



Джонатан Б. Лосос

УДИВИТЕЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ
В НЕВЕРОЯТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ
И МУТАЦИЯХ ОРГАНИЗМОВ



Вы смогли скачать эту книгу бесплатно на законных основаниях благодаря проекту «[Дигитека](#)». [Дигитека](#) — это цифровая коллекция лучших научно-популярных книг по самым важным темам — о том, как устроены мы сами и окружающий нас мир. Дигитека создается командой научно-просветительской программы «[Всенаука](#)». Чтобы сделать умные книги доступными для всех и при этом достойно вознаградить авторов и издателей, «Всенаука» организовала всенародный сбор средств.

Мы от всего сердца благодарим всех, кто помог освободить лучшие научно-популярные книги из оков рынка! Наша особая благодарность — тем, кто сделал самые значительные пожертвования (имена указаны в порядке поступления вкладов):

Дмитрий Зимин
Зинаида Стаина
Алексей Сейкин
Николай Кочкин
Роман Гольд
Максим Кузьмич
Арсений Лозбень
Михаил Бурцев
Ислам Курсаев
Артем Шевченко
Евгений Шевелев
Александр Анисимов
Андрей Савченко
Олег Загорулько
Роман Мойсеев
Евдоким Шевелев

Мы также от имени всех читателей благодарим за финансовую и организационную помощь:

Российскую государственную библиотеку
Компанию «Яндекс»
Фонд поддержки культурных и образовательных проектов «Русский глобус».

Этот экземпляр книги предназначен только для вашего личного использования. Его распространение, в том числе для извлечения коммерческой выгоды, не допускается.

Тайны жизни животных

Джонатан Лосос

**Удивительная эволюция.
Биологическая история Земли
в невероятных превращениях
и мутациях организмов**

«ЭКСМО»

2017

УДК 575
ББК 28.02

Лосос Д. Б.

Удивительная эволюция. Биологическая история Земли
в невероятных превращениях и мутациях организмов /
Д. Б. Лосос — «Эксмо», 2017 — (Тайны жизни животных)

ISBN 978-5-04-099058-0

Эта книга изменит ваш образ мыслей и представления об эволюции и естественном отборе. Вы удивитесь тому, как знания об эволюционных изменениях могут помочь защитить экосистему, обеспечить наши запасы продовольствия и бороться с вредными вирусами и бактериями. Автор познакомит вас с мировыми исследованиями, которые проливают свет на самые тайные загадки жизни на Земле. Вы узнаете, как эксперименты с гуппи, дрозофилами, бактериями, лисами и полевыми мышами могут показать, насколько быстрой и предсказуемой может быть эволюция. Этот убедительный рассказ предлагает новое понимание нас самих и нашей роли в природе и космосе.

УДК 575
ББК 28.02

ISBN 978-5-04-099058-0

© Лосос Д. Б., 2017
© Эксмо, 2017

Содержание

| | |
|--------------------|-----|
| Предисловие | 6 |
| Вступление | 10 |
| Часть первая | 25 |
| Глава первая | 25 |
| Глава вторая | 43 |
| Глава третья | 57 |
| Часть вторая | 74 |
| Глава четвертая | 74 |
| Глава пятая | 82 |
| Глава шестая | 100 |
| Глава седьмая | 114 |
| Глава восьмая | 123 |
| Часть третья | 136 |
| Глава девятая | 136 |
| Глава десятая | 153 |
| Глава одиннадцатая | 162 |
| Глава двенадцатая | 175 |
| Заключение | 189 |
| Благодарности | 203 |
| Об иллюстраторе | 205 |
| Примечания | 206 |

Джонатан Б. Лосос
Удивительная эволюция: биологическая
история Земли в невероятных
превращениях и мутациях организмов

*Посвящается моей жене, Мелиссе Лосос, и моим родителям,
Джозефу и Кэролин Лосос, за их любовь и поддержку*

Jonathan B. Losos

IMPROBABLE DESTINIES:

FATE, CHANCE, AND THE FUTURE OF EVOLUTION

© 2017 by Jonathan B. Losos. All rights reserved

Предисловие

Как и у многих детей, у меня был период увлечения динозаврами. В детском саду я прославился тем, что каждый день появлялся там с полной корзиной пластиковых ящеров. *Аллозавры, стегозавры, анкилозавры, тираннозавры*. У меня были все из примерно двадцати доступных тогда видов (у нынешних детей их гораздо больше).

В отличие от большинства детей я так и застрял в том периоде. У меня до сих пор есть игрушечные динозавры – теперь их уже намного больше. Я и сейчас помню их названия и даже могу произнести слово «*паразауролоф*» (па-ра-за-у-ро-лоф). Но теперь меня интересуют живые пресмыкающиеся: змеи, черепахи, ящерицы и представители отряда крокодиловых.

В значительной степени это произошло благодаря повторному показу старого телесериала «Предоставьте это Биверу» (*Leave it to Beaver*), в частности, в той серии, где Вэлли и Бив покупают заказанного по почте маленького аллигатора и прячут его в ванной. Нет нужды говорить о том, что когда Минерва, экономка, находит его, то начинается настоящее веселье. Решив, что это отличная идея, и зная, что в зоомагазинах в те дни (начало 1970-х) продавались маленькие кайманчики – центрально-американская и южно-американская версии аллигаторов, – я начал умолять маму купить мне его. Моя мама была из тех женщин, которые не любят говорить «нет», и предложила обратиться за советом к другу нашей семьи, Чарли Хёсслу, заместителю директора зоопарка Сент-Луиса, надеясь, что тот положит конец всей этой бредовой затее.

