимости используется в магнитах, обеспечивающих магнитную подушку для скоростных поездов, и в микропроцессорах, которые, возможно, станут мозгом нового поколения компьютеров.

Теория жизни может в итоге стать чем-то вроде теории сверхпроводимости. Не исключено, что она объяснит жизнь как особую конфигурацию материи, приобретающую специфическое качество в силу законов физики Вселенной. Ли Кронин, в сотрудничестве с Кейт Адамалой и физиком из Университета штата Аризона Сарой Уокер, работает над объяснением жизни как особого способа соединения объектов и явлений. Исследователи называют его теорией сборки.

Историю Вселенной можно представить как 13,7 млрд лет такого соединения. После Большого взрыва субатомные частицы образовали атомы водорода. Из соединившихся атомов водорода возникли атомы гелия. Из водорода и гелия собрались звезды, а в их звездных кузницах выплавились новые элементы. Атомы собирались в молекулы, молекулы становились пылинками. Из них образовывались планеты и спутники. На Земле в небесах кристаллизовались снежинки, в недрах — минералы.

Едва возникнув, жизнь принялась создавать собственное добро. Организмы стали синтезировать сахара и белки, строить клетки. Они обзавелись клыками и цветами. Животные строили ульи, бобровые хатки, катамараны и космические зонды. Кронин, Адамала и Уокер совместно с коллегами разрабатывали объективный метод сравнения сборки предметов, живых или неживых.

Подобная сборка происходит пошагово. Простой молекуле, чтобы образоваться из атомов, может быть достаточно одного шага. Но для присоединения добавочных атомов или соединения двух молекул вместе нужны следующие. Кронин и его коллеги нашли способ оценить, сколько шагов потребуется для синтеза молекулы: надо расщепить ее. Представьте себе молекулы в виде конструкций лего, которые можно разбирать случайным обра-

зом. Если вам дали 100 конструкций, каждая из которых состоит лишь из двух деталей лего, всё, что вы сможете, — это разобрать каждую на те же две детали, повторяя действие вновь и вновь. А теперь представьте, что вам вручили собранную из лего модель Хогвартса со всеми башенками, контрфорсами и аркадами. Ее можно разложить на множество разнообразных фрагментов. Кронин и его коллеги обнаружили, что число фрагментов, на которые можно расщепить молекулу, хорошо предсказывает количество шагов, которые требуются для ее синтеза.

Ученые провели исследование методом дробления, расщепив свыше сотни различных материалов. Они раскрошили кварц и известняк. Они разбили на составляющие препарат таксол, молекулы которого вырабатываются тисом, — это вещество служит эффективным средством против рака. Они последовали рецепту Стэнли Миллера и изготовили первичный бульон, а затем снова расщепили его молекулы. Они разобрали на части пиво и гранит.

Исследователи установили, что материалы, не созданные живой природой, требуют менее 15 шагов³⁴ для сборки. Даже когда они провели опыт с крохотным кусочком Мерчисонского метеорита — набитого липидами, аминокислотами и другими кирпичиками жизни, они не нашли ни одной молекулы, для образования которой потребовались бы 15 шагов. «Хотя там миллиард молекул, все они скучные», — сказал мне Кронин.

А живые существа, напротив, не скучные. Исследователям случалось собирать простые молекулы, но наряду с этим они синтезировали и необычайно сложные, причем некоторые из них требовали для своего создания гораздо больше 15 шагов.

Может быть, теория сборки выявила границу, отделяющую живое от неживого. Может быть, обычные химические процессы не способны создать материал, для сборки которого нужно 15 и более шагов. При достаточном-то количестве времени произойдет какая угодно реакция. Но шансы, что ряд определенных реакций будет протекать в нужном порядке и тем более повторяться, исчезающе малы. Жизнь же — это такое состояние материи, при котором самопроизвольно возникает то, что требует множественных шагов сборки.

Адамала, Кронин и Уокер полагают, что фактор, дающий жизни эту способность, — ее необычные отношения с информацией. В живом мире информация умеет управлять материей³⁵. Гены и другие молекулярные структуры могут хранить информацию, копировать ее в потомстве и затем направлять по белковым сетям для выполнения точных задач, например создания объектов с помощью многоступенчатой сборки.

Теория сборки может предложить метод поиска жизни на других планетах. Возможно, нам удастся обнаружить ее на планетах вокруг других звезд, сидя дома. С помощью телескопов астрономы исследуют атмосферы экзопланет на молекулярный состав. Если они обнаружат обилие молекул с высоким числом ступеней сборки, то можно не сомневаться, что эти молекулы появились не в результате случайных химических процессов. Их синтезом могла управлять только информация.

Но и Кронину нет нужды дожидаться, пока зонд стоимостью в миллиард долларов долетит до другого конца Солнечной системы или на околоземную орбиту выведут новый космический телескоп. «Я уже сейчас могу заняться поиском форм жизни у себя в лаборатории, — говорит он. — Забудьте вопросы, похожа ли жизнь на огонь и должен ли у нее быть метаболизм. Спросите лучше, сколько у объекта признаков и могли ли все они вместе сложиться случайно. И много ли таких объектов? Если признаков много, то объект живой. Если мало, вы не сможете этого определить».

В качестве исходного материала для создания жизни Кронин выбрал капельки. Они даже проще, чем липосомы Дэвида Димера, — это всего лишь масляные кляксы. Они образуют группки только потому, что им трудно связываться с молекулами воды. Добавляя к маслу другие химические соединения, можно заставлять эти капли совершать много интересного. Спирт, например, притягивается и к молекулам масла, и к молекулам воды. Когда Кронин вмешивает спирт в каплю, тот медленно вытекает из нее. Выходя наружу, каждая молекула спирта слегка подталкивает каплю, двигая ее в противоположном направлении. Чем больше вытекает спирта, тем сильнее кажется, что капелька целенаправленно плывет. Другие комбинации веществ заставляют капли

вести себя иначе. Даже малейшее изменение рецепта может привести к неожиданному их поведению.

Собравшись исследовать эту вселенную возможностей, Кронин осознал, что ему и его команде не под силу провести столько опытов вручную. Им пришлось сконструировать робота для их осуществления. Кронин назвал его DropFactory — «Фабрика капель». И робот приступил к проведению тысяч серий опытов. Чтобы получить капли, способные быстро двигаться, он начал с того, что смешал четыре вида масел и разлил капельки по чашкам Петри. После этого он ставил чашки под видеокамеру для съемки, затем ополаскивал их и смешивал масла в новом сочетании. Некоторые составы давали капли, которые никак не желали шевелиться, другие же ускоряли их движение. «Фабрика капель» применяла эти результаты для моделирования химии капелек, уточняя модель с каждым новым экспериментом и учитывая результаты уточнения. Под конец этой машинной эволюции капельки носились по чашке Петри подобно щенкам на собачьей площадке.

«Фабрика капель» может обучаться изготавливать капли с другими способностями. Робот создал рецепт, заставивший капли дрожать, словно Глазго в тот момент находился в эпицентре землетрясения. В другом опыте капельки приобрели способность делиться пополам и давать выводок капелек-деток. Исследовательская группа Кронина заложила в программу робота любопытство — чтобы он сам замечал необычные новые виды поведения и усиливал их. Робот подобрал такой состав масла, что его капельки, вялые при комнатной температуре, начинали скакать, стоило ей подняться всего на несколько градусов.

Эти жизнеподобные капли, эти скачущие шарики активной материи — не жизнь. Но они могут быть репетицией ее создания. В эти капли Кронин планирует внедрить новые химические соединения — сахара, пирит, силикаты, которые в его лаборатории усердно создает при помощи отдельных циклов химических реакций другой робот.

Кронин надеется, что его роботы в конечном итоге создадут капли, которые окажутся способными к сложному поведению и осуществлению сложных химических реакций синтеза новых соединений. Возможно, эта пребиотическая эволюция будет бла-

гоприятствовать соединениям, подходящим для хранения информации и передачи ее при делении капли на две. Кронин надеется, что его капельки смогут имитировать автокаталитические системы Кауфмана, объединившись для осуществления сложных химических процессов, с которыми одна капля не справится.

В принципе, теория сборки способна помочь Кронину и его коллегам увидеть смысл в изменениях, происходящих с каплями. Если те начнут синтезировать химические вещества, которые невозможно создать без процессов, управляемых информацией, тогда ученые смогут объявить эти капли живыми. Исследователь из Глазго не удивится, если химия, которая их оживит, не будет иметь ничего общего с известной нам жизнью, основанной на ДНК и даже РНК. «Это все равно как утверждать, будто гравитации подчиняется только определенный вид камней», — говорит он.

Кронину известно, что многие ученые скептически воспринимают идею, будто робот сможет создать жизнь из простых соединений. Ведь как ни крути, у нашей планеты эта задача отняла немало времени. Но исследователь полагает, что такое мнение ошибочно. Первичные молекулы были слишком нестойкими, чтобы сохраняться достаточно долго. Если жизнь действительно возникла, она должна была сформироваться быстро.

«Подсчет на коленке говорит, что за 10 000 часов, — сообщил Кронин. — Я в значительной степени уверен, что мы решим проблему происхождения жизни в ближайшие несколько лет. И тогда все скажут: “О, это оказалось так просто”».

Уверенность исследователя была одновременно столь искренней и столь непривычной, что я запланировал приехать в Глазго и посетить его лабораторию через десять лет — либо полюбоваться стадом живых капель, либо увидеть, что происходит, когда очередного ученого одолевают его радиобы.

«Или я сошел с ума, — объявил Кронин, — или же абсолютно прав».

ПРИМЕЧАНИЯ

ВВЕДЕНИЕ. ПОГРАНИЧЬЕ

- 1 Cavendish Library 1910; Thomson 1906.
- 2 Цит. по: Guardian 1905, p. 6.
- 3 Биографические подробности приводятся по: “Mr. J. V. Butler Burke” 1946; Burke 1906; Burke 1931a; Burke 1931b; Campos 2006; Campos 2007; Campos 2015; “A Filipino Scientist” 1906.
- 4 Цит. по: Burke, б/д.
- 5 Там же.
- 6 Цит. по: Vadash 1978, p. 146.
- 7 Burke 1903, p. 130.
- 8 Цит. по: Burke 1905b, p. 398.
- 9 Цит. по: Burke 1906, p. 51.
- 10 Satterly 1939.
- 11 Burke 1905a.
- 12 Цит. по: “The Origin of Life” 1905, p. 3.
- 13 Hale 1905.
- 14 Цит. по: “The Cambridge Radiobes” 1905, p. 11.
- 15 Цит. по: “City Chatter” 1905, p. 3.
- 16 Цит. по: Campbell 1906, 89.
- 17 Цит. по: “A Clue to the Beginning of Life on the Earth” 1905, p. 6813.
- 18 Burke 1906
- 19 Там же. С. 345.
- 20 Цит. по: Campos 2006, p. 84.
- 21 Цит. по: Douglas Rudge 1906, p. 380.

- 22 Цит. по: Campbell 1906, p. 98.
- 23 Satterly 1939.
- 24 Цит. по: Burke, б/д.
- 25 Цит. по: Campos 2015, p. 96.
- 26 Там же.
- 27 Cornish-Bowden and Cárdenas 2020.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ШЕВЕЛЕНИЕ ПЛОДА

ОТКУДА ДЫХАНИЕ ЖИЗНИ ПРИХОДИТ В ТЕЛО МЛАДЕНЦА

- 1 Herbst and Johnstone 1937.
- 2 Исследования, упомянутые в этой главе: Marchetto et al. 2010; Cugola et al. 2016; Mesci Setia and Muotri 2019; Trujillo et al. 2019.
- 3 Stiles and Jernigan 2010.
- 4 Lancaster et al. 2013.
- 5 Haldane 1947, p. 58.
- 6 Berrios 1995; Berrios and Luque 1999; Dieguez 2018; Cipriani et al. 2019.
- 7 Цит. по: Debruynne et al. 2009, p. 197.
- 8 Debruynne et al. 2009.
- 9 Huber and Agorastos 2012.
- 10 Chatterjee and Mitra 2015.
- 11 Rosa-Salva, Mayer, and Vallortigara 2015.
- 12 Caramazza and Shelton 1998.
- 13 Fox and McDaniel 1982.
- 14 Moss, Tyler, and Jennings 1997.
- 15 Vains 2014; Di Giorgio et al. 2017.
- 16 Цит. по: Nairne, VanArsdall, and Cogdill 2017, p. 22.
- 17 Anderson 2018; Gonçalves and Carvalho 2019.
- 18 Vallortigara and Regolin 2006.
- 19 Connolly et al. 2016.
- 20 Neaves 2017.
- 21 Gottlieb 2004.
- 22 Цит. по: Noonan Jr. 1967, p. 104.
- 23 Цит. по: Blackstone 1765, p. 88.
- 24 Цит. по: Peabody 1882, p. 4.
- 25 Manninen 2012.
- 26 Цит. по: Berrien 2017.
- 27 Цит. по: Lederberg 1967, p. A13.
- 28 Rochlin et al. 2010; Aguilar et al. 2013.
- 29 Цит. по: Lee and George 2001.
- 30 Peters Jr. 2006.
- 31 Vastenhouw, Cao, and Lipshitz 2019; Navarro-Costa and Martinho 2020.
- 32 Devolder and Harris 2007; Rankin 2013.
- 33 Химера: Maienschein 2014.

- 34 Giakoumalou al. 2016; El Hachem et al. 2017; Vázquez-Diez and FitzHarris 2018.
- 35 Jarvis 2016a; Jarvis 2016b.
- 36 Simkulet 2017; Nobis and Grob 2019.
- 37 Blackshaw and Rodger 2019.
- 38 Haas, Hathaway, and Ramsey 2019.
- 39 Цит. по: WFSA Staff 2019.
- 40 Ball 2019.
- 41 Koch 2019a.
- 42 Hostiuc et al. 2019.
- 43 Цит. по: Koch 2019b.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СМЕРТИ

- 1 Dyson 1978.
- 2 Цит. по: “Oriental Memoirs”, 1814, p. 577.
- 3 Forbes 1813, p. 333.
- 4 Wakefield 1816; Gulliver 1873.
- 5 Цит. по: Darwin 1871, p. 48. Рус. пер.: Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор / Пер. с англ. под ред. И. М. Сеченова и др. // Дарвин Ч. Сочинения: в 9 т. Т. 5. — М.: АН СССР, 1953. С. 190.
- 6 Van Lawick-Goodall 1968; Van Lawick-Goodall 1971. Рус. пер.: Ван Лавик-Гудолл Дж. В тени человека / Пер. с англ. Е. З. Годиной. — М.: Мир, 1974.
- 7 Gonçalves and Biro 2018; Gonçalves and Carvalho 2019.
- 8 Samartzidou et al. 2003; Hussain et al. 2013; Crippen, Benbow, and Pechal 2015.
- 9 Gonçalves and Carvalho 2019.
- 10 Hovers and Belfer-Cohen 2013; Pettitt 2018.
- 11 Bond 1980; Simpson 2018.
- 12 Цит. по: Ackerknecht 1968, p. 19.
- 13 Vichat 1815; Haigh 1984; Sutton 1984.
- 14 Цит. по: Vichat 1815, p. 21.
- 15 Мой рассказ о Левенгуке опирается на следующие источники: Keilin 1959; Clegg 2001.
- 16 Цит. по: Baker 1764, p. 254.
- 17 Yashina et al. 2012.
- 18 Цит. по: Cannone et al. 2017, p. 1.
- 19 Цит. по: Oberhaus 2019.
- 20 Bondeson 2001.
- 21 Цит. по: там же, с. 109. Рус. пер.: Твен М. Жизнь на Миссисипи. Гл. 31 / Пер. с англ. Р. Райт-Ковалевой.
- 22 Slutsky 2015.
- 23 Vitturi and Sanvito 2019.
- 24 Цит. по: Goulon, Babinet, and Simon 1983, p. 765.
- 25 Mollaret and Goulon 1959.

- 26 Wijdicks 2003.
- 27 Цит. по: там же, с. 971.
- 28 Там же. С. 972.
- 29 Machado 2005.
- 30 Beecher 1968.
- 31 Bernat 2019.
- 32 Reinhold, 1968.
- 33 Цит. по: Sweet 1978, p. 410.
- 34 Цит. по: President's Commission for the Study of Ethical Problems in Medicine and Biomedical and Behavioral, 1981.
- 35 Цит. по: Aviv 2018.
- 36 Цит. по: Szabo 2014.
- 37 Цит. по: Shewmon 2018, p. S76.
- 38 Цит. по: Truog 2018, p. S73.
- 39 Nair-Collins, Northrup, and Olcese 2016.
- 40 Nair-Collins 2018.
- 41 Bernat, Culver, and Gert 1981.
- 42 Цит. по: Bernat and Ave 2019, p. 636.
- 43 Цит. по: Huang and Bernat 2019, p. 722.
- 44 Dolan 2018.
- 45 Цит. по: Ruggiero 2018.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ПРИМЕТЫ ЖИЗНИ

КУШАТЬ ПОДАНО

- 1 О метаболизме змей см.: Diamond 1994; Secor, Stein, and Diamond 1994; Secor and Diamond 1995; Secor and Diamond 1998; Andrew et al. 2015; Larsen 2016; Andrew et al. 2017; Engber 2017; Perry et al. 2019.
- 2 Boback et al. 2015; Penning, Dartez, and Moon 2015.

РЕШИТЕЛЬНАЯ МАТЕРИЯ

- 1 О слизевиках и интеллекте см.: Brewer et al. 1964; Ohl and Stockem 1995; Dussutour et al. 2010; Reid et al. 2012; Reid et al. 2015; Adamatzky 2016; Reid et al. 2016; Oettmeier, Brix, and Döbereiner 2017; Boussard et al. 2019; Gao et al. 2019; Ray et al. 2019.

ПОДДЕРЖАНИЕ ПОСТОЯНСТВА УСЛОВИЙ ЖИЗНИ ВО ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЕ

- 1 О рукокрылых и гомеостазе см.: Webb and Nicoll 1954; Adolph 1961; McNab 1969; Cryan et al. 2010; Pfeiffer and Mayer 2013; Hedenström and Johansson 2015; Johnson et al. 2016; Boyles et al. 2017; Voigt et al. 2017; Willis 2017; Bandouchova et al. 2018; Gignoux-Wolfsohn et al. 2018; Moore et al. 2018; Voerma et al. 2019; Boyles et al. 2019; Haase et al. 2019; Rummel, Swartz, and Marsh 2019; Auteri and Knowles 2020; Lilley et al. 2020.

КОПИРОВАТЬ/ВСТАВИТЬ

- 1 О кленах см.: Taylor 1920; Peattie 1950; De Jong 1976; Green 1980; Stephenson 1981; Sullivan 1983; Hughes and Fahey 1988; Burns and Honkala 1990; Houle and Payette 1991; Peck and Lersten 1991a; Peck and Lersten 1991b; Graber and Leak 1992; Greene and Johnson 1992; Greene and Johnson 1993; Abrams 1998.
- 2 Clark and Haskin 2010.

ЛЕГКИЕ ПО ДАРВИНУ

- 1 Moradali, Ghods, and Rehm 2017.
- 2 Цит. по: Zimmer 2011, p. 42. Рус. пер.: Дарвин Ч. Происхождение видов. Гл. 4. / Пер. с англ. А. Л. Зеликмана; под ред. А. Л. Тахтаджяна и др. — СПб.: Наука, 1991. С. 81.
- 3 Poltak and Cooper 2011; Flynn et al. 2016; Gloag et al. 2018; Gloag et al. 2019.
- 4 Cooper et al. 2019.
- 5 Ferguson, Bertels, and Rainey 2013.
- 6 Villavicencio 1998, p. 213.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. РЯД ТЕМНЫХ ВОПРОСОВ

ЧУДЕСА РАЗМНОЖЕНИЯ

- 1 О Трамбле см.: Baker 1949; Vartanian 1950; Baker 1952; Beck 1960; Lenhoff and Lenhoff 1986; Dawson 1987; Lenhoff and Lenhoff 1988; Dawson 1991; Ratcliff 2004; Baker 2008; Stott 2012; Gibson 2015; Steigerwald 2019.
- 2 Цит. по: Lenhoff and Lenhoff 1988, p. 111.
- 3 Dawson 1987; Slowik 2017.
- 4 Hoffman 1971, p. 6.
- 5 Roe 1981, p. 107.
- 6 Цит. по: Zammito 2018, p. 24; Beck 1960.
- 7 Zammito 2018, p. 25.
- 8 Цит. по: Lenhoff and Lenhoff 1986, p. 6.
- 9 Там же.
- 10 Цит. по: Ratcliff 2004, p. 566.
- 11 Цит. по: Baker 1743.
- 12 Baker 1949.
- 13 Цит. по: Dawson 1987, p. 185.

РАЗДРАЖИМОСТЬ

- 1 О Галлере см.: Reed 1915; Haller and Temkin 1936; Maehle 1999; Lynn 2001; Steinke 2005; Frixione 2006; Hintzsche 2008; Rößler 2013; Cunningham 2016; McInnis 2016; Gambarotto 2018; Zammito 2018; Steigerwald 2019.
- 2 Цит. по: Cunningham 2016, p. 95.

- 3 Цит. по: Cunningham 2016, p. 93.
- 4 Цит. по: Steinke 2005, p. 53.
- 5 Цит. по: Haller and Temkin 1936, p. 2.
- 6 Там же. С. 53.
- 7 Цит. по: Steinke 2005, p. 136.
- 8 Цит. по: Zammito 2018, p. 75.
- 9 Цит. по: Steigerwald 2019, p. 66.
- 10 Цит. по: Rößler 2013, p. 468.
- 11 Цит. по: Maehle 1999, p. 159.
- 12 Там же. С. 183.
- 13 Цит. по: Hintzsche 1962.
- 14 Цит. по: Reed 1915, p. 56.

СЕКТА

- 1 Haller and Temkin, p. 2.
- 2 Roger 1997.
- 3 Цит. по: Baker 1952, p. 182.
- 4 Цит. по: Zammito 2018, p. 89.
- 5 Цит. по: Steigerwald 2019, p. 86.
- 6 Цит. по: King-Hele 1998, p. 175.
- 7 Cleland 2019a.
- 8 Цит. по: Hunter 2000, p. 56.
- 9 Там же.
- 10 Цит. по: Ramberg 2000, p. 176.