Каждый день, когда отец возвращался с работы, первым моим вопросом было: «Ты поговорил с мистером Хёсслем?» Будучи по своей природе не особо терпеливым (во всяком случае, не в возрасте десяти лет), я по мере того, как один день сменялся другим, испытывал сначала раздражение, а потом гнев. Я не мог понять, в чем проблема. Мой отец ждал встречи с Хёсслем, вместо того, чтобы просто позвонить ему. А если эта встреча так и не состоится? Я уже стал терять всякую надежду заиметь у себя дома живого крокодилчика, когда однажды вечером отец, вернувшись с работы, сказал, что он поговорил с мистером Хёсслем. «И что он ответил?» – спросил я, испытывая одновременно надежду и тревогу. А потом – восторг: «Хёссл сказал, что это отличная идея, и его интерес к герпетологии¹ начался именно с этого». Мать была в шоке, и вскоре наш подвал был уже забит всеми видами рептилий. Я был на пути к построению своей собственной карьеры в этой области.

Помимо того что я заботился о своих чешуйчатых подопечных, я также запоем читал ежемесячный журнал «Естествознание», выпускаемый американским музеем естествознания в Нью-Йорке. Ярким разделом каждого выпуска журнала была колонка под названием «Жизнь с ее различными проявлениями» блестящего эрудита ученого-палеонтолога из Гарварда Стивена Джей Гулда. Название колонки было взято из заключительной фразы дарвиновского труда «О происхождении видов». В ней автор регулярно анализировал свои нестандартные идеи относительно процесса эволюции, часто подчеркивая ее неясную и непредсказуемую природу. Тексты были написаны элегантно с массой фактов из области истории, архитектуры и бейсбола. В них Гулд рисовал увлекательную картину своего видения мира.

Когда я поступил в Гарвард в 1980 году, то стал искать возможности познакомиться с этим великим человеком поближе, записавшись на непрофильный курс под скромным названием «История земли и жизни», который он вел. При личном общении он меня просто заворожил. Но педагогом, произведшим на меня самое сильное впечатление, был Эрнест Уильямс, преподаватель герпетологии Гарвардского музея сравнительной зоологии (должность, которую я в настоящее время занимаю).

¹ Герпетология – раздел зоологии, изучающий пресмыкающихся и земноводных.

Авторитетный и влиятельный ученый, он, тем не менее, с большой благосклонностью относился к юным дарованиям, которые проявляли интерес к пресмыкающимся. И вскоре я уже изучал определенный вид ящериц, которые составляли основу его главной научной работы.

Маленькие, обычно зеленые или коричневые, с липкими подушечками на пальцах и веерообразной яркой горловой сумкой, анолисы невероятно фотогеничны и забавны в своих проявлениях. Но славу в научных кругах им снискала их эволюционная избыточность. В настоящее время известны четыре сотни видов анолисов, и каждый год ученые открывают новые виды. Таким образом, анолисы являются одним из самых крупных родов позвоночных животных. Столь обширное их разнообразие дополняется местным изобилием – не менее десятка близкородственных видов – в сочетании с эндемизмом (распространенность животных и растительных организмов только в определенной географической местности), когда ареал большинства видов ограничен одним-единственным островом или маленькой частью тропиков материковой территории Америки.

В 1960-е годы студент магистратуры Стэн Рэнд, учившийся у Уильямса, писал, что различные виды анолисов способны сосуществовать, приспосабливаясь к разным частям их естественной среды обитания: кто-то живет высоко на дереве, кто-то – в траве или на ветках. Значительным открытием Уильямса стало понимание того, что один и тот же набор так называемых видов «специалистов» эволюционировал на каждом острове Больших Антильских островов (Куба, Эспаньола, Ямайка и Пуэрто-Рико). А именно, что все группы ящериц развивались независимо друг от друга, но в то же время эволюционировали, равномерно поделив доступные области обитания на всех четырех островах.

Будучи еще студентом, я работал над маленькой частью данного проекта, защищая диплом по теме взаимодействия двух видов ящериц в Доминиканской Республике. Окончив университет, я продолжил работать над защитой докторской диссертации в Калифорнии, поклявшись никогда больше не заниматься этими ящерицами, потому что все значительное было уже открыто Уильямсом и его лабораторией.

Ах, наивность юности. Любой, кто связан с научными исследованиями, знает, что успешные проекты отвечают на один вопрос, но ставят три новых.

Мне понадобилось два года магистратуры и десятков проваленных проектов, чтобы, наконец, осознать, что островные анолисы – это идеальная группа для изучения того, как происходит эволюционное расхождение.

В конечном счете, я провел четыре года, слоняясь по Карибам: лазил по деревьям, ловил ящериц и попивал пина коладу. В итоге с помощью новейших аналитических методов я обнаружил, что Уильямс был абсолютно прав. Анатомически и природно очень похожие виды эволюционировали на разных островах. Более того, изучение мной биомеханики – как ящерицы бегают, прыгают и цепляются за ветки – вскрыло адаптивную основу анатомического варьирования, объяснявшую, почему такие характеристики, как длинные ноги или большие подушечки на пальцах, развились у видов, обитавших в определенных частях ареала.

Не успели еще высохнуть чернила на моей диссертации, когда в книжных магазинах появилась величайшая работа Стивена Джей Гулда «Удивительная жизнь: Сланцы Бёрджес и естествознание». Я жадно проглотил ее и нашел убедительной аргументацию автора. Он утверждал, что путь эволюции извилист и непредсказуем: прокрути пленку жизни повторно, и получишь совершенно иной результат.

Но не торопитесь. Хотя идея Гулда повернуть время вспять и прокрутить повторно эволюционную пленку жизни кажется нереальной (по крайней мере, в природе), но другим способом проверить воспроизводимость эволюции можно будет, повернув время вспять во множестве разных мест. И разве Карибские острова, каждый из которых породил свой исконный вид ящериц-анюлисов, не является, по сути, той самой прокручиваемой пленкой жизни? А если

мы допустим, что на островах более-менее одинаковые природные условия, разве это не станет той самой проверкой на эволюционную воспроизводимость?

Конечно, станет. И вот тогда я оказался перед дилеммой. Гулд убедительно доказывал, что эволюция не может повторять себя, но в то же время мое исследование показывало, что может. Ошибался ли Гулд, или же моя работа была исключением, каким-то образом подтверждавшим правило? Я склонялся к последнему объяснению, принимая точку зрения Гулда, даже несмотря на то, что моя собственная работа являлась контрдоказательством.

На протяжении последней четверти века данная точка зрения подвергалась сомнениям. Появился интеллектуальный противовес гулдовскому акценту на непредсказуемость и невозпроизводимость. Эта альтернативная точка зрения подчеркивает универсальность адаптивной конвергентной эволюции: у видов, обитающих в сходных условиях, развиваются похожие свойства, как результат адаптации к одинаковому природному давлению отбора. И мои анолисы – пример подобной конвергенции. Сторонники данного взгляда утверждают: конвергенция демонстрирует, что эволюция, будучи далеко не извилистой и не определенной, на самом деле довольно предсказуема, так как существует ограниченное количество способов выжить в природе. И естественный отбор подстегивает эволюцию одних и тех же свойств снова и снова.

С тех пор, как вышла книга «Удивительная жизнь» и я получил докторскую степень, эволюционная биология ушла далеко вперед. Появились новые идеи, новые подходы и новые методы сбора информации. Количество ученых, изучающих эволюцию, существенно возросло. Мы разгадали геном, отобразили схему древа жизни, узнали об эволюции микробиома. Потрясающие открытия, сделанные благодаря найденным окаменелостям, прояснили большую часть истории эволюции.

И все эти данные могут многое рассказать о предсказуемости процесса эволюции. Чем больше мы узнаем об истории жизни на этой планете, тем больше видим доказательств того, что конвергенция происходила и что периодически возникали очень похожие результаты. Мои анолисы теперь уже не кажутся исключением из правил, а правило Гулда вызывает сомнения.

Но теперь мы знаем, что существует еще один способ изучать эволюцию, помимо описания того, что происходило на протяжении веков. Мы обнаружили, что можем изучать эволюцию по ходу ее развития, прямо у нас на глазах. А это означает, что мы в действительности *можем* проиграть пленку, задействуя силу экспериментального метода – важнейшую составляющую лабораторного дела – с целью рассмотреть проблему эволюционной предсказуемости.

Эксперименты – это эффективнейший способ изучать эволюцию. К тому же это невероятно увлекательно. Вспомните опыты, которые вы ставили в школе на уроках химии. Смешивать химические реагенты в мензурках и выливать их в пробирки не было особо занимательно – по крайней мере, для меня.

Но когда в качестве ваших пробирок выступают Багамские острова, а в качестве реагентов – ящерицы, то это уже совсем другая история. Конечно, иногда солнце бывает испепеляющим, и нет ничего обиднее, чем не суметь поймать важную для тебя ящерицу из-за того, что ты отвлекся на проплывающего мимо дельфина. Но экспериментальная эволюция находится на передовой эволюционной биологии, что позволяет нам проверять свои идеи в условиях природы в реальном времени. Что может быть более увлекательным? Эволюционные эксперименты проводятся в настоящее время по всему миру – от горных тропических лесов Тринидада до барханов Небраски и прудов Британской Колумбии. И они дают нам возможность напрямую изучать предсказуемость процесса развития.

О, как бы я хотел снова стать студентом-аспирантом. Дивное время для эволюционных биологов, золотой век. Обладая всеми доступными инструментами, от секвенирования генома (общее название методов, позволяющих установить последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК) до проведения экспериментов в реальных условиях, мы сможем ответить на вопросы, терзавшие наше сообщество весь последний век.

Я сел за написание этой книги, посвященной текущей научной работе, чтобы ответить на один из вопросов: насколько предсказуема эволюция? Но пока я писал, понял, что эта книга должна рассказать не только о том, что говорит нам наука, но еще и о многом другом. Научные знания не появляются из ниоткуда: это результат напряженной и кропотливой работы ученых, которые используют всю свою изобретательность и интуицию, чтобы изучить мир природы. А люди, изучающие эволюционную предсказуемость, вообще интересный народ.

В этой связи моя книга будет не только о том, что нам известно о процессе эволюции, но и о том, как нам удалось это узнать. Не только о чисто технических приемах и научных теориях, но и о том, откуда появляются разные идеи: как ученые обдумывают их и проверяют на практике, и какая часть научных открытий – результат случайного наложения разрозненных идей, сведенных вместе путем неожиданных наблюдений.

Более того, кажущиеся, на первый взгляд, сложными научные проблемы, которые они изучают, оказываются в итоге реально значимыми как для понимания нашего собственного места во Вселенной, так и для понимания того, как все живое вокруг справляется с постоянно меняющимся миром. Как результат, в этой книге – история о людях и местах, растениях и животных, масштабных вопросах и насущных проблемах. И начинается она, как и моя любовь к природе, с динозавров.

Вступление

Хороший динозавр

Трейлер к пиксаровскому мультфильму «Хороший динозавр» начинается с того, что к Земле летят огромные булыжники астероидов. Один булыжник выстреливает из кучи других, ударяясь о второй и срикошетив в третий. Он улетает в космос и направляется напрямиком к отдаленному объекту. По мере того, как объект приближается, становится понятно, что это голубая планета с зелеными пятнами и белыми клочками. «Миллионы лет назад астероид шириной шесть миль² уничтожил всех динозавров на Земле», – произносит рассказчик. Мы видим, как астероид входит в атмосферу Земли, становясь оранжевым и шипя.

Вы знаете, что было дальше: падение астероида в Мексиканском заливе, землетрясения по всему земному шару, стихийное возгорание лесов в Северном полушарии, черное от копоти небо на протяжении нескольких месяцев. Динозавры и многие другие живые существа были стерты с лица земли. Действительно, печальный день. Этот пиксаровский продукт, несомненно, мрачнее большинства других их фильмов. Здесь трагедия, закончившаяся гибелью великих рептилий.

Или нет.

«А что если...?» – звучит вопрос в ролике. И мы видим, как астероид прочерчивает небо эпохи мелового периода.

Жующие траву исполины – динозавры-завроподы, паразавролофусы – на мгновение поднимают вверх головы, а потом продолжают набивать свои вместительные животы растительной пищей.

Астероид пролетает мимо – опасное сближение вместо фатального столкновения. И жизнь идет своим чередом. Беззаботные дни динозавров продолжаются.