ЭТА ГРЯЗЬ И ВПРАВДУ БЫЛА ЖИВАЯ

- 1 Об экспедиции «Челленджера» см.: Campbell 1877; Macdougall 2019.
- 2 Цит. по: Campbell 1877, p. 39.
- 3 Цит. по: Moseley 1892, p. 585.
- 4 Geison 1969; McGraw 1974; Rehbock 1975; Rupke 1976; Rice 1983; Welch 1995; Desmond 1999.
- 5 Цит. по: Huxley 1868, p. 205; McGraw 1974.
- 6 Цит. по: Huxley 1891, p. 596.
- 7 Там же.
- 8 Geison 1969.
- 9 Liu 2017.
- 10 Там же. С. 912.
- 11 Цит. по: Carpenter 1864, p. 299; Burkhardt et al. 1999.
- 12 O'Brien 1970; Adelman 2007.
- 13 Цит. по: King and Rowney 1869, p. 118.
- 14 Цит. по: Huxley 1868, p. 210.
- 15 Цит. по: Rehbock 1975, p. 518.
- 16 *Athenaeum* 1868.
- 17 Geison 1969; Huxley 1869.

ПРИМЕЧАНИЯ

- 18 Цит. по: Hunter 2000, p. 69.
- 19 Цит. по: Thomson 1869, p. 121.
- 20 Цит. по: Rupke 1976, p. 56.
- 21 Цит. по: Beale 1870, p. 23.
- 22 Packard 1876.
- 23 Цит. по: Rehbock 1975, p. 522.
- 24 Цит. по: Buchanan 1876, p. 605.
- 25 Цит. по: Murray 1876, p. 531.
- 26 Цит. по: Rehbock 1975, p. 529.
- 27 Цит. по: Huxley 1875, p. 316.
- 28 Цит. по: Rehbock 1975, p. 531.
- 29 Цит. по: McGraw 1974, p. 169.
- 30 Цит. по: Rupke 1976, p. 533.
- 31 Цит. по: "Obituary Notices of Fellows Deceased", 1895.

ИГРА ВОДЫ

- 1 Liu et al. 2018.
- 2 Barnett and Lichtenthaler 2001.
- 3 Цит. по: Kohler 1972, p. 336.
- 4 Цит. по: Buchner 1907.
- 5 Цит. по: Wilson 1923, p. 6.
- 6 Nicholson and Gawne 2015.
- 7 Bud 2013.
- 8 Bergson 1911, p. 96. Рус. пер.: Бергсон А. Творческая эволюция / Пер. с франц. В. А. Флеровой. — М.: ТЕРРА-Книжный клуб, 2001. С. 118.
- 9 McGrath 2013.
- 10 Clément 2015.
- 11 Цит. по: Needham 1925, p. 38.
- 12 Szent-Györgyi 1963; Bradford 1987; Robinson 1988; Mommaerts 1992; Rall 2018; "The Albert Szent-Györgyi Papers" б/д.
- 13 Engelhardt and Ljubimowa 1939; Schlenk 1987; Maruyama 1991.
- 14 Szent-Györgyi 1948.
- 15 Цит. по: Czapek 1911, p. 63.
- 16 Цит. по: Robinson 1988, p. 217.
- 17 Цит. по: Szent-Györgyi 1948, p. 9.
- 18 Moss 1988.
- 19 Там же. С. 243.
- 20 Szent-Györgyi 1977.
- 21 Robinson 1988, p. 230.
- 22 Цит. по: Szent-Györgyi 1972, p. xxiv.

ПРОГРАММЫ

- 1 О Дельбрюке см.: Delbrück 1970; Harding 1978; Kay 1985; Symonds 1988; McKaughan 2005; Sloan and Fogel 2011; Strauss 2017.
- 2 Цит. по: Harding 1978.

- 3 Цит. по: Sloan and Fogel 2011, p. 61.
- 4 Цит. по: Wilson 1923, p. 14.
- 5 Цит. по: Muller 1929, p. 879.
- 6 Цит. по: Harding 1978.
- 7 Kilmister 1987; Phillips 2020.
- 8 Цит. по: Yoxen 1979, p. 33.
- 9 Schrödinger 2012.
- 10 См.: Crick 1988; Olby 2008; Aicardi 2016.
- 11 Цит. по: Crick 1988, p. 11. Рус. пер.: Крик Ф. Что за безумное стремление! / Пер. с англ. М. Елифёровой. — М.: АСТ, 2020. С. 25.
- 12 Там же. С. 13. (Рус. пер.: С. 28.)
- 13 Там же. С. 17. (Рус. пер.: С. 34.)
- 14 Цит. по: Lewis 1947, p. 49.
- 15 Цит. по: Tamura 2016, p. 36.
- 16 Цит. по: “Clue to Chemistry of Heredity Found” 1953, p. 17.
- 17 Цит. по: Cobb 2015, p. 113.
- 18 Chadarevian 2003.
- 19 Цит. по: Olby 2009, p. 301.
- 20 Crick 1966; Hein 1972; Bud 2013; Aicardi 2016.
- 21 Цит. по: Waddington 1967, p. 202.
- 22 Eccles 1967.
- 23 Цит. по: Kirschner, Gerhart, and Mitchison 2000, p. 79.
- 24 Crick 1982.
- 25 Цит. по: Zimmer 2007.
- 26 Цит. по: Joyce 1994, p. xi.

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ: ВОЗВРАЩЕНИЕ В ПОГРАНИЧЬЕ

Полужизнь

- 1 Цит. по: Campos 2015, p. 77.
- 2 Rutz et al. 2020.
- 3 О вирусе COVID-19 см.: Mortensen 2020; Zimmer 2021.
- 4 Vos 1999; López-García and Moreira 2012.
- 5 Цит. по: Pirie 1937.
- 6 Pierpont 1999.
- 7 Цит. по: Mullen 2013.
- 8 Forterre 2016, p. 104.
- 9 Цит. по: López-García and Moreira 2012, p. 394.
- 10 Breitbart et al. 2018.
- 11 Pratama and Van Elsas 2018.
- 12 Dion, Oechslin, and Moineau 2020.
- 13 Moniruzzaman et al. 2020.
- 14 Цит. по: Föllner, Huber, and Lang 2008, p. 661.
- 15 Цит. по: Hubbs and Hubbs 1932, p. 629.
- 16 Lampert and Schartle 2008; Laskowski et al. 2019.

ДАнные для проекта

- 1 Об исследованиях Димера см.: Deamer 2011; Deamer 2012b; Deamer 2016; Damer 2019; Deamer, Damer, and Kompanichenko 2019; Kompanichenko 2019.
- 2 Цит. по: Peretó, Bada, and Lazcano 2009, p. 396.
- 3 Strick 2009.
- 4 Цит. по: Bölsche and McCabe 1906, p. 143.
- 5 Fry 2000; Mesler and Cleaves II 2015.
- 6 Broda 1980; Lazcano 2016
- 7 Цит. по: Oparin 1938, p. 246.
- 8 Цит. по: Oparin 1924, p. 9.
- 9 Miller, Schopf and Lazcano 1997.
- 10 Tirard 2017; Subramanian 2020.
- 11 Цит. по: Haldane 1929, p. 7.
- 12 Lazcano and Bada 2003.
- 13 Цит. по: Miller 1974, p. 232.
- 14 Цит. по: Haldane 1965.
- 15 Цит. по: Porcar and Peretó 2018.
- 16 В числе других примеров теорий РНК-жизни см., напр.: Orgel 1968.
- 17 Deamer and Bangham 1976.
- 18 Hargreaves, Mulvihill, and Deamer 1977.
- 19 Deamer 2012c; Deamer 2017b.
- 20 Deamer 1985.
- 21 Deamer, Akeson, and Branton 2016, p. 518.
- 22 Kasianowicz et al. 1996.
- 23 Akeson et al. 1999.
- 24 Zimmer 1995.
- 25 Цит. по: Gilbert 1986, p. 618.
- 26 Deamer and Barchfeld 1982; Chakrabarti et al. 1994.
- 27 Brazil 2017; Deamer 2017a.
- 28 Baross and Hoffman 1985.
- 29 Kompanichenko, Poturay, and Shlufman 2015.
- 30 Deamer 2011.
- 31 Milshteyn et al. 2018.
- 32 Deamer 2019.
- 33 Rajamani et al. 2008, p. 73.
- 34 Deamer 2012a.
- 35 Paleos 2015.
- 36 Quick et al. 2016.
- 37 Srivathsan et al. 2019.
- 38 Adamala et al. 2017; Adamala 2019; Gaut et al. 2019.
- 39 Damer and Deamer 2015; Damer et al. 2016; Damer and Deamer 2020.
- 40 Van Kranendonk, Deamer, and Djokic 2017; Javaux 2019.
- 41 Boyce, Coleman, and Russell 1983; Macleod et al. 1994; Russell 2019.
- 42 Duval et al. 2019.

- 43 Там же. С. 10.
- 44 Цит. по: Branscomb and Russell 2018a; Russell 2018b.
- 45 Setten, Rossi, and Han 2019.
- 46 Lasser et al. 2018.

НЕ ВИДНО КУСТОВ

- 1 Общие сведения об астробиологии см., напр.: Dick and Strick 2004; Kolb 2019.
- 2 Цит. по: Horowitz 1966, p. 789.
- 3 Sagan and Lederberg 1976.
- 4 Цит. по: “Viking I Lands on Mars”, 1976.
- 5 Цит. по: Dick and Strick 2004.
- 6 Swartz 1996.
- 7 Cavalazzi and Westall 2019.
- 8 McKay et al. 1996.
- 9 Цит. по: Clinton 1996.
- 10 Choi 2016.
- 11 Цит. по: Dick and Strick 2004.
- 12 Коррагару, Wolf, and Meadows 2019; Shahar et al. 2019.
- 13 Ćirković 2018.
- 14 Hendrix et al. 2019.
- 15 Postberg et al. 2018.
- 16 Choblet et al. 2017; Kahana, Schmitt-Kopplin, and Lancet 2019.
- 17 Benner 2017; Carr et al. 2020.
- 18 Barge and White 2017.
- 19 Barge et al. 2019.
- 20 Clément 2015.
- 21 Taubner 2018.
- 22 Kahana, Schmitt-Kopplin, and Lancet 2019.

ЧЕТЫРЕ ГОЛУБЫЕ КАПЕЛЬКИ

- 1 Об исследованиях Кронина и его коллег в области теории сборки и активной материи см.: Barge et al. 2015; Cronin, Mehr, and Granda 2018; Doran et al. 2017; Doran, Abul-Haija, and Cronin 2019; Grizou et al. 2019; Grizou et al. 2020; Gromski, Granda, and Cronin 2019; Marshall et al. 2019; Marshall et al. 2020; Miras et al. 2019; Parrilla-Gutierrez et al. 2017; Points et al. 2018; Surman et al. 2019; Walker et al. 2018.
- 2 Heider and Simmel 1944; Scholl and Tremoulet 2000.
- 3 Luisi 1998.
- 4 Cleland 2019b.
- 5 Приведенные здесь определения, если не обозначено иное, взяты из Kolb 2019.
- 6 Vitas and Dobovišek 2019.

ПРИМЕЧАНИЯ

- 7 Cornish-Bowden and Cárdenas 2020.
- 8 Mariscal and Doolittle 2018.
- 9 Цит. по: Westall and Brack 2018, p. 49.
- 10 Пора 2004.
- 11 Цит. по: Bich and Green 2018, p. 3933.
- 12 Цит. по: Smith 2018, p. 84.
- 13 Trifonov 2011.
- 14 Цит. по: Meierhenrich 2012, p. 641.
- 15 Abbott 2019.
- 16 Cleland 1984.
- 17 Cleland 1993.
- 18 Цит. по: Cleland 1997, p. 20.
- 19 Cleland 2019a.
- 20 Цит. по: Cleland 2019b, p. 722.
- 21 Цит. по: Cleland 2019a, p. 50.
- 22 Помимо автокаталитических систем и теории сборки, разрабатывается еще целый ряд проектов. См., напр.: England 2020; Palacios et al. 2020.
- 23 Cornish-Bowden and Cárdenas 2020.
- 24 Walker 2018.
- 25 Letelier, Cárdenas, and Cornish-Bowden 2011.
- 26 Hordijk 2019; Kauffman 2019; Levy 1992.
- 27 Johns 1979.
- 28 Mariscal et al. 2019.
- 29 Ashkenasy et al. 2004.
- 30 Hordijk, Shichor, and Ashkenasy 2018; Xavier et al. 2020.
- 31 Hordijk, Steel, and Kauffman 2019.
- 32 Rogalla et al. 2011.
- 33 Schmalian 2010.
- 34 Marshall et al. 2020.
- 35 Walker and Davies 2012; Walker, Kim, and Davies 2016; Walker 2017; Davies 2019; Hesp et al. 2019; Palacios et al. 2020.

БИБЛИОГРАФИЯ

На русском языке:

Бергсон А. Творческая эволюция/Пер. с франц. В. А. Флеровой. — М.: ТЕРРА-Книжный клуб, 2001.

Гудолл Дж. = Ван Лавик-Гудолл Дж. В тени человека/Пер. с англ. Е. З. Годиной. — М.: Мир, 1974.

Дарвин Ч. Происхождение видов/Пер. с англ. А. Л. Зеликмана под ред. А. Л. Тахтаджяна. — СПб.: Наука, 1991.

Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор/Пер. с англ. под ред. И. М. Сеченова и др. // Дарвин Ч. Сочинения: в 9 т. Т. 5. — М.: АН СССР, 1953. С. 119–656.

Крик Ф. Что за безумное стремленье!/Пер. с англ. М. В. Елифёровой. — М.: АСТ, 2020.

Льюис К. С. Человек отменяется/Пер. с англ. Н. Л. Трауберг // Льюис К. С. Сочинения. В 8 т. Т. 3. — М.: Фонд имени о. Александра Меня; СПб.: Библия для всех, 2003. С. 372–404.

На английском языке:

Abbott, J. 2019. "Definitions of Life and the Transition from Non-Living to Living." Departmental presentation, Lund University.

Abrams, Marc D. 1998. "The Red Maple Paradox." *BioScience* 48:355–64.

Ackerknecht, Erwin H. 1968. "Death in the History of Medicine." *Bulletin of the History of Medicine* 42:19–23.

Adamala, Katarzyna P., Daniel A. Martin-Alarcon, Kattriona R. Guthrie-Honea, and Edward S. Boyden. 2017. "Engineering Genetic Circuit Interactions Within and Between Synthetic Minimal Cells." *Nature Chemistry* 9:431–39.

Adamala, Kate. 2019. "Biology on Sample Size of More Than One." *The 2019 Conference on Artificial Life*. doi:10.1162/isal_a_00124.

Adamatzky, Andrew. 2016. *Advances in Physarum Machines: Sensing and Computing with Slime Mould*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Adelman, Juliana. 2007. "Eozoön: Debunking the Dawn Animal." *Endeavour* 31:94–8.

Adolph, Edward F. 1961. "Early Concepts of Physiological Regulations." *Physiological Reviews* 41:737–70.

Aguiar, Pablo S., Mary K. Baylies, Andre Fleissner, Laura Helming, Naokazu Inoue, Benjamin Podbilewicz, Hongmei Wang et al. 2013. "Genetic Basis of Cell-Cell Fusion Mechanisms." *Trends in Genetics* 29:427–37.

Aicardi, Christine. 2016. "Francis Crick, Cross-Worlds Influencer: A Narrative Model to Historicize Big Bioscience." *Studies in History and Philosophy of Science Part C* 55: 83–95.

Akeson, Mark, Daniel Branton, John J. Kasianowicz, Eric Brandin, and David W. Deamer. 1999. "Microsecond Time-Scale Discrimination Among Polycytidylic Acid, Polyadenylic Acid, and Polyuridylic Acid as Homopolymers or as Segments Within Single RNA Molecules." *Biophysical Journal* 77:3227–33.

"The Albert Szent-Györgyi Papers." National Library of Medicine. <https://profiles.nlm.nih.gov/spotlight/wg/> (accessed September 2, 2019).

Anderson, James R. 2018. "Chimpanzees and Death." *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 373. doi:10.1098/rstb.2017.0257.

Andrew, Audra L., Blair W. Perry, Daren C. Card, Drew R. Schield, Robert P. Ruggiero, Suzanne E. McGaugh, Amit Choudhary et al. 2017. "Growth and Stress Response Mechanisms Underlying Post-Feeding Regenerative Organ Growth in the Burmese Python." *BMC Genomics* 18. doi:10.1186/s12864-017-3743-1.

Andrew, Audra L., Daren C. Card, Robert P. Ruggiero, Drew R. Schield, Richard H. Adams, David D. Pollock, Stephen M. Secor et al. 2015. "Rapid Changes in Gene Expression Direct Rapid Shifts in Intestinal Form and Function in the Burmese Python After Feeding." *Physiological Genomics* 47:147–57.

Ashkenasy, Gonen, Reshma Jagasia, Maneesh Yadav, and M. R. Ghadiri. 2004. "Design of a Directed Molecular Network." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101:10872–7.

Athenaeum, September 12, 1869, p. 339.

Auteri, Giorgia G., and L. L. Knowles. 2020. "Decimated Little Brown Bats Show Potential for Adaptive Change." *Scientific Reports* 10. doi:10.1038/s41598-020-59797-4.

Aviv, Rachel. 2018. "What Does It Mean to Die?" *New Yorker*, February 5. <https://www.newyorker.com/magazine/2018/02/05/what-does-it-mean-to-die> (accessed June 8, 2020).

Badash, Lawrence. 1978. "Radium, Radioactivity, and the Popularity of Scientific Discovery." *Proceedings of the American Philosophical Society* 122:145–54.

Bains, William. 2014. "What Do We Think Life Is? A Simple Illustration and Its Consequences." *International Journal of Astrobiology* 13:101–11.

Baker, Henry. 1743. *An Attempt Towards a Natural History of the Polype: In a Letter to Martin Folkes*. London: R. Dodsley.

Baker, Henry. 1764. *Employment for the Microscope: In Two Parts*. London: R. & J. Dodsley.

Baker, John R. 1949. "The Cell-Theory: A Restatement, History, and Critique." *Quarterly Journal of Microscopical Science* 90:87–108.

Baker, John R. 1952. *Abraham Trembley of Geneva: Scientist and Philosopher, 1710–1784*. London: Edward Arnold.

Baker, John R. 2008. "Trembley, Abraham." In *Complete Dictionary of Scientific Biography*. Edited by Charles C. Gillispie. New York: Scribner.

Ball, Philip. 2019. *How to Grow a Human: Adventures in How We Are Made and Who We Are*. Chicago: University of Chicago Press.

Bandouchova, Hana, Tomáš Bartonička, Hana Berkova, Jiri Brichta, Tomasz Kokurewicz, Veronika Kovacova, Petr Linhart et al. 2018. "Alterations in the Health of Hibernating Bats Under Pathogen Pressure." *Scientific Reports* 8. doi:10.1038/s41598-018-24461-5.

Barge, Laura M., and Lauren M. White. 2017. "Experimentally Testing Hydrothermal Vent Origin of Life on Enceladus and Other Icy/Ocean Worlds." *Astrobiology* 17:820–33.

Barge, Laura M., Erika Flores, Marc M. Baum, David G. VanderVelde, and Michael J. Russell. 2019. "Redox and pH Gradients Drive Amino Acid Synthesis in Iron Oxyhydroxide Mineral Systems." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116:4828–33.

Barge, Laura M., Silvana S. S. Cardoso, Julyan H. E. Cartwright, Geoffrey J. T. Cooper, Leroy Cronin, Anne De Wit, Ivria J. Doloboff et al. 2015. "From Chemical Gardens to Chemobrionics." *Chemical Reviews* 115:8652–703.

Barnett, James A., and Frieder W. Lichtenthaler. 2001. "A History of Research on Yeasts 3: Emil Fischer, Eduard Buchner and Their Contemporaries, 1880–1900." *Yeast* 18:363–88.

Baross, John A., and Sarah E. Hoffman. 1985. "Submarine Hydrothermal Vents and Associated Gradient Environments as Sites for the Origin and Evolution of Life." *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 15:327–45.

Beale, Lionel S. 1870. *Protoplasm: Or, Life, Force, and Matter*. London: J. Churchill.

Beck, Curt W. 1960. "Georg Ernst Stahl, 1660–1734." *Journal of Chemical Education* 37. doi:10.1021/ed037p506.

Beecher, Henry K. 1968. "A Definition of Irreversible Coma: Report of the Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School to Examine the Definition of Brain Death." *Journal of the American Medical Association* 205:337–40.

Benner, Steven A. 2017. "Detecting Darwinism from Molecules in the Enceladus Plumes, Jupiter's Moons, and Other Planetary Water Lagoons." *Astrobiology* 17:840–51.

Bergson, Henri. 1911. *Creative Evolution*. New York: Henry Holt.

Bernal, John D. 1949. "The Physical Basis of Life." *Proceedings of the Physical Society Section B* 62:597–618.

Bernat, James L. 2019. "Refinements in the Organism as a Whole Rationale for Brain Death." *Linacre Quarterly* 86:347–58.

Bernat, James L., and Anne L.D. Ave. 2019. "Aligning the Criterion and Tests for Brain Death." *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* 28:635–41.

Bernat, James L., Charles M. Culver, and Bernard Gert. 1981. "On the Definition and Criterion of Death." *Annals of Internal Medicine* 94:389–94.

Bernier, Chad R., Anton S. Petrov, Nicholas A. Kovacs, Petar I. Penev, and Loren D. Williams. 2018. "Translation: Universal Structural Core of Life." *Molecular Biology and Evolution* 35:2065–76.

Berrien, Hank. 2017. "Shapiro Rips Wendy Davis for Claiming Life Beginning at Conception Is 'Absurd.'" *The Daily Wire*, April 30. <https://www.dailywire.com/news/shapiro-rips-wendi-davis-claiming-life-beginning-hank-berrien> (accessed June 8, 2020).

Berrios, Germán E., and Rogelio Luque. 1995. "Cotard's Delusion or Syndrome?: A Conceptual History." *Comprehensive Psychiatry* 36:218–23.

Berrios, Germán E., and Rogelio Luque. 1999. "Cotard's 'On Hypochondriacal Delusions in a Severe Form of Anxious Melancholia.'" *History of Psychiatry* 10:269–78.

Bich, Leonardo, and Sara Green. 2018. "Is Defining Life Pointless? Operational Definitions at the Frontiers of Biology." *Synthese* 195:3919–46.

Bichat, Xavier. 1815. *Physiological Researches on Life and Death*. London: Longman.

Blackshaw, Bruce P., and Daniel Rodger. 2019. "The Problem of Spontaneous Abortion: Is the Pro-Life Position Morally Monstrous?" *New Bioethics* 25:103–20.

Blackstone, William. 2016. *The Oxford Edition of Blackstone's: Commentaries on the Laws of England*. Oxford: Oxford University Press.