Я знаю ответ на вопрос «что если?» Шестьдесят шесть миллионов лет назад динозавры были на пике своего господства. Они доминировали в мире на протяжении более сотни миллионов лет. Если бы не астероид, они продолжали бы править миром: тираннозавр реке, трицератопс, велоцираптор, анкилозавр – все они выжили бы. Появились бы новые ящеры, заменив прежних. По планете продолжалось бы шествие постоянно меняющихся динозавров. Скорее всего, динозавры и сегодня разгуливали бы по земле.

А кого бы не было сегодня? Нас, вот кого. Даже несмотря на то, что мы, млекопитающие, появились примерно двести двадцать пять миллионов лет назад, практически в то же самое время, что и динозавры, на протяжении первых сто шестьдесят миллионов лет существования наша численность была невелика. Динозавры следили за этим. Наши лохматые предки были несущественной второсортицей в мировой биосфере, в целом значительно мельче самого маленького динозавра. Они вели ночной образ жизни, чтобы избежать встречи со своими хозяевами-рептилиями, суежась в мелколесье и питаясь теми объедками, которые удавалось найти. Вспомните опоссума, и у вас будет хорошее представление о том, как выглядел и жил наш дальний предок в меловой период. Хотя многие были, вероятно, еще гораздо меньшего размера.

Все обстояло именно так до тех пор, пока астероид не уничтожил динозавров, после чего команда млекопитающих получила свой эволюционный шанс. И мы, конечно же, воспользовались им, быстро размножаясь и заполняя пустую экосферу, трансформируя последние шестьдесят шесть миллионов лет в эпоху млекопитающих. Но всем этим мы обязаны удару астероида.

² 1 миля – 1609 м, или 1,6 км.

Мы все – и ученые, и дилетанты – когда-то считали, что доминирование млекопитающих было неизбежно, и что млекопитающие изначально стоят выше этих зверюг-рептилий благодаря крупному мозгу и способности согреть свое тело за счет внутренних возможностей организма. Прошло какое-то время, и мы, как гласит история, вытеснили динозавров, съев их яйца или каким-то иным способом показав, кто есть кто.

Теперь мы знаем, что это ерунда. У млекопитающих были крошечные роли в разыгрываемой в период мезозойской эры эволюционной пьесе. И динозавры замечательно чувствовали себя в тот прекрасный день, но тем не менее их владычеству бросили вызов те самые презренные, стоящие ниже их животные. Не будь астероида, жизнь продолжила бы свой прежний ход: рептилии плели бы свои козни и интриги, появлялись бы новые виды животных, а другие исчезали, как это было на протяжении миллионов лет. У нас мало оснований полагать, что мы, млекопитающие, вышли бы из тени, став главными игроками в рамках целой экосистемы. Динозавры уже были там, заполнив все экологические ниши и используя ресурсы природы. И только после того, как они исчезли, настала наша очередь в эволюционном процессе.

Не будь астероида и массовой гибели животных, не было бы эволюционного расцвета млекопитающих, не было бы ни тебя, ни меня. И потому меня так увлекли эти первые несколько секунд ролика. Компания «Пиксар» сняла мультфильм, посвященный исключительно динозаврам и тому, насколько иным был бы мир, если бы астероид прошел стороной. Мне было достаточно сорока пяти секунд просмотра фильма, чтобы понять, что его ждет успех.

Ролик продолжился кадрами того, как тираннозавр гонится за стадом травоядных животных, заставляя их в панике спасаться бегством – беспорядочное хаотическое передвижение огромных травоядных, длинношеих бронтозавров^{3[1]} и трехрогих трицератопсов. Типичный день мезозойской эры. Но потом я посмотрел повнимательнее: часть этих зверей больше напоминала волосатых, крупнорогих бизонов, чем рогатых динозавров. А уже в следующей сцене мы видим бронтозавра, прыгающего вокруг с чем-то на голове – человеческий ребенок!

Если астероид прошел близко от Земли, то что тогда там делают млекопитающие? В конце концов, это пиксаровский мульттик, так что здесь возможны некоторые вольности (например, динозавры, говорящие по-английски). Но есть ли какие-то научные факты, подтверждающие возможность совмещения бронтозавра, бизона и ребенка?

Если динозавры не были стерты с лица земли, могли ли тогда млекопитающие начать так многообразно развиваться, что впоследствии появились бизоны и – что важнее – мы? Динозавры на протяжении миллионов лет держали млекопитающих под контролем, выделив им скромное место – крошечный участок где-то в мелколесье. И возможно ли, что каким-то образом после столь долгого времени млекопитающие смогли эволюционировать и процветать, даже несмотря на то, что господство могущественных рептилий продолжалось?

Существует одна подобная вероятность, по крайней мере, по версии британского палеонтолога Саймона Конвея Морриса. Динозавры, будучи пресмыкающимися, предпочитают жаркий климат. Их низкий уровень метаболизма не обеспечивает достаточного количества внутреннего тепла, и они получали его из окружающей среды, согреваясь при необходимости за счет нахождения на солнце. Род динозавров смог просуществовать за счет долгого периода глобального потепления, времени, когда большая часть мира была тропиками – прекрасное время для рептилий.

Но Конвей Моррис отмечает, что климат в конечном итоге начал меняться примерно тридцать четыре миллиона лет назад. В мире стало прохладнее. И, в конце концов, наступило время ледниковых периодов, и на большей части планеты установился холодный климат. Вот

³ Какие-нибудь перфекционисты, увлеченные темой динозавров, могут заметить, что термин «бронтозавр» уже давно не используется. Вместо него по каким-то замысловатым научным причинам применяется термин «апатозавр». Этим брюзжащим всезнайкам я отвечу так: «Ха-ха! Благодаря новым научным открытиям термин «бронтозавр» был восстановлен в 2015 году».

причина, почему вы не найдете сегодня рептилий на крайнем севере и юге – для них там слишком холодно. Конвей Моррис выдвигает предположение, что даже если бы динозавры дожили до наших дней, глобальное похолодание дало бы начало развитию млекопитающих, запустив процесс их эволюционного распространения. Динозаврам пришлось бы отступить к тропическому экватору, освободив высокие и умеренные широты и дав, наконец, млекопитающим их эволюционный шанс.