Boback, Scott M., Katelyn J. McCann, Kevin A. Wood, Patrick M. McNeal, Emmett L. Blankenship, and Charles F. Zwemer. 2015. "Snake Constriction Rapidly Induces Circulatory Arrest in Rats." *Journal of Experimental Biology* 218:2279–88.

Boerma, David B., Kenneth S. Breuer, Tim L. Treskatis, and Sharon M. Swartz. 2019. "Wings as Inertial Appendages: How Bats Recover from Aerial Stumbles." *Journal of Experimental Biology* 222. doi:10.1242/jeb.204255.

Bölsche, Wilhelm, and Joseph McCabe. 1906. *Haeckel, His Life and Work*. London: T. F. Unwin.

Bond, George D. 1980. "Theravada Buddhism's Meditations on Death and the Symbolism of Initiatory Death." *History of Religions* 19:237–58.

Bondeson, Jan. 2001. *Buried Alive: The Terrifying History of Our Most Primal Fear*. New York: Norton.

Bos, Lute. 1999. "Beijerinck's Work on Tobacco Mosaic Virus: Historical Context and Legacy." *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 354:675–85.

Boussard, Aurèle, Julie Delescluse, Alfonso Pérez-Escudero, and Audrey Dussutour. 2019. "Memory Inception and Preservation in Slime Moulds: The Quest for a Common Mechanism." *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374. doi:10.1098/rstb.2018.0368.

Boyce, Adrian J., M. L. Coleman, and Michael Russell. 1983. "Formation of Fossil Hydrothermal Chimneys and Mounds Silvermines, Ireland." *Nature* 306:545–50.

Boyles, Justin G., Esmarie Boyles, R. K. Dunlap, Scott A. Johnson, and Virgil Brack Jr. 2017. "Long-Term Microclimate Measurements Add Further Evidence That There Is No 'Optimal' Temperature for Bat Hibernation." *Mammalian Biology* 86:9–16.

Boyles, Justin G., Joseph S. Johnson, Anna Blomberg, and Thomas M. Lilley. 2019. "Optimal Hibernation Theory." *Mammal Review* 50:91–100.

Bradford, H. F. 1987. "A Scientific Odyssey: An Appreciation of Albert Szent-Györgyi." *Trends in Biochemical Sciences* 12:344–47.

Branscomb, Elbert, and Michael J. Russell. 2018a. "Frankenstein or a Submarine Alkaline Vent: Who Is Responsible for Abiogenesis?: Part 1: What Is Life — That It Might Create Itself?" *BioEssays* 40. doi:10.1002/bies.201700179.

Branscomb, Elbert, and Michael J. Russell. 2018b. "Frankenstein or a Submarine Alkaline Vent: Who Is Responsible for Abiogenesis?: Part 2: As Life Is Now, So It Must Have Been in the Beginning." *BioEssays* 40. doi:10.1002/bies.201700182.

Brazil, Rachel. 2017. "Hydrothermal Vents and the Origins of Life." *Chemistry World*, April 16. <https://www.chemistryworld.com/features/hydrothermal-vents-and-the-origins-of-life/3007088.article> (accessed June 8, 2020).

Breitbart, Mya, Chelsea Bonnain, Kema Malki, and Natalie A. Sawaya. 2018. "Phage Puppet Masters of the Marine Microbial Realm." *Nature Microbiology* 3:754–66.

Brewer, E. N., Susumu Kuraishi, Joseph C. Garver, and Frank M. Strong. 1964. "Mass Culture of a Slime Mold, *Physarum polycephalum*." *Journal of Applied Microbiology* 12:161–64.

Broda, Engelbert. 1980. "Alexander Ivanovich Oparin (1894–1980)." *Trends in Biochemical Sciences* 5: IV–V.

Buchanan, John Y. 1876. "Preliminary Report to Professor Wyville Thomson, F.R.S., Director of the Civilian Scientific Staff, on Work (Chemical and Geological) Done on Board H.M.S. 'Challenger.'" *Proceedings of the Royal Society* 24: 593–623.

Buchner, Eduard. 1907. "Nobel Lecture: Cell-Free Fermentation" *The Nobel Prize*, December 11. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1907/buchner/lecture/> (accessed June 8, 2020).

Bud, Robert. 2013. "Life, DNA and the Model." *British Journal for the History of Science* 46:311–34.

Burke, John B. (n.d.). MS Archives of the Royal Literary Fund. *Nineteenth Century Collections Online*.

Burke, John B. 1903. "The Radio-Activity of Matter." *Monthly Review* 13:115–31.

Burke, John B. 1905a. "On the Spontaneous Action of Radio-Active Bodies on Gelatin Media." *Nature* 72:78–79.

Burke, John B. 1905b. "The Origin of Life." *Fortnightly Review* 78:389–402.

Burke, John B. 1906. *The Origin of Life: Its Physical Basis and Definition*. London: Chapman & Hall.

- Burke, John B. 1931a. *The Emergence of Life*. London: Oxford University Press.
- Burke, John B. 1931b. *The Mystery of Life*. London: Elkin Mathews & Marrot.
- Burkhardt, Frederick, Duncan M. Porter, Sheila A. Dean, Jonathan R. Topham, and Sarah Wilmot. 1999. *The Correspondence of Charles Darwin: Volume 11, 1863*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Burns, Russell M., and Barbara H. Honkala. 1990. "Silvics of North America." In *Agriculture Handbook 654*. Washington, D. C.: U.S. Department of Agriculture.
- "The Cambridge Radiobes." *New York Tribune*, July 2, 1905, p. 11.
- Campbell, George G. 1877. *Log-Letters from "The Challenger"*. London: Macmillan.
- Campbell, Norman R. 1906. "Sensationalism and Science." *National Review* 48:89–99.
- Campos, Luis. 2006. "Radium and the Secret of Life." PhD dissertation, Harvard University.
- Campos, Luis. 2007. "The Birth of Living Radium." *Representations* 97:1–27.
- Campos, Luis. 2015. *Radium and the Secret of Life*. Chicago: University of Chicago Press.
- Cannone, Nicoletta, T. Corinti, Francesco Malfasi, P. Gerola, Alberto Vianelli, Isabella Vanetti, S. Zaccara et al. 2017. "Moss Survival Through *in situ* Cryptobiosis After Six Centuries of Glacier Burial." *Scientific Reports* 7. doi :10.1038/s41598-017-04848-6.
- Caramazza, Alfonso, and Jennifer R. Shelton. 1998. "Domain-Specific Knowledge Systems in the Brain: The Animate-Inanimate Distinction." *Journal of Cognitive Neuroscience* 10:1–34.
- Carpenter, William B. 1864. "On the Structure and Affinities of *Eozoon canadense*." *Proceedings of the Royal Society* 13:545–49.
- Carr, Christopher E., Noelle C. Bryan, Kendall N. Saboda, Srinivasa A. Bhattaru, Gary Ruvkun, and Maria T. Zuber. 2020. "Nanopore Sequencing at Mars, Europa and Microgravity Conditions." doi:10.1101/2020.01.09.899716.
- Cavalazzi, Barbara, and Frances Westall. 2019. *Biosignatures for Astrobiology*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Cavendish Library. 1910. *A History of the Cavendish Laboratory 1871–1910*. London: Longmans, Green & Co.
- Chadarevian, Soraya de. 2003. "Portrait of a Discovery: Watson, Crick, and the Double Helix." *Isis* 94:90–105.

Chakrabarti, Ajoy C., Ronald R. Breaker, Gerald F. Joyce, and David W. Deamer. 1994. "Production of RNA by a Polymerase Protein Encapsulated Within Phospholipid Vesicles." *Journal of Molecular Evolution* 39:555–59.

Chatterjee, Seshadri S., and Sayantanava Mitra. 2015. "‘I Do Not Exist’ — Cotard Syndrome in Insular Cortex Atrophy." *Biological Psychiatry* 77: e52–53.

Choblet, Gaël, Gabriel Tobie, Christophe Sotin, Marie Běhounková, Ondřej Čadek, Frank Postberg, and Ondřej Souček. 2017. "Powering Prolonged Hydrothermal Activity Inside Enceladus." *Nature Astronomy* 1:841–47.

Choi, Charles Q. 2016. "Mars Life? 20 Years Later, Debate over Meteorite Continues." Space.com, August 10. <https://www.space.com/33690-allen-hills-mars-meteorite-alien-life-20-years.html> (accessed July 25, 2020).

Cipriani, Gabriele, Angelo Nuti, Sabrina Danti, Lucia Picchi, and Mario Di Fiorino. 2019. "‘I Am Dead’: Cotard Syndrome and Dementia." *International Journal of Psychiatry in Clinical Practice* 23:149–56.

Ćirković, Milan M. 2018. *The Great Silence: Science and Philosophy of Fermi’s Paradox*. New York: Oxford University Press.

"City Chatter." *Sunday Times*, June 25, 1905, p. 3.

Clark, Jim, and Edward F. Haskins. 2010. "Reproductive Systems in the Myxomycetes: A Review." *Mycosphere* 1:337–53.

Clegg, James S. 2001. "Cryptobiosis — A Peculiar State of Biological Organization." *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* 128:613–24.

Cleland, Carol E. 1984. "Space: An Abstract System of Non-Supervenient Relations." *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition* 46:19–40.

Cleland, Carol E. 1993. "Is the Church-Turing Thesis True?" *Minds and Machines* 3:283–312.

Cleland, Carol E. 1997. "Standards of Evidence: How High for Ancient Life on Mars?" *Planetary Report* 17:20–21.

Cleland, Carol E. 2019a. *The Quest for a Universal Theory of Life: Searching for Life as We Don’t Know It*. New York: Cambridge University Press.

Cleland, Carol E. 2019b. "Moving Beyond Definitions in the Search for Extraterrestrial Life." *Astrobiology* 19:722–29.

Clément, Raphaël. 2015. "Stéphane Leduc and the Vital Exception in the Life Sciences." arXiv:1512.03660.

Clinton, William J. 1996. "President Clinton Statement Regarding Mars Meteorite Discovery." Jet Propulsion Laboratory, August 7. <https://www2.jpl.nasa.gov/snc/clinton.html> (accessed June 8, 2020).

“Clue to Chemistry of Heredity Found.” *New York Times*, June 13, 1953, p. 17.

“A Clue to the Beginning of Life on the Earth.” *World’s Work*, November 1905, 11:6813–14.

Cobb, Matthew. 2015. *Life’s Greatest Secret: The Race to Crack the Genetic Code*. New York: Basic Books.

Connolly, Andrew C., Long Sha, J.S. Guntupalli, Nikolaas Oosterhof, Yaroslav O. Halchenko, Samuel A. Nastase, Matteo V. Di Oleggio Castello et al. 2016. “How the Human Brain Represents Perceived Dangerousness or ‘Predacity’ of Animals.” *Journal of Neuroscience* 36:5373–84.

Cooper, Vaughn S., Taylor M. Warren, Abigail M. Matela, Michael Handwork, and Shani Scarponi. 2019. “EvolvingSTEM: A Microbial Evolution-in-Action Curriculum That Enhances Learning of Evolutionary Biology and Biotechnology.” *Evolution: Education and Outreach* 12. doi:10.1186/s12052-019-0103-4.

Cornish-Bowden, Athel, and María L. Cárdenas. 2020. “Contrasting Theories of Life: Historical Context, Current Theories. In Search of an Ideal Theory.” *Biosystems* 188. doi:10.1016/j.biosystems.2019.104063.

Crick, Francis. 1966. *Of Molecules and Men: A Volume in The John Danz Lectures Series*. Seattle: University of Washington Press.

Crick, Francis. 1982. *Life Itself: Its Origin and Nature*. New York: Simon & Schuster.

Crick, Francis. 1988. *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery*. New York: Basic Books.

Crippen, Tawni L., Mark E. Benbow, and Jennifer L. Pechal. 2015. “Microbial Interactions During Carrion Decomposition.” In *Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications*. Edited by Mark E. Benbow, Jeffery K. Tomberlin, and Aaron M. Tarone. Boca Raton, FL: CRC Press.

Cronin, Leroy, S.H. M. Mehr, and Jarosław M. Granda. 2018. “Catalyst: The Metaphysics of Chemical Reactivity.” *Chem* 4:1759–61.

Cryan, Paul M., Carol U. Meteyer, Justin Boyles, and David S. Blehert. 2010. “Wing Pathology of White-Nose Syndrome in Bats Suggests Life-Threatening Disruption of Physiology.” *BMC Biology* 8. doi:10.1186/1741-7007-8-135.

Cugola, Fernanda R., Isabella R. Fernandes, Fabiele B. Russo, Beatriz C. Freitas, João L. M. Dias, Katia P. Guimarães, Cecília Benazzato et al. 2016. “The Brazilian Zika Virus Strain Causes Birth Defects in Experimental Models.” *Nature* 534:267–71.

Cunningham, Andrew. 2016. *The Anatomist Anatomis’d: An Experiment Discipline in Enlightenment Europe*. London: Routledge.

БИБЛИОГРАФИЯ

- Czapek, Friedrich. 1911. *Chemical Phenomena in Life*. London: Harper & Bros.
- Damer, Bruce, and David Deamer. 2015. "Coupled Phases and Combinatorial Selection in Fluctuating Hydrothermal Pools: A Scenario to Guide Experimental Approaches to the Origin of Cellular Life." *Life* 5:872–87.
- Damer, Bruce, and David Deamer. 2020. "The Hot Spring Hypothesis for an Origin of Life." *Astrobiology* 20:429–52.
- Damer, Bruce, David Deamer, Martin Van Kranendonk, and Malcolm Walter. 2016. "An Origin of Life Through Three Coupled Phases in Cycling Hydrothermal Pools with Distribution and Adaptive Radiation to Marine Stromatolites." In *Proceedings of the 2016 Gordon Research Conference on the Origins of Life*.
- Damer, Bruce. 2019. "David Deamer: Five Decades of Research on the Question of How Life Can Begin." *Life* 9. doi:10.3390/life9020036.
- Darwin, Charles. 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. New York: D. Appleton.
- Davies, Paul C. W. 2019. *The Demon in the Machine: How Hidden Webs of Information Are Solving the Mystery of Life*. Chicago: University of Chicago Press.
- Dawson, Virginia P. 1987. *Nature's Enigma: The Problem of the Polyp in the Letters of Bonnet, Trembley and Réaumur*. Philadelphia: American Philosophical Society.
- Dawson, Virginia P. 1991. "Regeneration, Parthenogenesis, and the Immutable Order of Nature." *Archives of Natural History* 18:309–21.
- De Jong, Piet C. 1976. *Flowering and Sex Expression in Acer L.: A Biosystematic Study*. Wageningen: Veenman.
- Deamer, David W. 1985. "Boundary Structures Are Formed by Organic Components of the Murchison Carbonaceous Chondrite". *Nature* 317:792–94.
- Deamer, David W. 1998. "Daniel Branton and Freeze-Fracture Analysis of Membranes." *Trends in Cell Biology* 8:460–62.
- Deamer, David W. 2010. "From 'Banghasomes' to Liposomes: A Memoir of Alec Bangham, 1921–2010." *FASEB Journal* 24:1308–10.
- Deamer, David W. 2011. "Sabbaticals, Self-Assembly, and Astrobiology." *Astrobiology* 11:493–98.
- Deamer, David W. 2012a. "Liquid Crystalline Nanostructures: Organizing Matrices for Non-Enzymatic Nucleic Acid Polymerization." *Chemical Society Reviews* 41:5375–79.
- Deamer, David W. 2012b. *First Life: Discovering the Connections Between Stars, Cells, and How Life Began*. Berkeley: University of California Press.

Deamer, David W. 2012c. “Membranes, Murchison, and Mars: An Encapsulated Life in Science”. *Astrobiology* 12:616–17.

Deamer, David W. 2016. “Membranes and the Origin of Life: A Century of Conjecture.” *Journal of Molecular Evolution* 83:159–68.

Deamer, David W. 2017a. “Conjecture and Hypothesis: The Importance of Reality Checks.” *Beilstein Journal of Organic Chemistry* 13:620–24.

Deamer, David W. 2017b. “Darwin’s Prescient Guess.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114:11264–65.

Deamer, David W. 2019. *Assembling Life: How Can Life Begin on Earth and Other Habitable Planets?* New York: Oxford University Press.

Deamer, David W., and Alec D. Bangham. 1976. “Large Volume Liposomes by an Ether Vaporization Method.” *Biochimica et Biophysica Acta* 443:629–34.

Deamer, David W., and Daniel Branton. 1967. “Fracture Planes in an Ice-Bilayer Model Membrane System.” *Science* 158:655–57.

Deamer, David W., and Gail L. Barchfeld. 1982. “Encapsulation of Macromolecules by Lipid Vesicles Under Simulated Prebiotic Conditions.” *Journal of Molecular Evolution* 18:203–6.

Deamer, David W., Bruce Damer, and Vladimir Kompanichenko. 2019. “Hydrothermal Chemistry and the Origin of Cellular Life.” *Astrobiology* 19:1523–37.

Deamer, David W., Mark Akeson, and Daniel Branton. 2016. “Three Decades of Nanopore Sequencing.” *Nature Biotechnology* 34:518–24.

Deamer, David W., Robert Leonard, Annette Tardieu, and Daniel Branton. 1970. “Lamellar and Hexagonal Lipid Phases Visualized by Freeze-Etching.” *Biochimica et Biophysica Acta* 219:47–60.

Debruyne, Hans, Michael Portzky, Frédérique Van Den Eynde, and Kurt Audenaert. 2009. “Cotard’s Syndrome: A Review.” *Current Psychiatry Reports* 11:197–202.

Delbrück, Max. 1970. “A Physicist’s Renewed Look at Biology: Twenty Years Later.” *Science* 168:1312–15.

Desmond, Adrian J. 1999. *Huxley: From Devil’s Disciple to Evolution’s High Priest*. New York: Basic Books.

Devolder, Katrien, and John Harris. 2007. “The Ambiguity of the Embryo: Ethical Inconsistency in the Human Embryonic Stem Cell Debate.” *Metaphilosophy* 38:153–69.

Diamond, Jared. 1994. “Dining with the Snakes.” *Discover*, January 18. <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/dining-with-the-snakes> (accessed June 8, 2020).

Dick, Steven J., and James E. Strick. 2004. *The Living Universe: NASA and the Development of Astrobiology*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

Dieguez, Sebastian. 2018. "Cotard Syndrome." *Frontiers of Neurology and Neuroscience* 42:23–34.

Di Giorgio, Elisa, Marco Lunghi, Francesca Simion, and Giorgio Vallortigara. 2017. "Visual Cues of Motion That Trigger Animacy Perception at Birth: The Case of Self-Propulsion." *Developmental Science* 20. doi:10.1111/desc.12394.

Dion, Moïra B., Frank Oechslin, and Sylvain Moineau. 2020. "Phage Diversity, Genomics and Phylogeny." *Nature Reviews Microbiology* 18:125–38.

Dolan, Chris. 2018. "Jahi McMath Has Died in New Jersey." *Dolan Law Firm*, June 29. <https://dolanlawfirm.com/2018/06/jahi-mcmath-has-died-in-new-jersey/> (accessed June 8, 2020).

Doran, David, Marc Rodriguez-Garcia, Rebecca Turk-MacLeod, Geoffrey J. T. Cooper, and Leroy Cronin. 2017. "A Recursive Microfluidic Platform to Explore the Emergence of Chemical Evolution." *Beilstein Journal of Organic Chemistry* 13:1702–9.

Doran, David, Yousef M. Abul-Haija, and Leroy Cronin. 2019. "Emergence of Function and Selection from Recursively Programmed Polymerisation Reactions in Mineral Environments." *Angewandte Chemie International Edition* 58:11253–56.

Douglas Rudge, W. A. 1906. "The Action of Radium and Certain Other Salts on Gelatin." *Proceedings of the Royal Society A* 78:380–84.

Dussutour, Audrey, Tanya Latty, Madeleine Beekman, and Stephen J. Simpson. 2010. "Amoeboid Organism Solves Complex Nutritional Challenges." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107:4607–11.

Duval, Simon, Frauke Baymann, Barbara Schoepp-Cothenet, Fabienne Trolard, Guilhem Bourrié, Olivier Grauby, Elbert Branscomb et al. 2019. "Fougerite: The Not So Simple Progenitor of the First Cells." *Interface Focus* 9. doi:10.1098/rsfs.2019.0063.

Dyson, Ketaki K. 1978. *A Various Universe: A Study of the Journals and Memoirs of British Men and Women in the Indian Subcontinent, 1765–1856*. New York: Oxford University Press.

Eccles, John C. 1967. "Book Review of 'Of Molecules and Men,' by Francis Crick." *Zygon* 2:281–82.

El Hachem, Hady, Vincent Crepaux, Pascale May-Panloup, Philippe Descamps, Guillaume Legendre, and Pierre-Emmanuel Bouet. 2017. "Recurrent Pregnancy Loss: Current Perspectives." *International Journal of Women's Health* 9:331–45.

Engber, Daniel. 2017. "When the Lab Rat Is a Snake." *New York Times*, May 17. <https://www.nytimes.com/2017/05/17/magazine/when-the-lab-rat-is-a-snake.html> (accessed June 8, 2020).

Engelhardt, Wladimir A., and Militza N. Ljubimowa. 1939. "Myosine and Adenosinetriphosphatase." *Nature* 144:668–69.

English, Jeremy. 2020. *Every Life Is on Fire: How Thermodynamics Explains the Origins of Living Things*. New York: Basic Books.

Ferguson, Gayle C., Frederic Bertels, and Paul B. Rainey. 2013. "Adaptive Divergence in Experimental Populations of *Pseudomonas fluorescens*. V. Insight into the Niche Specialist Fuzzy Spreader Compels Revision of the Model *Pseudomonas* Radiation." *Genetics* 195:1319–35.

"Filipino Scientist, A." *Filipino*, 1906, 1:5.

Flynn, Kenneth M., Gabrielle Dowell, Thomas M. Johnson, Benjamin J. Koestler, Christopher M. Waters, and Vaughn S. Cooper. 2016. "Evolution of Ecological Diversity in Biofilms of *Pseudomonas aeruginosa* by Altered Cyclic Diguanylate Signaling." *Journal of Bacteriology* 198:2608–18.

Föllner, Michael, Stephan M. Huber, and Florian Lang. 2008. "Erythrocyte Programmed Cell Death." *IUBMB Life* 60:661–68.

Forbes, James. 1813. *Oriental Memoirs: Selected and Abridged from a Series of Familiar Letters Written During Seventeen Years Residence in India: Including Observations on Parts of Africa and South America, and a Narrative of Occurrences in Four India Voyages: Illustrated by Engravings from Original Drawings*. London: White, Cochrane & Co.

Forterre, Patrick. 2016. "To Be or Not to Be Alive: How Recent Discoveries Challenge the Traditional Definitions of Viruses and Life." *Studies in History and Philosophy of Science Part C* 59:100–108.

Fox, Robert, and Cynthia McDaniel. 1982. "The Perception of Biological Motion by Human Infants." *Science* 218:486–87.

Fraser, James A., and Joseph Heitman. 2003. "Fungal Mating-Type Loci." *Current Biology* 13: R792–95.

Frixione, Eugenio. 2006. "Albrecht Von Haller (1708–1777)." *Journal of Neurology* 253:265–66.

Frixione, Eugenio. 2007. "Irritable Glue: The Haller-Whytt Controversy on the Mechanism of Muscle Contraction." In *Brain, Mind and Medicine: Essays in Eighteenth-Century Neuroscience*. Edited by Harry Whitaker, C. U. M. Smith, and Stanley Finger. Boston: Springer.

Fry, Iris. 2000. *The Emergence of Life on Earth: A Historical and Scientific Overview*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

Gambarotto, Andrea. 2018. *Vital Forces, Teleology and Organization: Philosophy of Nature and the Rise of Biology in Germany*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Gao, Chao, Chen Liu, Daniel Schenz, Xuelong Li, Zili Zhang, Marko Jusup, Zhen Wang et al. 2019. “Does Being Multi-Headed Make You Better at Solving Problems? A Survey of *Physarum*-Based Models and Computations.” *Physics of Life Reviews* 29:1–26.

Gaut, Nathaniel J., Jose Gomez-Garcia, Joseph M. Heili, Brock Cash, Qiyan Han, Aaron E. Engelhart, and Katarzyna P. Adamala. 2019. “Differentiation of Pluripotent Synthetic Minimal Cells via Genetic Circuits and Programmable Mating.” doi:10.1101/712968.

Geison, Gerald L. 1969. “The Protoplasmic Theory of Life and the Vitalist-Mechanist Debate.” *Isis* 60:272–92.

Giakoumelou, Sevi, Nick Wheelhouse, Kate Cuschieri, Gary Entrican, Sarah E. M. Howie, and Andrew W. Horne. 2016. “The Role of Infection in Miscarriage.” *Human Reproduction Update* 22:116–33.

Gibson, Susannah. 2015. *Animal, Vegetable, Mineral?: How Eighteenth-Century Science Disrupted the Natural Order*. New York: Oxford University Press.

Gignoux-Wolfsohn, Sarah A., Malin L. Pinsky, Kathleen Kerwin, Carl Herzog, Mackenzie Hall, Alyssa B. Bennett, Nina H. Fefferman et al. 2018. “Genomic Signatures of Evolutionary Rescue in Bats Surviving White-Nose Syndrome.” doi:10.1101/470294.

Gilbert, Walter. 1986. “Origin of Life: The RNA World.” *Nature* 319. doi:10.1038/319618a0.

Gloag, Erin S., Christopher W. Marshall, Daniel Snyder, Gina R. Lewin, Jacob S. Harris, Alfonso Santos-Lopez, Sarah B. Chaney et al. 2019. “*Pseudomonas aeruginosa* Interstrain Dynamics and Selection of Hyperbiofilm Mutants During a Chronic Infection.” *mBio* 10. doi:10.1128/mBio.01698–19.

Gloag, Erin S., Christopher W. Marshall, Daniel Snyder, Gina R. Lewin, Jacob S. Harris, Sarah B. Chaney, Marvin Whiteley et al. 2018. “The *Pseudomonas aeruginosa* Wsp Pathway Undergoes Positive Evolutionary Selection During Chronic Infection.” doi:10.1101/456186.

Gonçalves, André, and Dora Biro. 2018. “Comparative Thanatology, an Integrative Approach: Exploring Sensory/Cognitive Aspects of Death

Recognition in Vertebrates and Invertebrates.” *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 373. doi:10.1098/rstb.2017.0263.

Gonçalves, André, and Susana Carvalho. 2019. “Death Among Primates: A Critical Review of Non-Human Primate Interactions Towards Their Dead and Dying.” *Biological Reviews* 94. doi:10.1111/brv.12512.

Gottlieb, Alma. 2004. *The Afterlife Is Where We Come From: The Culture of Infancy in West Africa*. Chicago: University of Chicago Press.

Goulon, Maurice, P. Babinet, and N. Simon. 1983. “Brain Death or Coma Dépassé.” In *Care of the Critically Ill Patient*. Edited by Jack Tinker and Maurice Rapin. Berlin: Springer-Verlag.

Graber, Raymond E., and William B. Leak. 1992. “Seed Fall in an Old-Growth Northern Hardwood Forest.” U. S. Department of Agriculture. doi:10.2737/NE-RP-663.

Green, Douglas S. 1980. “The Terminal Velocity and Dispersal of Spinning Samaras.” *American Journal of Botany* 67:1218–24.

Greene, D. F., and E. A. Johnson. 1992. “Fruit Abscission in *Acer saccharinum* with Reference to Seed Dispersal.” *Canadian Journal of Botany* 70:2277–83.

Greene, D. F., and E. A. Johnson. 1993. “Seed Mass and Dispersal Capacity in Wind-Dispersed Diaspores.” *Oikos* 67:69–74.

Grizou, Jonathan, Laurie J. Points, Abhishek Sharma, and Leroy Cronin. 2019. “Exploration of Self-Propelling Droplets Using a Curiosity Driven Robotic Assistant.” arXiv:1904.12635.

Grizou, Jonathan, Laurie J. Points, Abhishek Sharma, and Leroy Cronin. 2020. “A Curious Formulation Robot Enables the Discovery of a Novel Protocell Behavior.” *Science Advances* 6. doi:10.1126/sciadv.aay4237.

Gromski, Piotr S., Jarosław M. Granda, and Leroy Cronin. 2019. “Universal Chemical Synthesis and Discovery with ‘The Chemputer.’” *Trends in Chemistry* 2:4–12.

Guardian, May 25, 1905, p. 6.

Gulliver, George. 1873. “Tears and Care of Monkeys for the Dead.” *Nature* 8. doi:10.1038/008103c0.

Haas, David M., Taylor J. Hathaway, and Patrick S. Ramsey. 2019. “Progesterone for Preventing Miscarriage in Women with Recurrent Miscarriage of Unclear Etiology.” *Cochrane Database of Systematic Reviews*. doi:10.1002/14651858. CD003511.pub5.

Haase, Catherine G., Nathan W. Fuller, C. R. Hranac, David T. S. Hayman, Liam P. McGuire, Kaleigh J. O. Norquay, Kirk A. Silas et al. 2019. “Incorporating

Evaporative Water Loss into Bioenergetic Models of Hibernation to Test for Relative Influence of Host and Pathogen Traits on White-Nose Syndrome.” *PLoS One* 14. doi:10.1371/journal.pone.0222311.

Haigh, Elizabeth. 1984. *Xavier Bichat and the Medical Theory of the Eighteenth Century (Medical History, Supplement No. 4)*. London: Wellcome Institute for the History of Medicine.

Haldane, B. S. 1929. “The Origin of Life.” Reprinted in *Origin of Life*. Edited by John D. Bernal. Cleveland, OH: World Publishing Company.

Haldane, John B. S. 1947. *What Is Life?* New York: Boni & Gaer.

Haldane, John B. S. 1965. “Data Needed for a Blueprint of the First Organism.” In *The Origins of Prebiological Systems and of their Molecular Matrices*. Edited by Sidney W. Fox. New York: Academic Press.

Hale, William B. 1905. “Has Radium Revealed the Secret of Life?” *New York Times*, July 16, p. 7.

Haller, Albrecht V., and O. Temkin. 1936. *A Dissertation on the Sensible and Irritable Parts of Animals*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Harding, Carolyn. 1978. “Interview with Max Delbruck.” *Caltech Institute Archives*, September 11. https://resolver.caltech.edu/CaltechOH:OH_Delbruck_M (accessed June 8, 2020).

Hargreaves, W. R., Sean J. Mulvihill, and David W. Deamer. 1977. “Synthesis of Phospholipids and Membranes in Prebiotic Conditions.” *Nature* 266:78–80.

Hedenström, Anders, and L. C. Johansson. 2015. “Bat Flight: Aerodynamics, Kinematics and Flight Morphology.” *Journal of Experimental Biology* 218:653–63.

Heider, Fritz, and Marianne Simmel. 1944. “An Experimental Study of Apparent Behavior.” *American Journal of Psychology* 57:243–59.

Hein, Hilde. 1972. “The Endurance of the Mechanism: Vitalism Controversy.” *Journal of the History of Biology* 5:159–88.

Hendrix, Amanda R., Terry A. Hurford, Laura M. Barge, Michael T. Bland, Jeff S. Bowman, William Brinckerhoff, Bonnie J. Buratti et al. 2019. “The NASA Roadmap to Ocean Worlds.” *Astrobiology* 19:1–27.

Herbst, Charles C., and George R. Johnstone. 1937. “Life History of *Pelagophycus porra*.” *Botanical Gazette* 99:339–54.

Hesp, Casper, Maxwell J. D. Ramstead, Axel Constant, Paul Badcock, Michael Kirchhoff, and Karl J. Friston. 2019. “A Multi-Scale View of the Emergent Complexity of Life: A Free-Energy Proposal.” In *Evolution, Development, and Complexity: Multiscale Models in Complex Adaptive Systems*.

Edited by Georgi Y. Georgiev, John M. Smart, Claudio L. Flores Martinez and Michael E. Price. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Hintzsche, Erich. 2008. "Haller, (Victor) Albrecht Von." In *Complete Dictionary of Scientific Biography*. Edited by Charles C. Gillispie. New York: Scribner.

Hintzsche, Erich, and Jörn H. Wolf. 1962. *Albrecht von Hallers Abhandlung über die Wirkung des Opiums menschlichen Körper: übersetzt und erläutert*. Bern: Paul Haupt.

Hoffman, Friedrich. 1971. *Fundamenta medicinae*. Translated by Lester King. London: Macdonald.

Hordijk, Wim. 2019. "A History of Autocatalytic Sets: A Tribute to Stuart Kauffman." *Biological Theory* 14:224–46.

Hordijk, Wim, Mike Steel, and Stuart A. Kauffman. 2019. "Molecular Diversity Required for the Formation of Autocatalytic Sets." *Life* 9:23.

Hordijk, Wim, Shira Shichor, and Gonen Ashkenasy. 2018. "The Influence of Modularity, Seeding, and Product Inhibition on Peptide Autocatalytic Network Dynamics." *ChemPhysChem* 19:2437–44.

Horowitz, Norman H. 1966. "The Search for Extraterrestrial Life." *Science* 151:789–92.

Hostiuc, Sorin, Mugurel C. Rusu, Ionuț Negoii, Paula Perlea, Bogdan Dorobanțu, and Eduard Drima. 2019. "The Moral Status of Cerebral Organoids." *Regenerative Therapy* 10:118–22.

Houle, Gilles, and Serge Payette. 1991. "Seed Dynamics of *Abies balsamea* and *Acer saccharum* in a Deciduous Forest of Northeastern North America." *American Journal of Botany* 78:895–905.

Hovers, Erella, and Anna Belfer-Cohen. 2013. "Insights into Early Mortuary Practices of *Homo*." In *The Oxford Handbook of the Archaeology of Death and Burial*. Edited by Liv N. Stutz and Sarah Tarlow. Oxford: Oxford University Press.

Huang, Andrew P., and James L. Bernat. 2019. "The Organism as a Whole in an Analysis of Death." *Journal of Medicine and Philosophy* 44:712–31.

Hubbs, Carl L., and Laura C. Hubbs. 1932. "Apparent Parthenogenesis in Nature, in a Form of Fish of Hybrid Origin." *Science* 76:628–30.

Huber, Christian G., and Agorastos. 2012. "We Are All Zombies Anyway: Aggression in Cotard's Syndrome." *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences* 24. doi:10.1176/appi.neuropsych.11070155.

Hughes, Jeffrey W., and Timothy J. Fahey. 1988. "Seed Dispersal and Colonization in a Disturbed Northern Hardwood Forest." *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 115:89–99.

Hunter, Graeme K. 2000. *Vital Forces: The Discovery of the Molecular Basis of Life*. London: Academic Press.

Hussain, Ashiq, Luis R. Saraiva, David M. Ferrero, Gaurav Ahuja, Venkatesh S. Krishna, Stephen D. Liberles, and Sigrun I. Korsching. 2013. "High-Affinity Olfactory Receptor for the Death-Associated Odor Cadaverine." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:19579–84.

Huxley, Thomas H. 1868. "On Some Organisms Living at Great Depths in the North Atlantic Ocean." *Quarterly Journal of Microscopical Science* 8:203–12.

Huxley, Thomas H. 1869. "On the Physical Basis Life." *Fortnightly Review* 5: 129–45.

Huxley, Thomas H. 1875. "Notes from the 'Challenger.'" *Nature* 12:315–16.

Huxley, Thomas H. 1891. "Biology." In *Encyclopaedia Britannica*. Philadelphia: Maxwell Somerville.

Jarvis, Gavin E. 2016a. "Early Embryo Mortality in Natural Human Reproduction: What the Data Say". *F1000Research* 5. doi:10.12688/f1000research.8937.2.

Jarvis, Gavin E. 2016b. "Estimating Limits for Natural Human Embryo Mortality." *F1000Research* 5. doi:10.12688/f1000research.9479.1.

Javaux, Emmanuelle J. 2019. "Challenges in Evidencing the Earliest Traces of Life." *Nature* 572:451–60.

Johns, William D. 1979. "Clay Mineral Catalysis and Petroleum Generation." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 7:183–98.

Johnson, Joseph S., Michael R. Scafini, Brent J. Sewall, and Gregory G. Turner. 2016. "Hibernating Bat Species in Pennsylvania Use Colder Winter Habitats Following the Arrival of White-nose Syndrome." In *Conservation and Ecology of Pennsylvania's Bats*. Edited by Calvin M. Butchkoski, DeeAnn M. Reeder, Gregory G. Turner, and Howard P. Whidden. East Stroudsburg, PA: Pennsylvania Academy of Science.

Joyce, Gerald F. 1994. "Foreword." In *Origins of Life: The Central Concepts*. Edited by David W. Deamer and Gail R. Fleischaker. Boston: Jones & Bartlett.

Kahana, Amit, Philippe Schmitt-Kopplin, and Doron Lancet. 2019. "Enceladus: First Observed Primordial Soup Could Arbitrate Origin-of-Life Debate." *Astrobiology* 19:1263–78.

Kasianowicz, John J., Eric Brandin, Daniel Branton, and David W. Deamer. 1996. "Characterization of Individual Polynucleotide Molecules Using a Membrane Channel." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93: 13770–73.

Kauffman, Stuart A. 2019. *A World Beyond Physics: The Emergence and Evolution of Life*. Oxford: Oxford University Press.

Kay, Lily E. 1985. "Conceptual Models and Analytical Tools: The Biology of Physicist Max Delbrück." *Journal of the History of Biology* 18:207–46.

Keilin, David. 1959. "The Leeuwenhoek Lecture: The Problem of Anabiosis or Latent Life: History and Current Concept." *Proceedings of the Royal Society B* 150:149–91.

Kilmister, Clive W. 1987. *Schrödinger: Centenary Celebration of a Polymath*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

King-Hele, Desmond. 1998. "The 1997 Wilkins Lecture: Erasmus Darwin, the Lunatics and Evolution." *Notes and Records* 52:153–80.

King, William, and T. H. Rowney. 1869. "On the So-Called 'Eozoonal' Rock." *Quarterly Journal of the Geological Society* 25:115–18.

Kirschner, Marc, John Gerhart, and Tim Mitchison. 2000. "Molecular 'Vitalism.'" *Cell* 100:79–88.

Koch, Christof. 2019a. *The Feeling of Life Itself: Why Consciousness Is Widespread but Can't Be Computed*. Cambridge, MA: MIT Press.

Koch, Christof. 2019b. "Consciousness in Cerebral Organoids — How Would We Know?" *University of California Television*. <https://www.youtube.com/watch?v=vMYnzTnoGik> (accessed June 8, 2020).

Kohler, Robert E. 1972. "The Reception of Eduard Buchner's Discovery of Cell-Free Fermentation." *Journal of the History of Biology* 5:327–53.

Kolb, Vera M. 2019. *Handbook of Astrobiology*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Kompanichenko, Vladimir N. 2019. "Exploring the Kamchatka Geothermal Region in the Context of Life's Beginning." *Life* 9. doi:10.3390/life9020041.

Kompanichenko, Vladimir N., Valery A. Poturay, and K. V. Shlufman. 2015. "Hydrothermal Systems of Kamchatka Are Models of the Prebiotic Environment." *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 45:93–103.

Kopparapu, Ravi K., Eric T. Wolf, and Victoria S. Meadows. 2019. "Characterizing Exoplanet Habitability." arXiv:1911.04441.

Kothe, Erica. 1996. "Tetrapolar Fungal Mating Types: Sexes by the Thousands." *FEMS Microbiology Reviews* 18:65–87.

Lampert, Kathrin P., and M. Schartl. 2008. "The Origin and Evolution of a Unisexual Hybrid: *Poecilia formosa*." *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:2901–9.

Lancaster, Madeline A., Magdalena Renner, Carol-Anne Martin, Daniel Wenzel, Louise S. Bicknell, Matthew E. Hurlles, Tessa Homfray et al. 2013.

“Cerebral Organoids Model Human Brain Development and Microcephaly.” *Nature* 501:373–79.

Larsen, Gregory D. 2016. “The Peculiar Physiology of the Python.” *Lab Animal* 45. doi:10.1038/labana.1027.

Laskowski, Kate L., Carolina Doran, David Bierbach, Jens Krause, and Max Wolf. 2019. “Naturally Clonal Vertebrates Are an Untapped Resource in Ecology and Evolution Research.” *Nature Ecology & Evolution* 3:161–69.

Lasser, Karen E., Kristin Mickle, Sarah Emond, Rick Chapman, Daniel A. Ollendorf, and Steven D. Pearson. 2018. “Inotersen and Patisiran for Hereditary Transthyretin Amyloidosis: Effectiveness and Value.” *Institute for Clinical and Economic Review*, October 4. https://icer-review.org/wp-content/uploads/2018/02/ICER_Amyloidosis_Final_Evidence_Report_100418.pdf (accessed June 8, 2020).

Lazcano, Antonio. 2016. “Alexandr I. Oparin and the Origin of Life: A Historical Reassessment of the Heterotrophic Theory.” *Journal of Molecular Evolution* 83:214–22.

Lazcano, Antonio, and Jeffrey L. Bada. 2003. “The 1953 Stanley L. Miller Experiment: Fifty Years of Prebiotic Organic Chemistry.” *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 33:235–42.

Lederberg, Joshua. 1967. “Science and Man... The Legal Start of Life”. *Washington Post*, July 1, p. A13.

Lee, Patrick, and Robert P. George. 2001. “Embryology, Philosophy & Human Dignity.” *National Review*, August 9. <https://web.archive.org/web/20011217063957/http://www.nationalreview.com/comment/comment-leeprinto80901.html> (accessed June 8, 2020).

Lenhoff, Howard M., and Sylvia G. Lenhoff. 1988. “Trembley’s Polyps.” *Scientific American* 258:108–13.

Lenhoff, Sylvia G., and Howard M. Lenhoff. 1986. *Hydra and the Birth of Experimental Biology — 1744: Abraham Trembley’s Memoires Concerning the Polyps*. Pacific Grove, CA: Boxwood Press.

Letelier, Juan-Carlos, María L. Cárdenas, and Athel Cornish-Bowden. 2011. “From *L’Homme Machine* to Metabolic Closure: Steps Towards Understanding Life.” *Journal of Theoretical Biology* 286:100–113.

Levy, Steven. 1992. *Artificial Life: The Quest for a New Creation*. New York: Pantheon Books.

Lewis, Clive S. 1947. *The Abolition of Man: Or, Reflections on Education with Special Reference to the Teaching of English in the Upper Forms of School*. New York: Macmillan.

Lilley, Thomas M., Ian W. Wilson, Kenneth A. Field, DeeAnn M. Reeder, Megan E. Vodzak, Gregory G. Turner, Allen Kurta et al. 2020. "Genome-Wide Changes in Genetic Diversity in a Population of *Myotis lucifugus* Affected by White-Nose Syndrome." *G3* 10:2007–20.

Liu, Daniel. 2017. "The Cell and Protoplasm as Container, Object, and Substance, 1835–1861." *Journal of the History of Biology* 50:889–925.

Liu, Li, Jiajing Wang, Danny Rosenberg, Hao Zhao, György Lengyel, and Dani Nadel. 2018. "Fermented Beverage and Food Storage in 13,000 Y-Old Stone Mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian Ritual Feasting." *Journal of Archaeological Science: Reports* 21:783–93.

López-García, Purificación, and David Moreira. 2012. "Viruses in Biology." *Evolution: Education and Outreach* 5:389–98.

Luisi, Pier L. 1998. "About Various Definitions of Life." *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 28:613–22.

Lynn, Michael R. 2001. "Haller, Albrecht Von." *eLS*. doi:10.1038/npg.els.0002941.

Macdougall, Doug. 2019. *Endless Novelties of Extraordinary Interest: The Voyage of H. M. S., Challenger and the Birth of Modern Oceanography*. New Haven, CT: Yale University Press.

Machado, Calixto. 2005. "The First Organ Transplant from a Brain-Dead Donor." *Neurology* 64:1938–42.

Macleod, Gordon, Christopher McKeown, Allan J. Hall, and Michael J. Russell. 1994. "Hydrothermal and Oceanic pH Conditions of Possible Relevance to the Origin of Life." *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 24:19–41.

Maehle, Andreas-Holger. 1999. *Drugs on Trial: Experimental Pharmacology and Therapeutic Innovation in the Eighteenth Century*. Amsterdam: Rodopi.

Maienschein, Jane. 2014. "Politics in Your DNA." *Slate*, June 10. <https://slate.com/technology/2014/06/personhood-movement-chimeras-how-biology-complicates-politics.html> (accessed June 8, 2020).

Manninen, Bertha A. 2012. "Beyond Abortion: The Implications of Human Life Amendments." *Journal of Social Philosophy* 43:140–60.

Marchetto, Maria C.N., Cassiano Carromeu, Allan Acab, Diana Yu, Gene W. Yeo, Yangling Mu, Gong Chen et al. 2010. "A Model for Neural Development and Treatment of Rett Syndrome Using Human Induced Pluripotent Stem Cells." *Cell* 143:527–39.