Давайте согласимся с Конвеем Моррисом и предположим, что его сценарий верен. Млекопитающие начинают размножаться, занимая те экологические ниши, которые ранее принадлежали динозаврам. Они становятся крупнее и многообразнее. Возможно, этот запущенный ледниковым периодом процесс эволюционного многообразия привел бы к эре млекопитающих, не менее роскошной и многоплановой, чем та, которую породил астероид.

Но была бы это та же эра млекопитающих? Появились бы тогда слоны, носороги, тигры и трубказубы?

Или же этот альтернативный мир породил бы совершенно другой набор животных – виды, совсем незнакомые нам, которые поделили бы ресурсы мира и заполнили его экологические ниши, но иным способом, чем делают это сегодня окружающие нас живые существа? Или, если поставить вопрос поконкретнее, эволюционировали бы мы? Смогли бы тогда появиться люди, рожаящие малышей, что сидят верхом на пиксаровских бронтозаврах?

Конвей Моррис отвечает утвердительно «да». Для него и других ученых из его лагеря эволюция обусловлена, предсказуема и следует одним и тем же курсом раз за разом. Причина, по их мнению, в том, что существует очень много способов выжить в этом мире. И для каждой проблемы, возникающей в рамках той или иной окружающей среды, существует единственное оптимальное решение. Это подталкивает процесс естественного отбора к тому, чтобы выдавать одни и те же эволюционные результаты снова и снова.

В качестве доказательства они указывают на конвергентную эволюцию – феномен, когда у определенных видов независимо друг от друга развиваются похожие свойства.

Если есть ограниченное количество возможностей адаптироваться к конкретным условиям обитания, тогда можно ожидать того, что виды, живущие в схожих условиях, разовьют одинаковые адаптационные свойства. И именно это и происходит. Есть объяснение тому, почему дельфины и акулы выглядят так похоже: у них развилась одинаковая форма туловища, чтобы они могли быстро передвигаться в воде в погоне за добычей.

Глаза осьминогов и людей почти неотличимы, потому что у предков и тех и других развились очень похожие органы, чтобы замечать свет и фокусироваться на нем. Список эволюционных конвергенций можно продолжать до бесконечности, как мы увидим вскоре.

Конвей Моррис и его коллеги считают данное явление распространенным и неизбежным, что позволяет нам предсказать, как мог идти процесс эволюции. Конвей Моррис делает вывод, что «появление активных, проворных, живущих на деревьях обезьяноподобных млекопитающих^[2] и, в конечном итоге, представителей семейства гоминидов было отложено, но не отменено... и если бы не упавший в конце мелового периода астероид... появление гоминидов было бы отложено приблизительно на тридцать миллионов лет. Другими словами, компания «Пиксар» имела все основания поместить человеческих детенышей и бронтозавров в один фильм.

Но давайте рассуждать дальше. Даже если млекопитающие всегда оставались в тени, мог ли такой вид, как наш, эволюционировать из другой ветви? Если конвергенция настолько неизбежна, а движение к конкретным решениям неумолимо, тогда нет причины полагать, что появление млекопитающих было необходимой предпосылкой. Обладающие крупным мозгом,

двуногие, высокосоциальные виды с бинокулярным зрением и передними конечностями, способными производить манипуляции с предметами, могли эволюционировать от какого-то другого предка. Но если мы произошли не от млекопитающих, то тогда от кого?

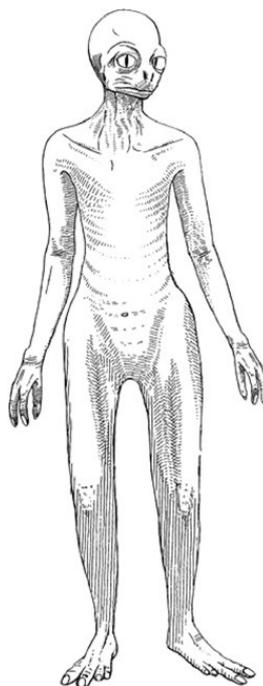
Чтобы ответить на этот вопрос, нужно всего лишь переключиться с «Хорошего динозавра» на плохого. А конкретно на велоцираптора, злодея из фильма «Парк Юрского периода» (и неожиданно вернувшегося спустя двадцать лет героя в фильме «Мир Юрского периода»). Поговорим об умных существах! Эти хитрые рептилии действовали сообща, обманув опытного охотника сафари, и даже сумели открыть двери своими трехпальными лапами. У них было хорошее зрение, и они ходили на двух ногах. Это вам никого не напоминает?

За несколькими исключениями портрет велоцираптора, по версии создателей фильма «Парк Юрского периода», был в целом точен⁴. Мы, конечно, не знаем, насколько умны они были. Но они действительно обладали крупным мозгом. Некоторые палеонтологи высказывали предположение, что эти животные могли быть социальными, живя группами и координируя свою охоту подобно львам или волкам. Если вы ищете отправную точку эволюции животного семейства гоминидов, то велоцираптор в данном случае для этого вполне подойдет.

Именно с этого начал свои исследования канадский палеонтолог Дейл Расселл^[3] в начале 1980-х годов. Он изучал близкого родственника велоцираптора еще одного маленького хищного динозавра по имени троодон, тоже жившего в конце мелового периода.

У троодона был самый крупный мозг относительно веса тела в отличие от всех остальных динозавров – мозг, сравнимый по размеру с мозгом броненосца или цесаркой. Другими словами, эти рептилии не были гениями, но и назвать их глупыми тоже нельзя. Расселл отмечал, что на протяжении нескольких сотен миллионов лет у животных неуклонно и стабильно увеличивался размер мозга. Тот факт, что самый крупный мозг среди динозавров появился у вида, обитавшего в конце периода их владычества, наводит на мысль о том, что динозавры тоже следовали этой эволюционной тенденции с течением времени. А что бы произошло, задается вопросом Расселл, если бы астероид не уничтожил их? Как бы эволюционировали потомки троодонов, если бы в результате естественного отбора у них развился еще более крупный мозг?