Mariscal, Carlos, Ana Barahona, Nathanael Aubert-Kato, Arsev U. Aydinoglu, Stuart Bartlett, María L. Cárdenas, Kuhan Chandru et al. 2019. "Hidden Concepts in the History and Philosophy of Origins-of-Life Studies: A Workshop Report." *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 49:111–45.

Mariscal, Carlos, and W.F. Doolittle. 2018. "Life and Life Only: A Radical Alternative to Life Definitionism." *Synthese*. doi:10.1007/s11229-018-1852-2.

Marshall, Stuart M., Douglas Moore, Alastair R. G. Murray, Sara I. Walker, and Leroy Cronin. 2019. "Quantifying the Pathways to Life Using Assembly Spaces." arXiv:1907.04649.

Marshall, Stuart, et al. In preparation. "Identifying Molecules as Biosignatures with Assembly Theory and Mass Spectrometry." Manuscript.

Maruyama, Koscak. 1991. "The Discovery of Adenosine Triphosphate and the Establishment of Its Structure." *Journal of the History of Biology* 24:145–54.

McGrath, Larry. 2013. "Bergson Comes to America." *Journal of the History of Ideas* 74:599–620.

McGraw, Donald J. 1974. "Bye-Bye Bathybius: The Rise and Fall of a Marine Myth." *Bios* 45:164–71.

McInnis, Brian I. 2016. "Haller, Unzer, and Science as Process." In *The Early History of Embodied Cognition 1740–1920: The Lebenskraft-Debate and Radical Reality in German Science, Music, and Literature*. Edited by John A. McCarthy, Stephanie M. Hilger, Heather I. Sullivan, and Nicholas Saul. Leiden, Netherlands: Brill.

McKaughan, Daniel J. 2005. "The Influence of Niels Bohr on Max Delbrück: Revisiting the Hopes Inspired by 'Light and Life.'" *Isis* 96:507–29.

McKay, David S., Everett K. Gibson Jr., Kathie L. Thomas-Keprta, Hojatollah Vali, Christopher S. Romanek, Simon J. Clemett, Xavier D.F. Chillier et al. 1996. "Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001." *Science* 273:924–30.

McNab, Brian K. 1969. "The Economics of Temperature Regulation in Neotropical Bats." *Comparative Biochemistry and Physiology* 31:227–68.

Meierhenrich, Uwe J. 2012. "Life in Its Uniqueness Remains Difficult to Define in Scientific Terms." *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics* 29:641–42.

Mesci, Pinar, Angela Macia, Spencer M. Moore, Sergey A. Shiryayev, Antonella Pinto, Chun-Teng Huang, Leon Tejwani et al. 2018. "Blocking Zika

Virus Vertical Transmission.” *Scientific Reports* 8. doi:10.1038/s41598-018-19526-4.

Mesler, Bill, and H.J. Cleaves II. 2015. *A Brief History of Creation: Science and the Search for the Origin of Life*. New York: Norton.

Miller, Stanley L. 1974. “The First Laboratory Synthesis of Organic Compounds Under Primitive Earth Conditions.” In *The Heritage Copernicus: Theories “Pleasing to the Mind.”* Edited by Jerzy Neyman. Cambridge, MA: MIT Press.

Miller, Stanley L., J.W. Schopf, and Antonio Lazcano. 1997. “Oparin’s ‘Origin of Life’: Sixty Years Later.” *Journal of Molecular Evolution* 44:351–53.

Milshiteyn, Daniel, Bruce Damer, Jeff Havig, and David Deamer. 2018. “Amphiphilic Compounds Assemble into Membranous Vesicles in Hydrothermal Hot Spring Water but Not in Seawater.” *Life* 8. doi:10.3390/life8020011.

Miras, Haralampos N., Cole Mathis, Weimin Xuan, De-Liang Long, Robert Pow, and Leroy Cronin. 2019. “Spontaneous Formation of Autocatalytic Sets with Self-Replicating Inorganic Metal Oxide Clusters”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117:10699–705.

Mollaret, Pierre, and Maurice Goulon. 1959. “Le coma dépassé.” *Revue Neurologique* 101:3–15.

Mommaerts, Wilfried F. 1992. “Who Discovered Actin?” *BioEssays* 14:57–59.

Moniruzzaman, Mohammad, Carolina A. Martinez-Gutierrez, Alaina R. Weinheimer, and Frank O. Aylward. 2020. “Dynamic Genome Evolution and Complex Virocell Metabolism of Globally-Distributed Giant Viruses.” *Nature Communications* 11. doi:10.1038/s41467-020-15507-2.

Moore, Marianne S., Kenneth A. Field, Melissa J. Behr, Gregory G. Turner, Morgan E. Furze, Daniel W.F. Stern, Paul R. Allegra et al. 2018. “Energy Conserving Thermoregulatory Patterns and Lower Disease Severity in a Bat Resistant to the Impacts of White-Nose Syndrome.” *Journal of Comparative Physiology B* 188:163–76.

Moradali, M. F., Shirin Ghods, and Bernd H. A. Rehm. 2017. “*Pseudomonas aeruginosa* Lifestyle: A Paradigm for Adaptation, Survival, and Persistence.” *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 7. doi:10.3389/fcimb.2017.00039.

Mortensen, Jens. 2020. “Six Months of Coronavirus: Here’s Some of What We’ve Learned.” *New York Times*, June 18. <https://www.nytimes.com/article/coronavirus-facts-history.html> (accessed July 25, 2020).

Moseley, Henry N. 1892. *Notes by a Naturalist: An Account of Observations Made During the Voyage of H. M. S., "Challenger" Round the World in the Years 1872–1876*. New York: Putnam.

Moss, Helen E., Lorraine K. Tyler, and Fábio Jennings. 1997. "When Leopards Lose Their Spots: Knowledge of Visual Properties in Category-Specific Deficits for Living Things." *Cognitive Neuropsychology* 14:901–50.

Moss, Ralph W. 1988. *Free Radical: Albert Szent-Gyorgyi and the Battle over Vitamin C*. New York: Paragon House.

"Mr. J. B. Butler Burke." *Times* (London), January 16, 1946, p. 6.

Mullen, Leslie. 2013. "Forming a Definition for Life: Interview with Gerald Joyce." *Astrobiology Magazine*, July 25. <https://www.astrobio.net/origin-and-evolution-of-life/forming-a-definition-for-life-interview-with-gerald-joyce/> (accessed June 8, 2020).

Muller, Hermann J. 1929. "The Gene as the Basis of Life." *Proceedings of the International Congress of Plant Sciences* 1:879–921.

Murray, John. 1876. "Preliminary Reports to Professor Wyville Thomson, F.R. S., Director of the Civilian Scientific Staff, on Work Done on Board the 'Challenger.'" *Proceedings of the Royal Society* 24:471–544.

Nair-Collins, Michael. 2018. "A Biological Theory of Death: Characterization, Justification, and Implications." *Diametros* 55:27–43.

Nair-Collins, Michael, Jesse Northrup, and James Olcese. 2016. "Hypothalamic-Pituitary Function in Brain Death: A Review." *Journal of Intensive Care Medicine* 31:41–50.

Nairne, James S., Joshua E. VanArsdall, and Mindi Cogdill. 2017. "Remembering the Living: Episodic Memory Is Tuned to Animacy." *Current Directions in Psychological Science* 26:22–27.

Navarro-Costa, Paulo, and Rui G. Martinho. 2020. "The Emerging Role of Transcriptional Regulation in the Oocyte-to-Zygote Transition." *PLoS Genetics* 16. doi:10.1371/journal.pgen.1008602.

Neaves, William. 2017. "The Status of the Human Embryo in Various Religions." *Development* 144:2541–43.

Needham, Joseph. 1925. "The Philosophical Basis of Biochemistry." *Monist* 35: 27–48.

Nicholson, Daniel J., and Richard Gawne. 2015. "Neither Logical Empiricism Nor Vitalism, but Organicism: What the Philosophy of Biology Was." *History and Philosophy of the Life Sciences* 37:345–81.

Nobis, Nathan, and Kristina Grob. 2019. *Thinking Critically About Abortion: Why Most Abortions Aren't Wrong & Why All Abortions Should Be Legal*. Open Philosophy Press.

Noonan, John T., Jr. 1967. "Abortion and the Catholic Church: A Summary History." *American Journal of Jurisprudence* 12:85–131.

Normandin, Sebastian, and Charles T. Wolfe. 2013. *Vitalism and the Scientific Image in Post-Enlightenment Life Science, 1800–2010*. New York: Springer.

Oberhaus, Daniel. 2019. "A Crashed Israeli Lunar Lander Spilled Tardigrades on the Moon." *Wired*, August 5. <https://www.wired.com/story/a-crashed-israeli-lunar-lander-spilled-tardigrades-on-the-moon/> (accessed June 8, 2020).

"Obituary Notices of Fellows Deceased." *Proceedings of the Royal Society*, January 1, 1895. doi:10.1098/rspl.1895.0002.

O'Brien, Charles F. 1970. "Eozoön canadense: 'The Dawn Animal of Canada,'" *Isis* 61:206–23.

Oettmeier, Christina, Klaudia Brix, and Hans-Günther Döbereiner. 2017. "Physarum polycephalum — A New Take on a Classic Model System." *Journal of Physics D* 50. doi:10.1088/1361-6463/aa8699.

Ohl, Christiane, and Wilhelm Stockem. 1995. "Distribution and Function of Myosin II as a Main Constituent of the Microfilament System in *Physarum polycephalum*." *European Journal of Protistology* 31:208–22.

Olby, Robert. 2009. *Francis Crick: Hunter of Life's Secrets*. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.

Oparin, Alexander I. 1924. "The Origin of Life." In *The Origin of Life*. Edited by John D. Bernal. Cleveland, OH: World Publishing Company.

Oparin, Alexander I. 1938. *The Origin of Life*. New York: Macmillan.

Ogel, Leslie E. 1968. "Evolution of the Genetic Apparatus." *Journal of Molecular Biology* 38:381–93.

"Oriental Memoirs." 1814. *Monthly Magazine* 36:577–618.

"Origin of Life, The." *Cambridge Independent Press*, June 23, 1905, p. 3.

Packard, Alpheus S. 1876. *Life Histories of Animals, Including Man: Or, Outlines of Comparative Embryology*. New York: Henry Holt.

Palacios, Ensor R., Adeel Razi, Thomas Parr, Michael Kirchhoff, and Karl Friston. 2020. "On Markov Blankets and Hierarchical Self-Organisation." *Journal of Theoretical Biology* 486:110089.

Paleos, Constantinos M. 2015. "A Decisive Step Toward the Origin of Life." *Trends in Biochemical Sciences* 40:487–88.

Parrilla-Gutierrez, Juan M., Soichiro Tsuda, Jonathan Grizou, James Taylor, Alon Henson, and Leroy Cronin. 2017. Adaptive Artificial Evolution of Droplet Protocells in a 3D-Printed Fluidic Chemorobotic Platform with Configurable Environments." *Nature Communications* 8. doi:10.1038/s41467-017-01161-8.

Peabody, C. A. 1882. "Marriage and Its Duties." *Daily Journal* (Montpelier, VT), November 8, p. 4.

Peattie, Donald C. 1950. *A Natural History of Trees of Eastern and Central North America*. Boston: Houghton Mifflin.

Peck, Carol J., and Nels R. Lersten. 1991a. "Samara Development of Black Maple (*Acer saccharum* Ssp. *nigrum*) with Emphasis on the Wing." *Canadian Journal of Botany* 69:1349–60.

Peck, Carol J., and Nels R. Lersten. 1991b. "Gynoecial Ontogeny and Morphology, and Pollen Tube Pathway in Black Maple, *Acer saccharum* Ssp. *nigrum* (Aceraceae)." *American Journal of Botany* 78:247–59.

Penning, David A., Schuyler F. Dartez, and Brad R. Moon. 2015. "The Big Squeeze: Scaling of Constriction Pressure in Two of the World's Largest Snakes, *Python reticulatus* and *Python molurus bivittatus*." *Journal of Experimental Biology* 218:3364–67.

Peretó, Juli, Jeffrey L. Bada, and Antonio Lazcano. 2009. "Charles Darwin and the Origin of Life." *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 39:395–406.

Perry, Blair W., Audra L. Andrew, Abu H. M. Kamal, Daren C. Card, Drew R. Schield, Giulia I. M. Pasquesi, Mark W. Pellegrino et al. 2019. "Multi-Species Comparisons of Snakes Identify Coordinated Signalling Networks Underlying Post-Feeding Intestinal Regeneration." *Proceedings of the Royal Society B* 286. doi:10.1098/rspb.2019.0910.

Peters, Philip G., Jr. 2006. "The Ambiguous Meaning of Human Conception." *UC Davis Law Review* 40:199–228.

Pettitt, Paul B. 2018. "Hominin Evolutionary Thanatology from the Mortuary to Funerary Realm: The Palaeoanthropological Bridge Between Chemistry and Culture." *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 373. doi:10.1098/rstb.2018.0212.

Pfeiffer, Burkard, and Frieder Mayer. 2013. "Spermatogenesis, Sperm Storage and Reproductive Timing in Bats." *Journal of Zoology* 289:77–85.

Phillips, R. 2020. "Schrodinger's 'What is Life?' at 75: Back to the Future." Manuscript.

Pierpont, W. S. 1999. "Norman Wingate Pirie: 1 July 1907–29 March 1997." *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 45:399–415.

Pirie, Norman W. 1937. "The Meaninglessness of the Terms Life and Living." In *Perspectives in Biochemistry: Thirty-One Essays Presented to Sir Frederick Gowland Hopkins by Past and Present Members of His Laboratory*. Edited by Joseph Needham and David E. Green. Cambridge: Cambridge University Press.

Points, Laurie J., James W. Taylor, Jonathan Grizou, Kevin Donkers, and Leroy Cronin. 2018. "Artificial Intelligence Exploration of Unstable Protocells Leads to Predictable Properties and Discovery of Collective Behavior." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115. doi:10.1073/pnas.1711089115.

Poltak, Steffen R., and Vaughn S. Cooper. 2011. "Ecological Succession in Long-Term Experimentally Evolved Biofilms Produces Synergistic Communities." *ISME Journal* 5:369–78.

Popa, Radu. 2004. *Between Necessity and Probability: Searching for the Definition and Origin of Life*. Berlin: Springer-Verlag.

Porcar, Manuel, and Juli Peretó. 2018. "Creating Life and the Media: Translations and Echoes." *Life Sciences, Society and Policy* 14. doi:10.1186/s40504-018-0087-9.

Postberg, Frank, Nozair Khawaja, Bernd Abel, Gael Choblet, Christopher R. Glein, Murthy S. Gudipati, Bryana L. Henderson et al. 2018. "Macromolecular Organic Compounds from the Depths of Enceladus." *Nature* 558:564–68.

Pratama, Akbar A., and Jan D. Van Elsas. 2018. "The 'Neglected' Soil Virome — Potential Role and Impact." *Trends in Microbiology* 26:649–62.

President's Commission for the Study of Ethical Problems in Medicine and Biomedical and Behavioral Research. 1981. *Defining Death: A Report on the Medical, Legal and Ethical Issues in the Determination of Death*. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office.

Quick, Joshua, Nicholas J. Loman, Sophie Duraffour, Jared T. Simpson, Ettore Severi, Lauren Cowley, Joseph A. Bore et al. 2016. "Real-Time, Portable Genome Sequencing for Ebola Surveillance." *Nature* 530:228–32.

Rajamani, Sudha, Alexander Vlassov, Seico Benner, Amy Coombs, Felix Olasagasti, and David Deamer. 2008. "Lipid-Assisted Synthesis of RNA-Like Polymers from Mononucleotides." *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 38:57–74.

Rall, Jack A. 2018. "Generation of Life in a Test Tube: Albert Szent-Gyorgyi, Bruno Straub, and the Discovery of Actin." *Advances in Physiology Education* 42:277–88.

Ramberg, Peter J. 2000. "The Death of Vitalism and the Birth of Organic Chemistry: Wohler's Urea Synthesis and the Disciplinary Identity of Organic Chemistry." *Ambix*, 47:170–95.

Rankin, Mark. 2013. "Can One Be Two? A Synopsis of the Twinning and Personhood Debate." *Monash Bioethics Review* 31:37–59.

Ratcliff, Marc J. 2004. "Abraham Trembley's Strategy of Generosity and the Scope of Celebrity in the Mid-Eighteenth Century." *Isis* 95:555–75.

Ray, Subash K., Gabriele Valentini, Purva Shah, Abid Haque, Chris R. Reid, Gregory F. Weber, and Simon Garnier. 2019. "Information Transfer During Food Choice in the Slime Mold *Physarum polycephalum*." *Frontiers in Ecology and Evolution* 7:1–11.

Reed, Charles B. 1915. *Albrecht Von Haller: A Physician — Not Without Honor*. Chicago: Chicago Literary Club.

Rehbock, Philip F. 1975. "Huxley, Haeckel, and the Oceanographers: The Case of *Bathybius haeckelii*." *Isis* 66:504–33.

Reid, Chris R., Hannelore MacDonald, Richard P. Mann, James A. R. Marshall, Tanya Latty, and Simon Garnier. 2016. "Decision-Making Without a Brain: How an Amoeboid Organism Solves the Two-Armed Bandit." *Journal of the Royal Society Interface* 13. doi:10.1098/rsif.2016.0030.

Reid, Chris R., Simon Garnier, Madeleine Beekman, and Tanya Latty. 2015. "Information Integration and Multiattribute Decision Making in Non-Neuronal Organisms." *Animal Behaviour* 100:44–50.

Reid, Chris R., Tanya Latty, Andrey Dussutour, and Madeleine Beekman. 2012. "Slime Mold Uses an Externalized Spatial 'Memory' to Navigate in Complex Environments." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 17490–94.

Reinhold, Robert. 1968. "Harvard Panel Asks Definition of Death Be Based on Brain." *New York Times*, August 5. <https://www.nytimes.com/1968/08/05/archives/harvard-panel-asks-definition-of-death-be-based-on-brain-death.html> (accessed June 8, 2020).

Rice, Amy L. 1983. "Thomas Henry Huxley and the Strange Case Of *Bathybius haeckelii*: A Possible Alternative Explanation." *Archives of Natural History* 11:169–80.

Robinson, Denis M. 1988. "Reminiscences on Albert Szent-Györgyi." *Biological Bulletin* 174:214–33.

Rochlin, Kate, Shannon Yu, Sudipto Roy, and Mary K. Baylies. 2010. "Myoblast Fusion: When It Takes More to Make One." *Developmental Biology* 341:66–83.

Roe, Shirley A. 1981. *Matter, Life, and Generation: 18th-Century Embryology and the Haller-Wolff Debate*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Rogalla, Horts, and Peter H. Kes, editors. *100 Years of Superconductivity*. London: Taylor & Francis.

Roger, Jacques. 1997. *Buffon: A Life in Natural History*. Translated by Sarah L. Bonnefoi. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Rosa-Salva, Orsola, Uwe Mayer, and Giorgio Vallortigara. 2015. "Roots of a Social Brain: Developmental Models of Emerging Animacy-Detection Mechanisms." *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 50:150–68.

Rößler, Hole. 2013. "Character Masks of Scholarship: Self-Representation and Self-Experiment as Practices of Knowledge Around 1770." In *Scholars in Action: The Practice of Knowledge and the Figure of the Savant in the 18th Century*. Edited by André Holenstein, Hubert Steinke, and Martin Stuber. Leiden, Netherlands: Brill.

Ruggiero, Angela. 2018. "Jahi McMath: Funeral Honors Young Teen Whose Brain Death Captured World's Attention." *Mercury News* (San Jose, CA), July 6. <https://www.mercurynews.com/2018/07/06/jahi-mcmath-funeral-honors-young-teen-whose-brain-death-captured-worlds-attention/> (accessed June 8, 2020).

Rummel, Andrea D., Sharon M. Swartz, and Richard L. Marsh. 2019. "Warm Bodies, Cool Wings: Regional Heterothermy in Flying Bats." *Biology Letters* 15. doi:10.1098/rsbl.2019.0530.

Rupke, Nicolaas A. 1976. "*Bathybius haeckelii* and the Psychology of Scientific Discovery: Theory Instead of Observed Data Controlled the Late 19th Century 'Discovery' of a Primitive Form of Life." *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 7:53–62.

Russell, Michael J. 2019. "Prospecting for Life." *Interface Focus* 9. doi:10.1098/rsfs.2019.0050.

Rutz, Christian, Matthias-Claudio Loretto, Amanda E. Bates, Sarah C. Davidson, Carlos M. Duarte, Walter Jetz, Mark Johnson et al. 2020. "COVID-19 Lockdown Allows Researchers to Quantify the Effects of Human Activity on Wildlife." *Nature Ecology & Evolution*. doi:10.1038/s41559-020-1237-z.

Sagan, Carl, and Joshua Lederberg. 1976. "The Prospects for Life on Mars: A Pre-Viking Assessment." *Icarus* 28:291–300.

Samartzidou, Hrissi, Mahsa Mehrazin, Zhaohui Xu, Michael J. Benedik, and Anne H. Delcour. 2003. "Cadaverine Inhibition of Porin Plays a Role in Cell Survival at Acidic pH." *Journal of Bacteriology* 185:13–19.

Satterly, John. 1939. "The Postprandial Proceedings of the Cavendish Society I." *American Journal of Physics* 7:179–85.

Schlenk, Fritz. 1987. "The Ancestry, Birth and Adolescence of Adenosine Triphosphate." *Trends in Biochemical Sciences* 12:367–68.

Schmalian, Jörg. 2010. "Failed Theories of Superconductivity." *Modern Physics Letters B* 24:2679–91.

Scholl, Brian J., and Patrice D. Tremoulet. 2000. "Perceptual Causality and Animacy." *Trends in Cognitive Sciences* 4:299–309.

Schrödinger, Erwin. 2012. *What Is Life?* Cambridge: Cambridge University Press.

Secor, Stephen M., and Jared Diamond. 1995. "Adaptive Responses to Feeding in Burmese Pythons: Pay Before Pumping." *Journal of Experimental Biology* 198:1313–25.

Secor, Stephen M., and Jared Diamond. 1998. "A Vertebrate Model of Extreme Physiological Regulation." *Nature* 395:659–62.

Secor, Stephen M., Eric D. Stein, and Jared Diamond. 1994. "Rapid Upregulation of Snake Intestine in Response to Feeding: A New Model of Intestinal Adaptation." *American Journal of Physiology* 266: G695–705.

Setia, Harpreet, and Alysson R. Muotri. 2019. "Brain Organoids as a Model System for Human Neurodevelopment and Disease." *Seminars in Cell and Developmental Biology* 95:93–97.

Setten, Ryan L., John J. Rossi, and Si-Ping Han. 2019. "The Current State and Future Directions of RNAi-Based Therapeutics." *Nature Reviews Drug Discovery* 18:421–46.

Shahar, Anat, Peter Driscoll, Alycia Weinberger, and George Cody. 2019. "What Makes a Planet Habitable?" *Science* 364:434–35.

Shewmon, D. A. 2018. "The Case of Jahi McMath: A Neurologist's View." *Hastings Center Report* 48: S74–76.

Simkulet, William. 2017. "Cursed Lamp: The Problem of Spontaneous Abortion." *Journal of Medical Ethics*. doi:10.1136/medethics-2016-104018.

Simpson, Bob. 2018. "Death." *Cambridge Encyclopedia of Anthropology*, July 23. <http://doi.org/10.29164/18death> (accessed June 8, 2020).

Sloan, Philip R., and Brandon Fogel. 2011. *Creating a Physical Biology: The Three-Man Paper and Early Molecular Biology*. Chicago: University of Chicago Press.

Slowik, Edward. 2017. "Descartes' Physics." *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, August 22. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/descartes-physics/> (accessed July 25, 2020).

Slutsky, Arthur S. 2015. History of Mechanical Ventilation: From Vesalius to Ventilator-Induced Lung Injury." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 191:1106–15.

Smith, Kelly C. 2018. "Life as Adaptive Capacity: Bringing New Life to an Old Debate." *Biological Theory* 13:76–92.

Srivathsan, Amrita, Emily Hartop, Jayanthi Puniamoorthy, Wan T. Lee, Sujatha N. Kutty, Olavi Kurina, and Rudolf Meier. 2019. "Rapid, Large-Scale Species Discovery in Hyperdiverse Taxa Using 1D MinION Sequencing." *BMC Biology* 17. doi:10.1186/s12915-019-0706-9.

Steigerwald, Joan. 2019. *Experimenting at the Boundaries of Life: Organic Vitality in Germany Around 1800*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.

Steinke, Hubert. 2005. *Irritating Experiments: Haller's Concept and the European Controversy on Irritability and Sensibility, 1750–90*. Amsterdam: Rodopi.

Stephenson, Andrew G. 1981. "Flower and Fruit Abortion: Proximate Causes and Ultimate Functions." *Annual Review of Ecology and Systematics* 12:253–79.

Stiles, Joan, and Terry L. Jernigan. 2010. "The Basics of Brain Development." *Neuropsychology Review* 20:327–48.

Stott, Rebecca. 2012. *Darwin's Ghosts: The Secret History of Evolution*. New York: Spiegel & Grau.

Strauss, Bernard S. 2017. "A Physicist's Quest in Biology: Max Delbrück and 'Complementarity.'" *Genetics* 206:641–50.

Strick, James E. 2009. "Darwin and the Origin of Life: Public Versus Private Science." *Endeavour* 33:148–51.

Subramanian, Samanth. 2020. *A Dominant Character: The Radical Science and Restless Politics of J. B. S. Haldane*. New York: Norton.

Sullivan, Janet R. 1983. "Comparative Reproductive Biology of *Acer pensylvanicum* and *A. spicatum* (Aceraceae)." *American Journal of Botany* 70:916–24.

Surman, Andrew J., Marc R. Garcia, Yousef M. Abul-Haija, Geoffrey J. T. Cooper, Piotr S. Gromski, Rebecca Turk-MacLeod, Margaret Mullin et al. 2019. "Environmental Control Programs the Emergence of Distinct Functional Ensembles from Unconstrained Chemical Reactions." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116. doi:10.1073/pnas.1813987116.

Sutton, Geoffrey. 1984. "The Physical and Chemical Path to Vitalism: Xavier Bichat's Physiological Researches on Life and Death." *Bulletin of the History of Medicine* 58:53–71.

Swartz, Mimi. 1996. "It Came from Outer Space." *Texas Monthly*, November. <https://www.texasmonthly.com/articles/it-came-from-outer-space/> (accessed July 25, 2020).

Sweet, William H. 1978. "Brain Death." *New England Journal of Medicine* 299:410–22.

Symonds, Neville. 1988. "Schrödinger and Delbrück: Their Status in Biology." *Trends in Biochemical Sciences* 13:232–34.

Szabo, Liz. 2014. "Ethicists Criticize Treatment of Teen, Texas Patient." *USA Today*, January 9. <https://www.usatoday.com/story/news/nation/2014/01/09/ethicists-criticize-treatment-brain-dead-patients/4394173/> (accessed June 8, 2020).

Szent-Györgyi, Albert. 1948. *Nature of Life: A Study on Muscle*. New York: Academic Press.

Szent-Györgyi, Albert. 1963. "Lost in the Twentieth Century." *Annual Review of Biochemistry* 32:1–14.

Szent-Györgyi, Albert. 1972. "What Is Life?" In *Biology Today*. Edited by John H. Painter, Jr. Del Mar, CA: CRM Books.

Szent-Györgyi, Albert. 1977. "The Living State and Cancer." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 74:2844–47.

Tamura, Koji. 2016. "The Genetic Code: Francis Crick's Legacy and Beyond." *Life* 6:36.

Taubner, Ruth-Sophie, Patricia Pappenreiter, Jennifer Zwicker, Daniel Smrzka, Christian Pruckner, Philipp Kolar, Sébastien Bernacchi et al. 2018. "Biological Methane Production Under Putative Enceladus-Like Conditions." *Nature Communications* 9:748.

Taylor, William R. 1920. *A Morphological and Cytological Study of Reproduction in the Genus Acer*. Philadelphia: University of Pennsylvania.

Thomson, Charles W. 1869. "XIII. On the Depths of the Sea." *Annals and Magazine of Natural History* 4:112–24.

Thomson, Joseph J. 1906. "Some Applications of the Theory of Electric Discharge Through Gases to Spectroscopy." *Nature* 73:495–99.

Tirard, Stéphane. 2017. "J. B. S. Haldane and the Origin of Life." *Journal of Genetics* 96:735–39.

Trifonov, Edward N. 2011. "Vocabulary of Definitions of Life Suggests a Definition." *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics* 29:259–66.

Trujillo, Cleber A., Richard Gao, Priscilla D. Negraes, Jing Gu, Justin Buchanan, Sebastian Preissl, Allen Wang et al. 2019. "Complex Oscillatory

Waves Emerging from Cortical Organoids Model Early Human Brain Network Development.” *Cell Stem Cell* 25:558–69.e7.

Truog, Robert D. 2018. “Lessons from the Case of Jahi McMath.” *Hastings Center Report* 48: S70–73.

Vallortigara, Giorgio, and Lucia Regolin. 2006. “Gravity Bias in the Interpretation of Biological Motion by Inexperienced Chicks.” *Current Biology* 16: R279–80.

Van Kranendonk, Martin J., David W. Deamer, and Tara Djokic. 2017. “Life Springs.” *Scientific American* 317:28–35.

Van Lawick-Goodall, Jane. 1968. “The Behaviour of Free-Living Chimpanzees in the Gombe Stream Reserve.” *Animal Behaviour Monographs* 1:161–311.

Van Lawick-Goodall, Jane. 1971. *In the Shadow of Man*. Boston: Houghton Mifflin.

Vartanian, Aram. 1950. “Trembley’s Polyp, La Mettrie, and Eighteenth-Century French Materialism.” *Journal of the History of Ideas* 11:259–86.

Vastenhouw, Nadine L., Wen X. Cao, and Howard D. Lipshitz. 2019. “The Maternal-to-Zygotic Transition Revisited.” *Development* 146. doi:10.1242/dev.161471.

Vázquez-Diez, Cayetana, and Greg FitzHarris. 2018. “Causes and Consequences of Chromosome Segregation Error in Preimplantation Embryos.” *Reproduction* 155: R63–76.

“Viking I Lands on Mars.” *ABC News*, July 20, 1976. <https://www.youtube.com/watch?gZjCfNvx9m8> (accessed June 8, 2020).

Villavicencio, Raphael T. 1998. “The History of Blue Pus.” *Journal of the American College of Surgeons* 187:212–16.

Vitas, Marko, and Andrej Dobovišek. 2019. “Towards a General Definition of Life.” *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 49:77–88.

Vitturi, Bruno K., and Wilson L. Sanvito. 2019. “Pierre Mollaret (1898–1987).” *Journal of Neurology* 266:1290–91.

Voigt, Christian C., Winifred F. Frick, Marc W. Holderied, Richard Holland, Gerald Kerth, Marco A. R. Mello, Raina K. Plowright et al. 2017. “Principles and Patterns of Bat Movements: From Aerodynamics to Ecology.” *Quarterly Review of Biology* 92:267–87.

Waddington, Conrad H. 1967. “No Vitalism for Crick.” *Nature* 216:202–3.

Wakefield, Priscilla. 1816. *Instinct Displayed, in a Collection of Well-Authenticated Facts, Exemplifying the Extraordinary Sagacity of Various Species of the Animal Creation*. Boston: Flagg & Gould.

Walker, Sara I. 2017. "Origins of Life: A Problem for Physics, a Key Issues Review." *Reports on Progress in Physics* 80. doi:10.1088/1361-6633/aa7804.

Walker, Sara I. 2018. "Bio from Bit." In *Wandering Towards a Goal: How Can Mindless Mathematical Laws Give Rise to Aims and Intention?* Edited by Anthony Aguirre, Brendan Foster, and Zeeya Merali. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Walker, Sara I., and Paul C. W. Davies. 2012. "The Algorithmic Origins of Life." *Journal of the Royal Society Interface* 10. doi:10.1098/rsif.2012.0869.

Walker, Sara I., Hyunju Kim, and Paul C. W. Davies. 2016. "The Informational Architecture of the Cell." *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 374. doi:10.1098/rsta.2015.0057.

Walker, Sara I., William Bains, Leroy Cronin, Shiladitya DasSarma, Sebastian Danielache, Shawn Domagal-Goldman, Betul Kacar et al. 2018. "Exoplanet Biosignatures: Future Directions." *Astrobiology* 18:779–824.

Webb, Richard L., and Paul A. Nicoll. 1954. "The Bat Wing as a Subject for Studies in Homeostasis of Capillary Beds." *Anatomical Record* 120:253–63.

Welch, G. R. 1995. "T. H. Huxley and the 'Protoplasmic Theory of Life': 100 Years Later." *Trends in Biochemical Sciences* 20:481–85.

Westall, Frances, and André Brack. 2018. "The Importance of Water for Life." *Space Science Reviews* 214. doi:10.1007/s11214-018-0476-7.

Wijdicks, Eelco F. M. 2003. "The Neurologist and Harvard Criteria for Brain Death." *Neurology* 61:970–76.

Willis, Craig K. R. 2017. "Trade-offs Influencing the Physiological Ecology of Hibernation in Temperate-Zone Bats." *Integrative and Comparative Biology* 57:1214–24.

Wilson, Edmund B. 1923. *The Physical Basis of Life*. New Haven, CT: Yale University Press.

WSFA Staff. 2019. "Rape, Incest Exceptions Added to Abortion Bill." *WBRC FOX6 News*, May 8. <https://www.wbrc.com/2019/05/08/rape-incest-exceptions-added-abortion-bill/> (accessed July 25, 2020).

Xavier, Joana C., Wim Hordijk, Stuart Kauffman, Mike Steel, and William F. Martin. 2020. "Autocatalytic Chemical Networks at the Origin of Metabolism." *Proceedings of the Royal Society B* 287. doi:10.1098/rspb.2019.2377.

Yashina, Svetlana, Stanislav Gubin, Stanislav Maksimovich, Alexandra Yashina, Edith Gakhova, and David Gilichinsky. 2012. "Regeneration of Whole Fertile Plants from 30,000-Y-Old Fruit Tissue Buried in Siberian Permafrost." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:4008–13.

Yoxen, Edward J. 1979. "Where Does Schroedinger's 'What is Life?' Belong in the History of Molecular Biology?" *History of Science* 17:17–52.

Zammito, John H. 2018. *The Gestation of German Biology: Philosophy and Physiology from Stahl to Schelling*. Chicago: University of Chicago Press.

Zimmer, Carl. 1995. "First Cell." *Discover*, October 31. <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/first-cell> (accessed June 8, 2020).

Zimmer, Carl. 2007. "The Meaning of Life." *Seed*, September 4. <https://carlzimmer.com/the-meaning-of-life-437/> (accessed July 25, 2020).

Zimmer, Carl. 2011. "Darwin Under the Microscope: Witnessing Evolution in Microbes." In *In the Light of Evolution: Essays from the Laboratory and Field*. Edited by Jonathan B. Losos. New York: Macmillan.

Zimmer, Carl. 2021. *A Planet of Viruses*. Third edition. Chicago: University of Chicago Press.

БЛАГОДАРНОСТИ

Идея этой книги родилась в ходе беседы с Беном Лилли, владельцем зала Caveat в Манхэттене. Мы гуляли по Нижнему Ист-Сайду, и я спросил, как он смотрит на то, чтобы предоставить мне площадку для нескольких бесед на тему живого и жизни. Это будет несложно организовать, заверил я Бена, и тот задумался: а не стоит ли мне и впрямь попробовать? Задача оказалась сложнее, чем я думал, но усилия, безусловно, были потрачены не зря. Я побеседовал с восемью мыслителями, глубоко обдумывающими проблему жизни: Сарой Уокер, Карлосом Марискалем, Джимом Кливзом, Калобом Шарфом, Джереми Ингландом, Стивеном Беннером, Донато Джованнелли и Кейт Адамалой. Из этих моих диалогов мы с Беном при поддержке Science Sandbox (проект Фонда Саймонса) создали подкаст carlzimmer.com/podcasts. Однако любопытство мое утолено не было, оно лишь усугубилось. Когда я сказал своему коллеге Эду Йонгу*, что задумал книгу о жизни, он ответил, что такую книгу и ему захотелось бы про-

* Эд Йонг (род. 1981) — научный журналист, лауреат Пулитцеровской премии 2021 г. — *Прим. ред.*

честь. И здесь я хочу поблагодарить всех, кто помог мне оказать-ся на линии старта этого марафона.

Фонд Альфреда Слоуна любезно предоставил мне грант, кото-рый поддерживал меня в процессе написания книги в это непро-стое время. Благодаря Майклу Мейсону и Селии Даггер некото-рые главы этой книги были освещены в *The New York Times*. В сбо-ре материалов неоценимую помощь оказали мне очень многие. Для начала благодарю Луиса Кампоса за беседу о Джоне Батлере Бёрке. Алиссон Муотри, Клебер Трухильо, Присцилла Негрес и их коллеги познакомили меня с тайнами органоидов. Жантин Лунс-хоф и Гленн Коэн помогли мне в осмыслении этики зарождения жизни. Стивена Секора и Дэвида Нельсона я хотел бы поблаго-дарить за возможность пообщаться со змеями, а Симона Гарнье и его студентов — за то, что вырастили для меня слизевиков. Уда-чей увидеть зимующих летучих мышей я обязан Карлу Херцог-гу, Кэтлин Рицко и Лори Северино из Нью-Йоркского департа-мента охраны окружающей среды, а также Александру Новичу из Отдела охраны прилегающих земель озера Джордж. Весьма признателен также Шарон Шварц за приглашение в ее лабора-торию в Брауновском университете и за наш разговор о полете рукокрылых. Рейчел Спайсер рассказала мне о деревьях, а Иза-бель Отт, Эбигейл Матела, Вон Купер и Пол Тёрнер дали мне воз-можность узнать об эволюции на собственном опыте.

Что касается истории биологии, то здесь я очень благодарен Патрику Энтони, который помог мне собрать материалы об Аль-брехте фон Галлере, и Гэри Внеку, который пробудил мой инте-рес к Альберту Сент-Дьёрдьи. Хотел бы выразить признатель-ность Дэвиду Димеру за многочисленные беседы на протяже-нии нескольких лет, а также Лори Бардж, показавшей мне, как выращивать химические сады. Большое спасибо Ли Кронину, позволившему заглянуть в мир робохимии вопреки пандемии, из-за которой мы оба застряли по домам.

Кейт Адамала, Луис Кампос и Роб Филлипс доброжелательно вычитали всю рукопись от начала до конца. Я благодарю и тех, кто самоотверженно занимался проверкой фактов, — это Лорен-цо Арванитис, Бритт Бистис, Нэкайра Кристи, Келли Фарли, Лори Джиа, Мэтт Кристофферсен, Анин Луо и Криш Мейпол.

Благодарности

Я признателен Стивену Морроу, редактору издательства Dutton, за способность различать контуры чего-то нового еще тогда, когда оно трудноуловимо, а также своему литературному агенту Эрику Симонову, всегда сохраняющему безупречное чутье на успешные проекты.

И наконец, глубочайшая благодарность моей родне: дочерям Шарлотте и Веронике за стойкость, с которой они перенесли тяжелый год пандемии, и — больше, чем кому бы то ни было, — моей жене Грейс. Я часто задумываюсь: до чего же мне повезло быть рядом с ней. Мою любовь к Грейс невозможно выразить словами, а посему все попытки благодарности выходят неудачно, сколько их ни переписывай.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- 1-пентанол 278
51 Пегаса, звезда 267
- А**
- аборт 41–46, 50, 51, 74
Авив, Рейчел 74
автокаталитические системы 292,
293, 299
Адамала, Кейт 252, 295, 297
аденин 87, 242
азотная кислота 163
Аккеркнехт, Эрвин 60
аксоны 23–25, 32
Алабама, юридический комитет
сената штата 50
аланин 228
Александр, Ги 70
алхимия 11, 88, 162, 180, 287, 289
амебы 119
Американская ассоциация
содействия развитию науки
286
Американская медицинская
ассоциация 42
- аминокислоты 89, 92, 204, 207,
219, 228, 233–235, 238, 243,
254, 273, 274, 293, 296
анатомические исследования 149,
151, 153, 161
анеуплоидия 49, 50
антибиотики 125, 134, 203, 223
антивоскресители 63
антиоксиданты 250
антитела 216
антоциан 118
апериодические кристаллы
см. также ДНК 202, 205, 206
Аргайл, Джордж Дуглас Кэмпбелл,
герцог 178
Аристотель 42, 142
аспарагиновая кислота 228
астробиология 259, 267, 270, 286,
287
АТФ 86–88, 112, 187, 188, 190,
219, 224
- Б**
- Базен, Жиль 148

- бактерии
 выращивание в лаборатории
 130–132
 и АТФ 86
 и клеточная смерть 64
 и минералы с Марса 265
 и питание слизевиков 96
 и фотосинтез 191, 232
 и эволюционные силы 114, 124,
 125, 127–136
 поражение вирусами 134–136,
 199, 218, 222, 223
 бактериофаги (фаги) 134–136,
 199, 218, 222
 Бардж, Лори 259, 268–274
 Бардин, Джон 294
 батибиус 167, 173–178, 180, 219,
 229, 235
 Бейкер, Генри 63, 147
 Беккерель, Анри 10
 белки
 в вулканических горячих
 источниках 228
 и биопленки 131
 и вирусы 218–220
 и воздействие прионов 283
 и генетические заболевания
 258
 и ДНК 204, 205, 207
 и исследования бактерий рода
 Pseudomonas 135
 и мембраны 236
 и пивоварение 181
 и питание слизевиков 100
 и пребиотическая химия 234, 235
 и работа метаболизма 87, 90, 91
 и теории живого 290, 291
 и теории происхождения жизни
 243–246, 250, 254
 и теория сборки 297
 белого носа синдром 112–114
 Бентинк, Виллем, граф 141, 158
 Бергсон, Анри 184, 204
 Бёрк, Джон Батлер
 и культура Кавендишской
 лаборатории 10
 и радиобы 13–17, 179, 204, 276
 и теории происхождения жизни
 15
 получение образования физика
 10
 Бернар, Клод 107
 Бернат, Джеймс 77, 78
 бешенство 217, 218
 Бёш, Кристоф 57
 Библия *см. также* богословие
 и религиозные верования
 40, 42
 Бил, Лайонел Смит 175
 Биман, Клаус 263
 Биологическое общество
 (Франции) 63
 биопленки 131–134
 биоэтика 34, 73, 76
 Бичер, Генри 69–71
 Бич, Леонардо 281
 Биша, Ксавье 60, 61, 67–69, 161
 близнецы 48, 69, 150
 Блуменбах, Иоганн Фридрих 158
 Блэкстон, Уильям 41
 богословие и религиозные
 верования
 и границы научного познания
 157

- и мифы о сотворении 229
 и представления о жизни и смерти 40, 41, 59, 60, 143, 144
 и происхождение жизни 173
 и теории размножения 146
 и эволюция 185
 и Эразм Дарвин 160
 неприятие Фрэнсисом Криком 203
 юридические/медицинские критерии смерти мозга 71, 73
 Бонне, Шарль 144
 бонобо 39
 Бор, Нильс 194, 195, 294
 ботаника 116, 120, 150–154, 159, 200
 боярышник вашингтонский 116
 Брак, Андре 280
 буддизм 60
 бук американский 116
 Бухнер, Эдуард 181, 182, 196
 Бьюкенен, Джон 176, 177
 Бэнгхем, Алек 236, 237
 Бюффон, Жорж-Луи Леклерк, граф 157, 158
- В**
- вазопрессин 76
 валин 228
 Вальортигара, Джорджио 38
 Варела, Франсиско 290
 Вёлер, Фридрих 163, 164, 180
 Венгрия 185, 187–190
 Венера 260, 261
 вентиляция легких искусственная 68–73, 77
- Верховный суд США 43
 «Викинг-1» 262, 263, 266, 268
 вирусы
 бактериофаги 134–136, 199, 218, 222
 вироклетки 221
 виром 222
 и исследование мутаций 199
 и исследование органоидов 31
 и определения живого/жизни 219–221
 и пребиотическая химия 235
 и прочтение ДНК 252
 липосомы в вакцинах 237
 полиомиелита 218
 происхождение 226
 SARS-CoV-2 216–218, 220
 витальная сила / витализм
 и автокаталитические системы 292
 и органическое / неорганическое 163
 и открытие ДНК 206, 208–210
 и проблема абортгов 42, 173
 и протоплазма 173
 и работа клетки 181–185
 и раздражимость 158
 и теории происхождения жизни 230
 и теория щелочных источников 257
 и «Франкенштейн» (Шелли М.) 161
 и *Urschleim* 170, 171
 витамин С 187
 Витгенштейн, Людвиг 282
 внешняя память 98