⁴ На самом деле прототипом этого существа был близкий родственник динозавра дейноних. Одно главное различие между реальным и придуманным существом заключалось в том, что велоцираптор был, вероятно, высотой менее трех футов. Однако вскоре после выхода фильма «Парк Юрского периода» появились публикации, в которых палеонтологи описывали более крупного двоюродного брата велоцираптора под названием ютараптор, который был примерно одного размера с раптором из фильма.



Динозавроид

Путем выстраивания логической цепочки Расселл пришел к выводу, что современный потомок троодона мог выглядеть следующим образом. Более крупный мозг требует более крупного черепа. Более крупный череп, как правило, ассоциируется с укороченной областью лица. Вес более тяжелой головы легче сбалансировать, если поместить ее сверху туловища. А это, в свою очередь, влечет за собой предпочтительное положение тела при хождении – вертикальное.

А значит, хвост в качестве противовеса уже не нужен, так как передняя половина больше не наклонена вперед. Еще несколько выводов относительно улучшенного строения колена и лодыжки для удобства прямохождения, и, вуаля, перед нами то, что было довольно грубо названо «динозавроидом» – зеленое чешуйчатое существо, жутко похожее на человека от ягодиц до ногтей на пальцах.

Обратите внимание, что Расселл не ставил перед собой цели понять, как динозавр мог эволюционировать в гуманоида.

Скорее его интересовал вопрос о том, какие другие анатомические изменения могли возникнуть в процессе укрупнения мозга. Конечный результат данного проекта привел к возникновению образа существа, поразительно похожего на нас, – рептилии-гуманоида.

Эволюционная проекция Расселла, пусть и опередившая свое развитие, согласуется с идеями Конвея Морриса, что эволюция гоминидов и подобных им существ неизбежна. Причем настолько согласуется, что Конвей Моррис даже появился в документальном фильме Би-би-си^[4], попивающим кофе в кафе рядом с динозавроидом, читающим газету.

Итак, у компании «Пиксар» было два варианта развития сюжета. Если бы астероид и вправду не угодил в Землю, тогда, согласно версии Конвея Морриса и других, люди или существа, похожие на нас, так или иначе все равно бы эволюционировали. Единственный вопрос заключался в том, были бы они волосатые – результат отложенного эволюционного расхождения млекопитающих – или чешуйчатые – итог естественного отбора с целью увеличения размера мозга динозавра.

ЗАБАВНО БЫЛО БЫ ПОРАЗМЫШЛЯТЬ В ПРОТИВОВЕС ИЗВЕСТНЫМ ФАКТАМ: что случилось бы, если бы история пошла иначе. Но вопросы о неизбежности эволюции гуманоидов выходят за пределы нашей темы, затрагивая историю планеты в целом.

Теперь нам известно, что существует множество других планет во Вселенной, на которых могла зародиться жизнь. На этих «обитаемых экзопланетах» не слишком жарко и не слишком холодно, а на поверхности есть вода в жидком виде. В недавнем исследовании указывается, что в одной только галактике Млечный путь могут существовать миллиарды подобных планет. Самая ближайшая к нам может находиться всего в четырех световых годах от нас^[5].

Предположим, жизнь зародилась на одной из таких планет. Как бы она выглядела? И насколько похожи были бы жизненные формы на те, что существуют на Земле? А как насчет наличия мыслящих существ, вроде нас, или даже еще умнее? Насколько сильно они были бы похожи на людей?

Во многом похожи, если верить тому, что мы видим в фильмах. И некоторые прославленные ученые соглашаются с этим.

«Если бы нам удалось пообщаться^[6] с мыслящими существами из космоса», – писал ныне покойный биолог Роберт Вьери, – «то это не были бы сферы, пирамиды, кубы или блины. По всей вероятности, они выглядели бы жутко похожими на нас». Дэвид Гринспун^[7], старейшина в области недавно возникшего междисциплинарного научного направления – астробиологии⁵ рассуждает так: «Когда они [пришельцы] в конечном итоге приземлятся на лужайке у Белого дома, то каким бы способом эти существа ни сошли с трапа – на двух ногах или ползком – их поведение, возможно, покажется нам странно знакомым». Не удивительно, что Конвей Моррис соглашается^[8] с ним, высказывая предположение, что «давление эволюции и повсеместность конвергенции делают вероятность появления существ, похожих на нас, почти неизбежной». Но прежде чем исследовать научную основу предсказаний этих ученых относительно внеземных цивилизаций, давайте вернемся к планете Земля.

* * *

В ЧАСТНОСТИ, на юго-восток Африки. В лесах Замбии темнота наступает быстро. Я герпетолог, изучаю ящериц, так что выслеживать по ночам львов не входило в мои обязанности. Я приехал в Замбию, чтобы немного отдохнуть и восстановиться, прежде чем заняться полевыми работами в Южной Африке. Поразительно, но львы обычно привыкают к присутствию транспортных средств и могут позволить вам следовать за ними по пятам, пока они рыскают в округе. Вот этим мы и занимались.

Справа кто-то шевелится: это приближается какой-то не слишком крупный зверь, не подозревающий о том, что он оказался на пути следования прайда львов. Когда животное подходит, шурша, поближе, становится понятно, что это гребенчатый дикобраз, шестидесятифунтовый грызун, покрытый с головы до хвоста острыми иглами, некоторые из них длиной до полутора футов⁶. Иголочки его, конечно же, для защиты, для ситуаций таких, как эта. Но не всегда они ему помогают. У львов есть для этого своя тактика: подсунуть лапу под дикобраза, чтобы перевернуть его незащищенным животом кверху. Дальше вы легко можете представить его действия.

В сериале «Сейнфелд» есть серия, в которой Джерри смотрит документальный фильм об антилопах. Львы нападают на животных, Джерри орет: «Беги, антилопа, беги! Ты же можешь бежать быстро, спасайся!» А следующим вечером он смотрит другой фильм, на этот раз посвя-

⁵ Да, это реальная научная дисциплина, которая изучает жизнь во Вселенной, а также ее происхождение здесь, на Земле.