- вода 64–66, 288, 289
водоросли 25, 93, 126, 166, 175, 232, 246
Войтек, Брэдли 33
волновые функции 199, 200
воскресители 63, 64
Вудс-Хоул, Массачусетс 192
- Г**
- Гадири, Реза 292
Галлер, Альбрехт фон 149–158, 170, 187
Гарнье, Симон 93, 94, 96, 97, 101–103
Геккель, Эрнст 173, 175, 177, 229
Гексли, Томас 167–179, 229, 230
гексурановая кислота 186
гемолизин 241
гены и генетика
 генетические нарушения 49, 124
 и автокаталитические системы 291
 и аперидические кристаллы Шрёдингера 206
 и вирусы 216, 217, 219–222, 223
 и выработка витамина С 187
 и исследование мутаций 196–199
 и исследование органоидов 30
 и исследования бактерий рода *Pseudomonas* 131–136
 и исследования полипов 146
 и клены 118, 121–123
 и митохондрии 223
 и моллинезии-амазонки 225
 и определения живого/жизни 233, 278, 279
 и органические молекулы в метеоритах 255
 и основанные на РНК лекарства 258
 и открытие ДНК 204–208
 и пребиотическая химия 235
 и примитивные клетки 237, 239
 и протоки клетки 253, 255
 и работа метаболизма 87, 90, 91
 и свойства живого 25
 и слизевика 96, 102
 и спячка 114
 и теоретические модели жизни 290, 291
 и теория сборки 297
 и технология прочтения ДНК 240, 242, 251, 252
 и эмбриональное развитие 47–49
 и эритроциты 223
- Георг III, британский король 155
гибриды 225
Гилберт, Уолтер 243, 249
Гитлер, Адольф 188, 189
глицин 228
Голдин, Дэниел 266
гомеостаз 83, 107, 108, 110–114, 122, 136, 287
гомонины 59
гормоны 49, 50, 75, 76, 90
Горовиц, Норман 261, 263
горячие источники 227, 245–248, 253, 255
Гофман, Фридрих 143
грибок 112–114, 130, 218
грибы *см. также* грибок 64, 96, 222, 274

- Грин, Сара 281
 грипп 217, 218
 гуанин 87, 126, 242
 Гудолл, Джейн 56, 57
 Гукер, Джозеф 228, 229
 Гулон, Морис 68, 69
- Д**
- Дарвин, Чарльз 15, 18, 56, 127,
 169, 171, 228–230, 255
 Дарвин, Эразм 159, 160, 162, 169,
 228
 Дартмутская медицинская школа 77
 Дауна синдром 49
 движение за права личности 44,
 46, 51
 «Двойная спираль» (Уотсон Дж.)
 207
 Дейман, Джозеф 169
 Деймер, Брюс 248
 Декарт, Рене 142, 143, 158
 Дельбрюк, Макс 194–196, 198–
 201, 210
 Дендрарий Коннектикутского
 колледжа 116–118, 120
 деревья 54, 55, 117–123, 126, 136
 Детская больница Окленда 72, 74
 Джойс, Джеральд 211, 221
 Джордж, Роберт 46
 диабет несахарный 76
 Димер, Дэвид
 астробиологические/
 экзобиологические
 исследования 267
 исследования
 автокаталитических систем
 293
 исследования вулканических
 горячих источников 227,
 228, 247, 248, 253–256
 исследования липидов
 и липосом 237–239, 242,
 244–247, 249, 252, 253, 255
 начало работы с липидами 236,
 237
 о теории щелочных источников
 256, 257
 РНК как основа для лекарств
 257, 258
 технология прочтения ДНК
 240, 241, 250, 252
 ДНК
 и апериодические кристаллы
 Шрёдингера 202
 и астробиологические/
 экзобиологические
 исследования 270, 286
 и бактериофаги 135
 и вирусы 220, 226
 и исследования бактерий рода
 Pseudomonas 133
 и криптиобиоз 65, 66
 и молекулярный витализм 210
 и определения живого/жизни
 46, 280, 283
 и пребиотическая химия 235
 и работа клетки 45–47
 и работа метаболизма 87, 90, 91
 и размножение 119
 и слизевики 102
 и спячка 107, 114
 и теории происхождения жизни
 237, 239–241, 243–245,
 249–254, 258, 290, 291

- и теория сборки 299
 и устойчивость к болезням 114
 и электрический заряд внутри
 клетки 192
 и эмбриональное развитие 50,
 51
 и эритроциты 223, 224
 и эукариоты 125
 открытие ДНК 202, 205–207
 технологии прочтения 240, 241,
 250, 252, 278
 древо жизни 170
 дрожжи 180–182, 196
 дрозофилы 197, 230
 Дуглас-Рудж, Уильям Артур 15, 16
 Дюжарден, Феликс 171
 Дюкло, Эмиль 182
 Дюссютур, Одри 100
- Е**
- естественный отбор *см. также*
 эволюция; гены и генетика
 127, 128, 131, 134, 135, 170,
 176, 209, 221, 279
- Ж**
- животворная сила 11, 17
 животворная субстанция 147
 животные, эксперименты 149,
 151–154
- З**
- «зверушки» Левенгука 61, 62, 66
 Зеленого Мыса острова 165
 Зика вирус 31
 зимаса 182, 196
 Зиммель, Марианна 276, 277
- змеи метаболизм 82, 83, 88, 89,
 91, 92, 98
 зоология 148, 171, 175
- И**
- игра, определение 282
 Индийский институт технологий
 в Гувахати 101
 Институт Аллена по изучению
 мозга 52
 инсульт 76
 интеллект 96, 103
 информация применительно к
 теории сборки 297, 299
 Иоанн Неаполитанский 41
 Иосиф II, император Священной
 Римской империи 156
 ископаемая летопись
см. также ископаемые
 остатки; окаменелости 59,
 128, 185, 254
 ископаемые остатки *см. также*
 ископаемая летопись;
 окаменелости 171, 172,
 178, 265, 267
 исследования вулканических
 горячих источников 227,
 244–248, 253
 Исследовательский институт
 Скриппса 292
- К**
- Кавендишская лаборатория 9, 10,
 13, 15–17, 204–207
 калий 86, 87, 110, 188
 Калне, Рой 70
 Камерлинг-Оннес, Хейке 294

- Кампос, Луис 17
 Каплан, Артур 73
 каприловая кислота 278
 Карпентер, Уильям 171, 172
 картезианское мировоззрение 143
 «Кассини», космический зонд 269, 270
 Касто, Тодд 90, 91
 Касьянович, Джон 241
 катализаторы 292
 Кауфман, Стюарт 291–293, 299
 квантовая физика 192–194, 196, 198–201
 Кеннон, Уолтер 107
 кислород
 и азотная кислота 163
 и действие ферментов 186
 и липиды 236
 и метаболизм 86, 88, 112
 и работа мозга 32
 и работа органов 65–68, 72, 77
 и теории происхождения жизни 186, 192, 230, 273, 289
 и фотосинтез 222, 232
 и химические свойства воды 162, 163, 288, 290
 и экзобиология 261, 267
 и эритроциты 223
 кишечная палочка (*Escherichia coli*) 128
 кластерный анализ 283
 клены 116–118, 120–123, 126, 136
 клетки-предшественницы 26, 28, 31, 223
 Клиланд, Кэрол 283–287, 289
 Клинтон, Билл 266
 кокколиты 169, 172
 Колледж Смита 277
 коловратки 62–64
 Кольбе, Герман 164
 Кольридж, Сэмюел Тейлор 159
 Компаниченко, Владимир 246, 247
 компьютерное моделирование 291, 292
 Конте, Сильвио 264
 контур отрицательной обратной связи 109, 110
 корабль «Бигль» 169
 корабль «Гремучая змея» 167–169
 корабль «Молния» 174, 175
 корабль «Циклоп» 169, 172
 корабль «Челленджер» 165–167, 175–178, 270
 коронавирус *см. также* SARS-CoV-2 пандемия 218, 220
 Космический центр имени Линдона Джонсона 264
 Котара синдром 36, 82
 Кох, Кристоф 52, 53
 «крепкая водка» 162, 163, 289
 Крик, Фрэнсис 202–211, 235, 236
 криптобиоз 65
 кристаллы и кристаллические структуры 13, 163, 201–205, 218, 230, 249, 253, 254, 265, 271, 272, 283, 289
 критерии комплексного мозгового стандарта 72, 75, 76
 Кронин, Ли 276–278, 295–299
 крылатки 121–123, 126
 Купер, Вон 129, 132, 133

- Купер, Леон 294
 Кэмпбелл, Джордж Гренвилль 165
 Кэмпбелл, Норман Роберт 16
 Кюри, Мария 10, 11
 Кюри, Пьер 10, 11
- Л**
- Лаборатория морской биологии 191
 Лаборатория происхождения жизни и пригодности для обитания 269
 Лаборатория реактивного движения (ЛРД) 259–262, 264, 268, 269, 271
 Лавлок, Джеймс 261
 Лавуазье, Антуан 162
 ламарковская эволюция 279
 ламинария 25
 Левенгук, Антони ван 61, 62, 66, 218
 легких работа 124, 125, 133
 Ледерберг, Джошуа 45, 53, 260, 263
 Ледюк, Стефан 274
 лекарственная резистентность 221, 223
 Ленски, Ричард 127–129, 134
 Леонардо да Винчи 288
 летучие мыши *см. также*
 рукокрылые 106–114, 136, 216
 Ли, Патрик 46
 липиды и липосомы
 и астробиологические/
 экзобиологические
 исследования 274
 и исследования вулканических
 горячих источников 247–249
 и органические молекулы
 в метеоритах 242, 244–246
 и примитивные клетки 237–240
 и протоклетки 252–254
 и структура мембран 236, 237
 и теория сборки 296, 297
 и теория щелочных источников 257
 и технология прочтения ДНК 241
 и философские деревья 274
 Лома-Приета, землетрясение 242
 Лондонский зоопарк 56
 Лондонское Королевское общество 16, 63, 147, 178
 Лопес-Гарсиа, Пурификасьон 221
 Лунсхоф, Жантин 34
 Льюис, Клайв 204
 Лю, Дэниел 171
- М**
- магнитно-резонансная томография (МРТ) 36
 Майерхенрих, Уве 282
 Маккей, Дэвид 265, 285
 Макмат, Джахи 72–75, 77, 78
 «Маринер», космический аппарат 260, 261
 Марс 260–269, 280, 285
 Массачусетский технологический институт (МТИ) 190, 191
 матричная РНК 87, 91, 258
 Медник, Гейб 257, 258
 Международная комиссия по таксономии вирусов 221

- Международная космическая станция (МКС) 29, 30, 252, 270
- Мейтнер, Лиза 195
- Мёллер, Герман 197, 198, 200
- мембраны
и астробиологические/экзобиологические исследования 275
и вирусы 219
и дрожжевые клетки 181
и исследования бактерий рода *Pseudomonas* 131
и исследования вулканических горячих источников 247, 256
и липосомы 237
и происхождение генов 233
и работа клетки 45
и роль воды 64
и теории происхождения жизни 254
и технология прочтения ДНК 239, 241, 252
и философские деревья 272
и характеристики живого 25
и эмбриональное развитие 47
и эритроциты 223
- Мёррей, Джон 176, 177
- метаболизм
и астробиологические/экзобиологические исследования 274, 297
и вирусы 219
и змеи 82, 83, 88–92, 98
и мембраны 236
и определения живого/жизни 211, 219, 233, 236, 237, 279, 283
и происхождение жизни 237, 246, 256
и работа ферментов 185, 186
и слизики 99
и спячка 110
и теоретические модели жизни 291
- метан 234, 256, 289
- метеориты
и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) 246
и теории происхождения жизни 239, 242, 244, 253, 254
Мерчисонский метеорит 238, 239, 242, 246, 296
на дне океана 166
Allan Hills 84001 (ALH 84001) 264–267, 279, 285
- микроскопы 12, 17, 26, 35, 61–63, 101, 142, 147, 157, 171, 172, 174, 176, 183, 197, 218, 239, 244, 253, 265
- Миллер, Стэнли 233–235, 247, 296
- миозин 187, 188, 190
- миристиновая кислота 228
- митохондрии 223, 224, 278
- Миттлфелдт, Дэвид 264
- мозг, функционирование и физиология
волновая активность 33, 52
и восприятие живого 35–40
и исследование органоидов 28–35

- и определения живого/жизни 283
- и распознавание живого 277, 278
- и трансплантация органов 69–71
- и *coma dépassé* 69, 70
- кора 28, 29, 33
- опухоли 76
- правовые/медицинские стандарты смерти 70–78
- причины смерти мозга 67
- Мозли, Генри 166
- Молларе, Пьер 68, 69
- моллинезии-амазонки 225–278, 283
- Моль, Гуго фон 171
- Моммартс, Вилфрид 188
- Морган, Томас Хант 197, 198
- Морейра, Давид 221
- морские бактерии 222
- мочевина 163
- муковисцидоз 125, 129, 131, 134, 135
- Муотри, Алиссон 27–32, 34
- мутации
- и вирусы 135, 136, 216, 217, 220
 - и генетические заболевания 258
 - и дарвиновская эволюция 126–128
 - и заболевания мозга 27
 - и исследования бактерий рода *Pseudomonas* 132–134
 - и муковисцидоз 125
 - и общая концепция природы живого у Крика 210
- и определения живого/жизни 279
- и открытие ДНК Фрэнсисом Криком 207
- исследования Дельбрюка 198, 199
- и устойчивость к заболеваниям 114
- Мутновская сопка 227, 228, 247, 248
- мышцы
- и анатомические исследования 150
 - и исследование органоидов 34
 - и исследования Сент-Джёрджи 187–190, 193
 - и метаболизм слизиевиков 103
 - и работа клетки 45
 - и работа метаболизма 83, 91, 92
 - и раздражимость 152, 153, 157
 - и синдром белого носа 113
 - и спячка 108
- Мюррей, Джозеф 69, 70
- Н**
- Накагаки, Тошиюки 98, 99
- нанопоровые секвенаторы 252, 270, 271
- наследственность *см. также* гены и генетика 127, 196, 197, 201, 208, 236
- научная революция 142
- Научно-исследовательская лаборатория британских ВМС 203

- Национальные институты
здоровья 192
- Национальный институт стандартов
и технологии 241
- неандертальцы 278
- неврологические заболевания 32
- неврологические определения
живого/жизни 73–75, 77
- Негрес, Присцилла 32, 33
- Нейр-Коллинз, Майкл 76, 77
- нейромедиаторы 27, 90
- нейроны 23–28, 32, 34, 35, 37, 39,
58, 90, 278
- Нельсон, Дэвид 81, 83–85, 92
- Нельсон, Эмбер 83, 85
- нематоды 63, 64
- нервные клетки *см. также*
нейроны 23, 24, 36, 37, 94,
143, 152, 154
- Нидхем, Джон 62, 63
- Нидэм, Джозеф 184, 185
- нуклеиновые кислоты 197, 205,
250, 253
- нуклеотиды 126, 206, 228,
249
- Нэрн, Джеймс 38
- О**
- обезьяны 39, 55–59
- одушевление 40
- оживление 160, 161
- океаническое дно как среда 19,
165–169, 172–174, 176, 256
- Окен, Лоренц 170, 172
- оливин 255
- Опарин, Александр Иванович
230–235, 237
- операционализм 281
- опиум 154–156
- оплодотворение 42, 46, 47, 49, 51,
112, 119, 121, 196
- «Оппортьюнити», марсоход
268
- определения живого/жизни
и астробиология/экзобиология
273
- и Бёрк 13
- и вирусы 219–221
- и лекции Шрёдингера в
Тринити-колледже 200–
202
- и Сент-Дьёрдьи 190–193
- и сложные химические
процессы 230, 231
- и смерть мозга 61, 71, 72
- и споры об абортах 41–46, 50,
51
- позиция Нильса Бора 194, 195
- по NASA 211, 221, 265, 278,
281, 286
- сложность задачи 289, 290
- текущие проблемы 278–280
- философские подходы 280–289
- орангутаны 18, 56, 59
- органическая химия
и астробиологические/
экзобиологические
исследования 274
- и витализм (спор) 163
- и определения живого/жизни
157
- и примитивные формы жизни 9
- и теории происхождения жизни
234, 238, 239, 246, 253

- органониды 27–35, 52, 53, 69
 Осборновские мемориальные
 лаборатории 124
 остеокласты 45
 Ост-Индская компания 54
 Отт, Изабель 125, 129–136
- П**
- палеоантропология 59
 память 98
 паралич 68
 партеногенез 225
 Пастер, Луи 18
 пептиды 293
 Пибоди, Чарльз 42–44
 пивоварение 180–182
 Пий IX, папа римский 42
 пиоцианин 134–136
 Пири, Норман 219, 220
 питон тигровый 90
 питоны 81–84, 86–92, 119, 136,
 290
 пищеварение 88, 89, 91, 92
 поддержание температуры тела
 см. также спячка 110, 111
 полет 107–109, 291
 полиомиелит 68, 218
 полипы 146–148, 151, 153, 157,
 170, 178
 полициклические ароматические
 углеводороды (ПАУ)
 246
 половое размножение 119, 120
 половой паразитизм 226
 половые клетки 120, 196
 Попа, Раду 280
 португальский кораблик,
 сифонофора 168
 почки
 растений 118, 120
 человека и животных 64, 69,
 70, 76, 86, 89, 163
 По, Эдгар Аллан 66
 «Преждевременное погребение»
 (По Э. А.) 66
 приливные силы 273
 приматы 39, 56–60, 126
 Прингл, Джон 155
 принятие решений 96, 97, 102
 прионы 283
 проблема рюкзака 99–101
 «Происхождение видов»
 (Дарвин Ч.) 171, 228
 «Происхождение жизни»
 (Опарин А. И.) 231
 «Происхождение человека»
 (Дарвин Ч.) 56
 протобатибиус 174
 протоцитки 239, 240, 244, 246,
 252–254, 293
 протоплазма
 и дрожжевые клетки 181
 и исследования Сент-Дьёрдьи
 186
 и микроскопия 182
 и океаническое дно 19, 171–176
 и определения живого/жизни
 190
 и первые теории жизни 11, 13
 и полипы 147
 и теории происхождения жизни
 179, 180, 230
 пыльца 120, 121

Р

радиобы 13–17, 179, 204, 219,
234, 276, 299
раздражимость 152–154, 156–
158, 170, 185
размножение
и вирусы 217, 218
и клены 118, 120, 122, 123
и органические молекулы 157,
158
и половые паразиты 226
и приметы живого/жизни 136,
144, 191
раковые заболевания 11, 36, 50,
192, 251, 258, 296
Рассел, Майкл 255–257
Ребок, Филип 178
Реголин, Лючия 38
рентгеновские лучи 10, 197, 200,
204, 205
Реомюр, Рене Антуан 144, 146
Ретта синдром 27, 28
рибозимы 243, 249, 253
рибосомы 207, 223
Рицко, Кэтлин 104–107, 110, 114
РНК
и автокаталитические системы
293
и астробиологические/
экзобиологические
исследования 270, 274
и вирусы 220, 236
и примитивные клетки 238, 239
и работа метаболизма 87, 91
и теории происхождения жизни
228, 248, 249, 252–254

и теория сборки 299
и технологии прочтения ДНК
241
лекарства на основе РНК 257,
258
РНК-жизнь 236, 243, 245
роль в генетике 207
Робб, Альфред Артур 16
Розен, Роберт 290
Романек, Кристофер 265
рост среднемировой температуры
268
«Роу против Уэйда» (судебный
процесс) 43–45
Рубинс, Кэтлин 252
рукокрылые 108, 110, 112–114
рыбы, размножение 224–226
Рэй, Субаш 93, 94, 96–98
С
Саган, Карл 262, 263, 271
Сатурн 269, 270, 272, 274
сверхпроводимость 294, 295
Свит, Уильям 72
северная ночница 106–108, 110–
112, 114, 119
Секор, Стивен 83, 84, 85, 88–92,
136
Сент-Дьёрдьи, Альберт 185–193,
224
сердце, работа 86, 89, 90, 92, 107,
110, 151–154
сероводород 227, 260
сиамские близнецы 150
Сибирь 64, 180
синегнойная палочка 125, 129,
133–135, 222

- сифонофоры *см. также*
 португальский кораблик
 166, 168
- слизевики *см. также* физарум
 95–103, 118–120, 126, 136,
 223, 290
- смерть
 и выкидыши 49, 50
 и танатология приматов 56–58
 и трансплантация органов
 69–71
 и эволюция человека 59, 60
 и *coma dépassé* 69, 70
 клеточная смерть 45
 медицинские определения
 69–78
 отношение к с. в культуре 55
 первые научные исследования
 60, 62–72
 страх преждевременного
 погребения 66, 67
- Смит, Келли 281, 284
- Снетледж, Седрик 31, 32
- сознание 34, 53
- соляная кислота 89, 163
- сома 23, 25
- Спайсер, Рейчел 116–118, 120
- «Спирит», марсоход 268
- споры и спорообразование 95, 96,
 113, 119, 130, 180, 255
- спячка 107, 110–114, 121
- среда обитания *см. также*
 экзопланеты и
 экзобиология 267–269
- СССР, Советский Союз 187, 189,
 190, 198, 230–232
- стволовые клетки 69
- стетоскоп 67
- Стритан, гидротермальное поле
 272
- Стэнли, Оуэн 167, 233, 234, 247,
 296
- Сэнфордский консорциум
 по восстановительной
 медицине 26
- Т**
- табачной мозаики вирус 218–220
- таксол 296
- Твен, Марк 66
- «Творческая эволюция»
 (Бергсон А.) 184
- Тейяр де Шарден, Пьер 204
- Телеграфное плато 169
- теоретическая физика 196, 233
- теория сборки 296, 299
- Тёрнер, Пол 124, 129, 134
- тетрахимена 243
- Технологический институт штата
 Нью-Джерси 93
- тиленхоз 62
- тимин 87, 133, 242
- тихоходки 63–66
- тли 142, 144, 225
- Томас-Кепрта, Кэти 265
- Томсон, Джозеф Джон 10, 16, 57
- Томсон, Чарльз Уайвилл 174–177
- Трамбле, Абраам 141, 142, 144–
 149, 151, 153, 157, 158, 170,
 183, 225
- трансплантация органов 69–71
- транстиретиновая амилоидная
 полинейропатия 258
- трегалоза 65