⁶ 1 фут – 0,3048 м.

щенный львам. И львы гонятся за антилопой, а он кричит: «Догони антилопу и съешь ее. Укуси ее за голову! Обмани ее, не дай разогнаться!» И хоть этим вечером мы идем за львами, я на стороне дикобраза. Оставьте его в покое и найдите себе жертву своего размера!

Но львы, конечно, не слушают меня. Одна из львиц подходит к дикобразу. Он поворачивается к ней спиной и поднимает иголки. Нечто похожее на то, как у кошек выгибаются спины и шерсть встает дыбом. А потом он начинает трясти иголками на хвосте, которые стучат друг о друга «клэк-клэк».

Поразительно, но это работает. Мгновение спустя львица разворачивается и возвращается к прайду, а дикобраз исчезает в ночи.

В конце вечера я еще раз прокручиваю в голове все события дня, размышляя о своих предыдущих встречах с дикобразом. Помимо Африки и Азии дикобразы также встречаются на большей территории Нового Света. Я лишь однажды видел североамериканского дикобраза в природе, причем на дереве, на высоте тридцати футов, когда поднимался на горную вершину на горнолыжном подъемнике. Но в джунглях Коста-Рики я видел дикобразов с хвостами, приспособленными для зацепления, несколько раз, и опять в основном на деревьях.



Два дикобраза: североамериканский дикобраз (слева) и африканский гребенчатый дикобраз (справа).

Несомненно, существуют различия между отдельными их видами. Самое очевидное это размер животного: гребенчатый дикобраз в два раза крупнее своего североамериканского сородича и в тридцать раз больше миниатюрного ротшильдского дикобраза из Панамы. Иглы, соответственно, варьируются по длине – четырнадцать дюймов у гребенчатого, четыре дюйма у североамериканского и еще короче у ротшильдского⁷. У некоторых видов красные носы, у других – коричневые. У дикобразов с хвостами, приспособленными для цепляния, нет иголок на хвосте.

И все же различий гораздо меньше, чем сходства: и это не только наличие иголок, но также одинаковое приземистое туловище с короткими лапами, маленькие глазки и колючий причесок. Учитывая все эти схожести, я никогда не подвергал сомнению то мое предположение, что дикобразы – это одно счастливое родственное семейство. И все они произошли от одного колючего предка.

⁷ Здесь имеются в виду жесткие прочные иголки, которые наносят наибольший урон противнику. Более тонкие и гибкие иголки зачастую значительно длиннее.

И теперь представьте мое удивление, когда я узнал, что ошибался. Несмотря на одинаковую их колючесть, дикобразы Нового и Старого Света имеют разную эволюционную историю. И своим симпатичным игольчатым видом они обязаны, как ни странно, не одному общему предку. Два рода животных эволюционировали независимо друг от друга и приобрели в ходе этого процесса иголки, хотя их предками были виды грызунов, не имевшие иголок. Они – результат конвергентной эволюции.

И Я НЕ ПЕРВЫЙ ЧЕЛОВЕК В ИСТОРИИ, который был обманут конвергенцией. На самом деле, я оказался в очень авторитетной компании. Сам Чарльз Дарвин был одурачен во время своего знаменитого визита на Галапагосские острова. Там он обнаружил маленьких птичек, названных впоследствии в его честь, – вьюрков Дарвина. Но Дарвин даже не догадывался, что эти виды птиц являются ближайшими родственниками, потомками одного предка-вьюнка, колонизировавшего острова в далеком прошлом.

А ученый считал, что данные виды представляют четыре группы, с которыми он был знаком еще дома: вьюрки, дубоносы, черные дрозды и крапивники.

И лишь когда Дарвин вернулся в Лондон и передал свои образцы прославленному орнитологу Джону Гулду, он и узнал о своей ошибке. Оказалось, что данные виды не были представителями разнородного набора знакомых типов птиц. Фактически они являлись членами одной группы, уникальной для Галапагосских островов. Таким образом, Дарвина ввела в заблуждение конвергентная эволюция. Данное открытие коррелировало с другими находками, сделанными Дарвином во время его путешествия. И все они указывали на одно и то же – трансмутабельность вида. К тому времени, когда он внес правки в свою ставшую бестселлером книгу «Путешествие на «Бигле» 1845 года, история с вьюрком была лишь намеком на то, что произойдет десятилетие спустя. «Наблюдая эту градацию и разнородность строения тела у одной маленькой близкородственной группы птиц, можно только догадываться, что из первоначально малочисленной группы птиц, обитавших на этом архипелаге, один-единственный вид развился в разных направлениях».

Но Дарвин также увидел в этой истории и более широкий смысл: вьюрки смогли эволюционировать на Галапагосских островах, используя все многообразие существующих там сред обитания. И хотя он не ссылаясь на конвергентную эволюцию в своем «Путешествии», Дарвин четко озвучил эту идею четырнадцать лет спустя в работе «О происхождении видов». «Подобно тому, как два человека иногда независимо друг от друга приходят к одному и тому же изобретению, так и естественный отбор... наделил различные существа сходными органами, поскольку это касается их функции, но строение их общего органа необязательно унаследовано от общего предка».

Дарвин был не единственным естествоиспытателем, так обманутым конвергенцией. Когда капитан Кук высадился на берег Ботани-Бей в 1770-м году во время своего первого путешествия по южной части Тихого океана, ученый-естествоиспытатель Джозеф Бэнкс, находившийся в составе экспедиции, выслал образцы и рисунки австралийских птиц в Англию. С этого момента пошел поток отправляемого колонистами и путешественниками на родину материала, продолжавшийся на протяжении полувека, в результате чего было обнаружено существование многих новых видов.

Ключевой фигурой, увидевшей смысл во всем этом изобилии новых видов, был Джон Гулд. Примерно в то же время, когда он консультировал Дарвина по поводу вьюрков, Гулд решил составить полное описание австралийских птиц. Быстро поняв, что для того, чтобы выполнить работу правильно, ему необходимо отправиться в Австралию, он переселился на другой конец света, проведя там три года и в итоге создав грандиозный труд из семи томов с рисунками и описаниями.