- Тринити-колледж 10, 200
 три столпа жизни Ксавье Биша
 61, 67–69
 Трифонов, Эдуард 281, 282
 «Труды Лондонского королевского общества» 178
 Труог, Роберт 75
 трупы, использование
 в научных целях 69, 70, 71,
 150, 151
 Трухильо, Клебер 26–29, 31–35
- У**
- углеводороды 232, 246
 Уилсон, Эдмунд 183, 196
 Уинкфилд, Наиля 73, 78
 Уитт, Роберт 154, 156
 уксусная кислота 164
 ультрафиолетовое излучение 233
 Уоддингтон, Конрад 209
 Уокер, Сара 295, 297
 Уотсон, Джеймс 205–207
 Уэстолл, Фрэнсис 280
- Ф**
- «Фабрика капель» (DropFactory) 298
 Фейнман, Ричард 294
 ферментация 180, 182
 ферменты
 и Бёрк 15
 и вирусы 219
 и витализм (спор) 181–184
 и генетические мутации 126
 и дрожжевые клетки 196
 и исследования вулканических
 горячих источников 249
 и клеточный метаболизм 186
 и митохондрии 223
 и моллинезии-амазонки
 (размножение) 226
 и основанные на РНК лекарства
 258
 и открытие ДНК 204
 и работа метаболизма 87, 88,
 96, 102
 и рибозимы 243
 и теоретические модели жизни
 292
 и теории происхождения жизни
 230, 239, 254
 и хищные растения 18
 и эритроциты 223
 физарум *см. также* слизевики
 95–102, 119
 физика 184, 185, 192–196, 198–
 201
 «философские деревья» 272, 274
 философские определения жизни
 см. также богословие и
 религиозные верования
 280–283, 286–289
 Фома Аквинский 40, 41
 Фонд Arch Mission Foundation 65
 Форбс, Джеймс 54–56
 Фортер, Патрик 221
 фотосинтез 86, 191, 222, 223, 232
 «Франкенштейн» (Шелли М.) 161,
 162
 Франклин, Розалинд 205–207
- Х**
- Хаббс, Карл 224, 225
 Хаббс, Лаура 224, 225

- Хайдер, Фриц 276, 277
 Хак, Абид 101–103
 Харгривс, Уилл 238
 Херцог, Карл 104–106, 111,
 113–115
 химеры 48
 хлорофилл 117, 118
 Холдейн, Джон 35, 232, 233, 235–
 237, 242, 243
 «Храм природы» (Дарвин Э.) 159,
 160
 хромосомы 42, 46–49, 119, 126,
 196, 197, 199, 201, 202, 204
- Ц**
- «царская водка» 162, 163, 289
 цитозин 87, 126, 133, 242
- Ч**
- Чакрабартти, Аджой 244
 Чан, Бенджамин 134
 Чан, Шервуд 238
 Чапек, Фридрих 190
 Челленджера Бездна 270
 Чемблисс, Клайд 50, 51
 «черничины» марсианские 268,
 269
 Чех, Томас 243
 Чои, Чарльз 266
 «Что такое жизнь?» (Шрёдингер Э.)
 199, 202, 203, 205
 чувствительность 152, 153, 154,
 156
- Ш**
- Шапино, Бен 44
 Шварц, Шарон 109
 шевеление плода 41, 42
 Шелли, Мэри 160–162
 шимпанзе 39, 56, 57, 59
 Шрёдингер, Эрвин 199–203,
 205–270
 Шриффер, Роберт 294
 Шталь, Георг Эрнст 143, 201
 Штрауб, Бруно 188
 Шьюмон, Алан 75
- Э**
- Эбола вирус 252
 эволюция
 и автокаталитические системы
 293
 и астробиологические/
 экзобиологические
 исследования 265, 267,
 279
 и вирусы 221
 и витализм (спор) 184, 185
 и Гилберт («мир РНК») 243
 и естественный отбор 127–129,
 132–135, 169, 221, 279
 и исследования бактерий рода
Pseudomonas 125, 129, 132–
 134, 136
 и исследования Дарвина 169
 и медицинские исследования
 124, 125
 и одноклеточная жизнь 125
 и океаническое дно 169, 170–
 172
 и определения живого/жизни
 279
 и осознание жизни и смерти
 57, 59

- и пребиотическая химия 235
 и приметы живого 136
 и происхождение человека 56
 и радиобы 179
 и размножение кленов 122
 и распознавание живого 39
 и роль мутаций 127–129, 210, 211
 и теории происхождения жизни 254
 и теория сборки 298
 и Эразм Дарвин 159
 теория и механизмы 125–127
- Эдсолл, Джон 192
 Эйксон, Марк 241
 Эйнарсдоттир, Оулёв 242
 Эйнштейн, Альберт 207, 294
- экзопланеты и экзобиология *см.*
также астробиология 260,
 261, 263, 267, 268, 297
- Экклз, Джон 209
- экстракорпоральное
 оплодотворение 51
- электроны и электричество
 и астробиологические/
 экзобиологические
 исследования 273
- и Бёрк 15
 и исследование мутаций 198
 и исследование органоидов 32,
 33, 35
 и нейроны 24, 26, 27
 и определения живого/жизни
 192, 193
 и полет рукокрылых 108
 и полициклические
 ароматические
 углеводороды (ПАУ) 246
- и сверхпроводимость 294
 и споры о витализме 161, 162
 и теория щелочных источников
 257
 и технология прочтения ДНК
 240, 241
 открытие электрона 10, 57
 электронная микроскопия 218,
 265
- Эллис, Эмори 199
 Эльзассер, Вальтер 208
- эмбриональное развитие 42, 44,
 46–49, 51, 69, 112, 183
- эмерджентные качества 209
- энтропия 201, 202
- Энцелад 269–274
- эозоон («животное зари») 172,
 178
- эритроциты 61, 76, 223, 224,
 283
- зукариоты 126
- эфир 184
- эхолокация 108
- ЭЭГ 33, 71, 72
- Ю**
- Юри, Гарольд 234
- юридически и научно
 обоснованные критерии
 жизни и смерти 44, 70–
 78
- Я**
- яйцеклетка 42, 44–49, 112, 119,
 120, 144, 183, 226
- яйцо 63
- Якоски, Брюс 285, 286

A

- Acta Physiologica* 190
 Alnylam Pharmaceuticals,
 компания 258
Anguina tritici, или пшеничная
 угрица 63
Astrobiology Magazine 221
 Attempt Towards A Natural History
 of the Polype, An (книга
 Г. Бейкера) 147

B

Biochemical Journal 186

C

COVID-19 237

E

- élan vital* см. также витальная
 сила/витализм 184
 Emergence of Life, The (книга
 Дж. Бёрка) 17
 Employment for the Microscope
 (книга Г. Бейкера) 63

F

- FDA (Управление по санитарному
 надзору за качеством
 пищевых продуктов и
 медикаментов США) 257
Fortnightly Review 174

J

*Journal of the American Medical
 Association* 70

L

- “Legal Start of Life, The” (статья
 в *The Washington Post*) 45
 Life Itself (книга Ф. Крика) 210

M

- MinION, секвенатор 251, 252
 “Molecular Vitalism” (статья
 М. Кишнера, Дж. Герхарта
 и Т. Митчисона) 210

N

NASA

- и астробиологические
 исследования 211, 238,
 262–268, 271, 285
 и исследование органоидов 29
 и определения живого/жизни
 211, 221, 265, 278, 281,
 286
 и секвенирование ДНК
 в космосе 251, 252
Nature 14, 177, 206–208, 313, 331

O

- Of Molecules and Men (книга
 Ф. Крика) 209
 “On the Physical Basis of Life”
 (статья Т. Гексли) 174
 Oriental Memoirs (книга
 Дж. Форбса) 54
 Origin of Life Its Physical Basis
 and Definition (книга
 Дж. Бёрка) 15
 Oxford Nanopore Technologies,
 компания 252

P

Philosophical Transactions of the Royal Society 61, 62

Physarum polycephalum см. также
слизевика; физарум 95,
119

Poecilia formosa 225

Pseudogymnoascus destructans 112,
114

Pseudomonas fluorescens 129, 131,
132

Q

Quest for a Universal Theory of Life,
The (книга К. Клиланд) 287

S

SARS-CoV-2 пандемия
см. также COVID-19 216–
218, 220

Science 266

Scientific American 256

SETI (Search for Extraterrestrial
Intelligence), программа
поиска внеземного разума
264, 266, 268

SpaceX 30

Startup Sandbox 251, 257

T

The Monthly Magazine 54

The New Yorker 74

The New York Times 14, 72, 206,
263, 334

The Times 14

The Washington Post 45

The World's Work 15

U

UpRNA, компания 257

Urschleim (первобытная слизь)
170, 172, 175

USA Today 73

Циммер Карл

ЖИВОЕ И НЕЖИВОЕ

В поисках определения жизни

Издатель *П. Подкосов*
Руководитель проекта *И. Серёгина*
Ассистент редакции *М. Короченская*
Корректоры *Е. Воеводина, Е. Сметанникова*
Компьютерная верстка *А. Фоминов*
Дизайн обложки *Ю. Буга*

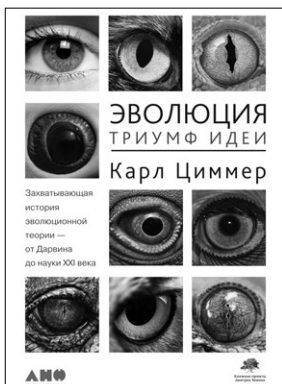
Подписано в печать 15.02.2022. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.
Объем 23,5 печ. л. Тираж 5000 экз. Заказ №

ООО «Альпина нон-фикшн»
123007, г. Москва, ул. 4-я Магистральная, д. 5,
строение 1, офис 13
Тел. +7 (495) 980-5354
www.nonfiction.ru

Отпечатано с готовых файлов заказчика
в АО «Первая Образцовая типография»,
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ».
432980, Россия, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

Знак информационной продукции
(Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.)

12+



Эволюция Триумф идеи

Карл Циммер, пер. с англ., 7-е изд., 2021, 561 с.

О чем книга

Один из лучших научных журналистов нашего времени со свойственными ему основательностью, доходчивостью и неизменным юмором дает полный обзор теории эволюции Чарльза Дарвина в свете современных представлений. Что стояло за идеями великого человека, мучительно прокладывавшего

путь новых знаний в консервативном обществе? Почему по сей день не прекращаются споры о происхождении жизни и человека на Земле? Как биологи-эволюционисты выдвигают и проверяют свои гипотезы и почему категорически не могут согласиться с доводами креационистов? В поисках ответа на эти вопросы читатель делает множество поразительных открытий о жизни животных, птиц и насекомых, заставляющих задуматься о людских нравах и этике, о месте и предназначении человека во Вселенной.

Почему книга достойна прочтения

Эта книга дает понимание не столько основных положений теории Чарльза Дарвина, но рассказывает о новейших исследованиях процессов эволюции. Показывает, как современная наука расширяет и углубляет теоретическое наследие великого ученого. В книге перед нами просто и величественно раскрывается вся история эволюции, процесса, который по-прежнему, как и несколько миллиардов лет назад движет всем окружающим миром.

Кто автор

New York Times Book Review называет Карла Циммера «одним из лучших научных журналистов». Он автор пяти книг, в том числе «Паразит — царь природы. Тайный мир самых опасных существ на Земле», вышедшей в издательстве «Альпина нон-фикшн». Часто пишет о науке в *The New York Times*, а также в *National Geographic*, *Science* и *Discovery*, где он, кроме того, состоит редактором. Лауреат многочисленных премий, в том числе премии за научную журналистику Американской ассоциации содействия развитию науки.



Паразит — царь природы **Тайный мир самых опасных существ на Земле**

Карл Циммер, пер. с англ., 4-е изд., 2020, 362 с.

О чем книга

Люди просто не догадываются о том, как сложен и причудлив мир паразитов — опаснейших созданий природы, живущих за счет других, и насколько велика их роль в нашей жизни. Они питаются плотью и кровью своих жертв, влияют на биологическое и социальное поведение целых видов, на численность популяции и направляют в конечном счете эволюцию флоры и фауны. В мире, где каждый кормит своего паразита, порой даже трудно провести грань между им и его жертвой. Нужно ли уничтожать всех паразитов или они — необходимый элемент экологической системы? Карл Циммер, один из лучших научных журналистов нашего времени, делает доступными самые сложные научные теории и описывает жизнь паразитов, как фантастический роман с непостижимыми, зловещными, а порой вызывающими сопереживание героями.

Почему книга достойна прочтения

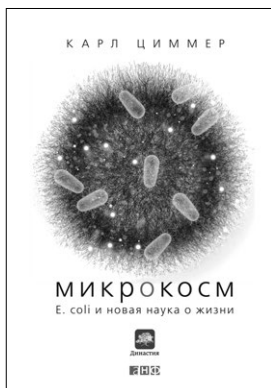
- Это не просто возможность заглянуть в неведомый мир и узнать много нового и неожиданного.
- Циммер обосновывает расширенное понимание паразитизма как явления, затрагивающего все живое на земле, и показывает историю развития биологических видов через призму их взаимодействия с паразитами.
- Оригинальность и провокационность подхода раздвигают границы представлений, вызывая у кого-то изумление или недоверие, у кого-то — желание спорить или соглашаться, — но у всех гарантированный интерес и вовлеченность.

Кто автор

Карл Циммер, один из лучших научных журналистов нашего времени, умеющий сделать доступными самые сложные научные концепции. Он автор бестселлеров и постоянный участник популярных программ и изданий *Discovery*, *National Geographic*, *National History*, *Nature* и *Science*. Лауреат премии Эверетта Кларка в области научной журналистики и премии Американского института биологии.

Покупая бумажные книги на сайте alpina.ru, вы бесплатно получаете их электронные версии. Подробнее на alpina.ru/free.

Больше о книгах АНФ на сайте nonfiction.ru



Микрокосм E. coli и новая наука о жизни

Карл Циммер; пер. с англ., 2-изд., 2016. — 394 с.

О чем книга

E. coli, или кишечная палочка, — микроорганизм, с которым мы сталкиваемся практически ежедневно, но который при этом является одним из важнейших инструментов биологической науки. С ним связаны многие крупнейшие события в истории биологии, от открытия ДНК до новейших достижений генной инженерии. *E. coli* — самое изученное живое существо на Земле. Интересно, что *E. coli* — общественный микроб. Автор проводит удивительные и тревожные параллели между жизнью *E. coli* и нашей собственной.

Почему книга достойна прочтения

В начале XX в. ученые, стремясь познать природу жизни, начали исследовать безвредные штаммы *E. coli*. И кое-кому из них уже в конце первого десятилетия пришлось съездить в Стокгольм за Нобелевскими премиями, присужденными за эти работы. Позже новые поколения ученых пытались разобраться в устройстве *E. coli*. Они тщательно изучили большую часть из четырех с чем-то тысяч генов этого микроорганизма и открыли новые законы жизни. Именно на примере *E. coli* мы начинаем понимать, как гены согласованно работают, поддерживая жизнь, и как жизнь попирает стремление Вселенной к беспорядку и хаосу. *E. coli* — одноклеточный микроорганизм и как таковой имеет на первый взгляд мало общего с представителями высокоорганизованных видов, таких как наш. Но ученые продолжают находить все новые и новые параллели между нами.

Карл Циммер

Кто автор

Карл Циммер — один из лучших научных журналистов, постоянный участник научно-популярных программ, автор нескольких бестселлеров, в том числе переведенных на русский язык: «Паразит — царь природы: Тайный мир самых опасных существ на Земле» и «Эволюция: Триумф идеи». Неизменный интерес публики вызывают его публикации в *New York Times*, *Discover*, *National Geographic*, *Natural History*, *Nature* и *Science*. Лауреат многочисленных премий, в том числе премии за научную журналистику Американской ассоциации содействия развитию науки. Живет в Нью-Йорке.

«АЛЬПИНА НОН-ФИКШН» РЕКОМЕНДУЕТ



Она смеется, как мать Могущество и причуды наследственности

Карл Циммер, пер. с англ., 2020, 596 с.

О чем книга

Эта книга о наследственности и человеческом наследии в самом широком смысле. Речь идет не просто о последовательности нуклеотидов в ядерной ДНК. На то, что родители передают детям, влияет целое множество факторов: и митохондриальная ДНК, и изменяющие активность генов эпигенетические метки, и симбиотические микроорганизмы... И культура, и традиции, география и экономика, технологии и то, в каком состоянии мы оставим планету, наконец. По мере развития науки появляется все больше способов вмешиваться в разные формы наследственности, что открывает потрясающие возможности, но одновременно ставит новые проблемы. Технология CRISPR-Cas9, используемая для редактирования генома, генный драйв и создание яйцеклетки и сперматозоида из клеток кожи — список открытий растет с каждым днем, давая достаточно поводов для оптимизма... или беспокойства. В любом случае прежним мир уже не будет. Карл Циммер знаменит своим умением рассказывать понятно. В этой важнейшей книге, которая основана на самых последних исследованиях и научных прорывах, автор снова доказал свое звание одного из лучших научных журналистов в мире.

Почему книга достойна прочтения

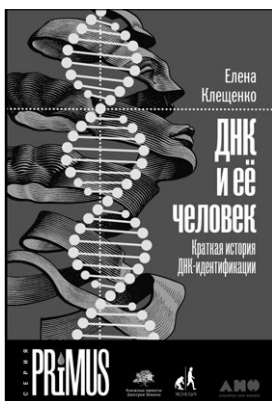
Чтобы лучше понимать, насколько мы похожи и чем отличаемся друг от друга; чтобы аргументированно опровергать глупейшие стереотипы о разных нациях и народностях — а заодно и наших далеких предках неандертальцах и денисовцах; чтобы понимать, какими способами человек может использовать полученные научные знания как для улучшения качества своей собственной жизни, так и окружающей среды.

Кто автор

Карл Циммер — известный популяризатор науки, автор множества книг, преподает научную журналистику в Йельском университете. Ведет колонку в *The New York Times* и публикует свои материалы в *The Atlantic*, *National Geographic*, *Time* и *Scientific American*. Обладатель целого ряда журналистских наград, среди которых премия Стивена Гулда. На русском языке изданы его книги «Паразит — царь природы. Тайный мир самых опасных существ на Земле», «Эволюция. Триумф идеи» и «Микрокосм. *E. coli* и новая наука о жизни».

Покупая бумажные книги на сайте alpina.ru, вы бесплатно получаете их электронные версии. Подробнее на alpina.ru/free.

Больше о книгах АНФ на сайте nonfiction.ru



ДНК и её человек Краткая история ДНК-идентификации

Елена Клещенко, 2020, 320 с.

О чем книга

Книга Елены Клещенко адресована всем, кого интересует практическое применение достижений генетики в таких областях, как криминалистика, генеалогия, история. Автор рассказывает о методах исследования ДНК и о тех, кто стоял у их истоков: сэре Алке Джеффрисе, придумавшем ДНК-дактилоскопию;

эксцентричном Кэри Муллисе, сумевшем размножить до заметных количеств одиночную молекулу ДНК, и других героях «научных детективов». Детективную линию продолжает рассказ о поиске преступников с помощью анализа ДНК — от Джека-потрошителя до современных маньяков и террористов. Не менее увлекательны исторические расследования: кем был Рюрик — славянином или скандинавом, много ли потомков оставил Чингисхан, наконец, почему специалисты уверены в точности идентификации останков Николая II и его семьи и отчего сомневаются неспециалисты. А в заключение читатель узнает, почему нельзя изобрести биологическое оружие против определенной этнической группы, можно ли реконструировать внешность по ДНК и опасно ли выкладывать свой геном в интернет.

Почему книга достойна прочтения

- Автор объясняет, как изучают ДНК человека, как выполняется идентификация личности по генетическим данным, а также в каких случаях ДНК-анализ может быть ошибочным.
- В книге описываются исторические расследования: была ли у президента Джефферсона любовница-рабыня, кто такой Джек-потрошитель и правда ли, что в Лестере найден скелет Ричарда III.
- Проблемы генетической безопасности: опасно ли размещать свой геном в базе данных, и если да, то почему.

Кто автор

Елена Клещенко — научный журналист. После окончания биологического факультета МГУ работала на кафедре молекулярной биологии, а затем в журнале «Химия и жизнь». Сотрудничала с *The New Times*, газетой «Троицкий вариант — Наука», вела колонку о биохимии еды в журнале «Кот Шрёдингера». Заместитель главного редактора портала PCR.news, посвященного молекулярной диагностике и медицине.

Покупая бумажные книги на сайте alpina.ru, вы бесплатно получаете их электронные версии. Подробнее на alpina.ru/free.

Больше о книгах АНФ на сайте nonfiction.ru

«АЛЬПИНА НОН-ФИКШН» РЕКОМЕНДУЕТ



Бликие контакты далеких предков Как эволюционировал наш вид

Санхи Ли, Синьён Юн, пер. с англ., 2022, 294 с.

О чем книга

Предлагаемая читателю книга обращается к широкому кругу проблем биологической антропологии. Среди них: репродуктивная стратегия ископаемых гоминин и приматов в целом, возникновение осознанного отцовства; прямохождение у ископаемых предков; эволюция размеров головного мозга; питание (мясоедение и преодоление лактазной недостаточности у взрослых); увеличение продолжительности человеческой жизни в процессе эволюции; переход от охоты-собираательства к земледелию и его демографические последствия; альтруизм и многое другое. Темы изложены в форме увлекательных популярных историй, которые можно читать в любом порядке, благодаря чему эта работа, основу которой составили лекции и статьи американской исследовательницы Санхи Ли, с успехом может служить первой ступенью знакомства с вопросами биологической антропологии.

Почему книга достойна прочтения

Люди ходят на двух ногах, имеют огромный мозг, лишены шерсти и живут очень долго. Как мы превратились в таких необычных приматов? Санхи Ли дает ответ на этот вопрос. Ее книга, сочетающая научные данные и личные наблюдения, знакомит читателя с широким кругом проблем антропологии.

Кейт Вонг, Scientific American

Санхи Ли лаконично и увлекательно разбирает ключевые вопросы истории нашей эволюции и дает на них порой нетрадиционные ответы.

Nature

Кто авторы

Санхи Ли — профессор антропологии и заместитель декана Колледжа гуманитарных и социальных наук Калифорнийского университета в Риверсайде. Специализируется на вопросах эволюции человека, автор многочисленных научных и публицистических статей.

Синьён Юн — корейская журналистка и писательница, главный редактор одного из самых престижных научных журналов в стране. Удостоена множества наград за свою профессиональную деятельность.

Покупая бумажные книги на сайте alpina.ru, вы бесплатно получаете их электронные версии. Подробнее на alpina.ru/free.

Больше о книгах АНФ на сайте nonfiction.ru