Но если в отношении дарвиновских вьюрков Гулд оказался прав, то в случае с эволюционными родственными сходствами австралийской птичьей фауны он все же ошибался. Большинство австралийских птиц очень похоже внешне и поведением на такие европейские виды, как крапивники, пеночки, кустарницы, мухоловки, зарянки, поползни и другие. В результате Гулд причислил недавно открытые виды австралийских птиц к знакомым семействам птиц Северного полушария.

Ошибка Гулда объяснима. На протяжении следующих полутора сотен лет многие очень известные орнитологи совершали ровно ту же ошибку и рассматривали этих птиц как представителей колонии, образовавшейся в результате массового нашествия в Австралию многочисленных видов птиц.

Однако генетические исследования, начавшиеся в 1980-х годах^[9], показали, что фактически возникновение большинства данных видов – это итог крупного процесса эволюционной радиации в Австралии, происходившего на материке. Другими словами, эти австралийские птицы – ближайшие друг другу родственники. И они не являются представителями разнообразных семейств, обитающих в Северном полушарии, но связаны с ними конвергентной

Обнаружение неожиданных случаев конвергентной эволюции продолжается по сей день. Действительно, теперь, когда доступна масса генетических данных по столь многим видам, наше понимание эволюционных связей усиливается значительными темпами, давая нам гораздо более четкое представление об эволюционном древе жизни.

Мы все чаще сталкиваемся со случаями, когда нас вводит в заблуждение анатомическая схожесть вида. Но лишь теперь мы начинаем понимать, что подобное происходит не вследствие того, что определенный вид произошел от одного общего предка, а по причине его независимого развития.

Как можно объяснить эту безудержную конвергентную эволюцию? Существует одно разумное объяснение, предложенное Дарвином. Если виды обитают в схожих условиях и сталкиваются с похожими сложностями в процессе выживания и размножения, тогда естественный отбор приводит к эволюции одинаковых признаков. Так, к примеру, крупные семена – тот пищевой⁸ ресурс птиц, который требует наличия крупных клювов, чтобы раскрыть эти семена. И, следовательно, птицы с крупными клювами будут эволюционировать в тех местах, где есть крупные семена. Подвергающиеся опасности со стороны представителей семейства кошачьих крупные грызуны эволюционируют таким образом, чтобы обрести защиту в виде иголок, эффективную как против львов в Африке, так и против пум в Северной и Южной Америке.

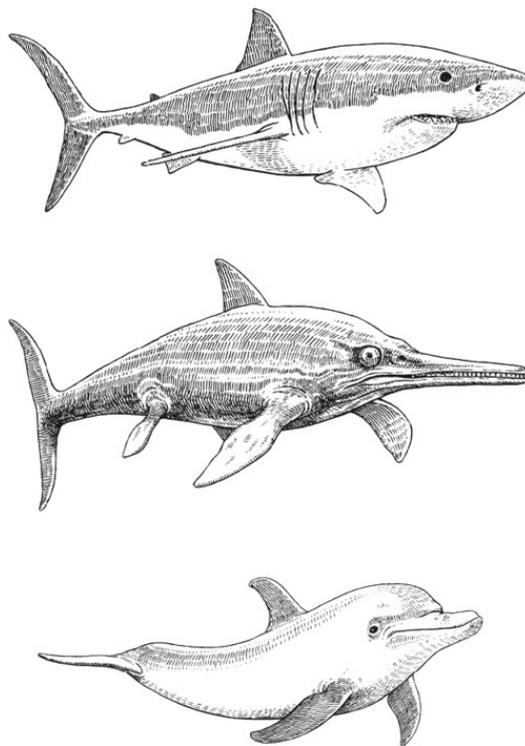
За последние два десятилетия некоторые биологи распространили данную точку зрения и на космос. Здесь на Земле различные виды животных во все времена сталкиваются с одинаковыми проблемами выживания и вырабатывают похожие решения. Эти ученые утверждают, что те же самые проблемы физического характера, которые возникают здесь, стоят и перед живыми существами, обитающими на подобных нашей планетах, и решают они их аналогичным способом. Джордж Макги, палеонтолог из Ратгерского университета, полагает, что существует только один способ создать быстро плавающий водный организм. Вот почему дельфины, акулы, тунцы и ихтиозавры (исчезнувшие морские рептилии эпохи динозавров) выглядят одинаково.

И далее он рассуждает о том^[10], что «если в океанах спутника Юпитера Европы обитают крупные быстро плавающие организмы, перемещающиеся под вечными льдами, то я с уверенностью предсказываю, что у них обтекаемые, веретенообразные тела... такие же, как у белухи, ихтиозавра, меч-рыбы или акулы». Конвей Моррис соглашается^[11] с ним, высказы-

⁸ В Австралии не только не было волны птичьей колонизации материка, все данные указывают на то, что ряд птичьих семейств, в частности, певчих птиц, зародился в Австралии, и оттуда они распространились по всему свету.

вая свою точку зрения: «Конечно, нельзя утверждать, что на каждой подобной Земле планете существует жизнь, не говоря уже о гуманоидах. Но если вы захотите создать сложное растение, то оно будет жутко похоже на цветок. Если вам понадобится летать, то у вас есть всего несколько способов сделать это.

Если вам нужно плавать, как акуле, то у вас есть лишь несколько способов добиться этого. Если вам понадобится изобрести такое свойство, как теплокровность, как у птиц и млекопитающих, в вашем распоряжении ограниченное количество вариантов».



Акула (сверху), ихтиозавр (в центре) и дельфин (снизу).

НЕ КАЖДЫЙ СОГЛАСИТСЯ С ДАННОЙ ТОЧКОЙ ЗРЕНИЯ. Давайте разберемся почему на примере нескольких фильмов.

В кульминационной сцене ставшего классикой фильма «Эта удивительная жизнь» 1946 года Джордж Бейли (его играет Джимми Стюарт) в отчаянии произносит, что его жизнь – полное фиаско, и что лучше бы он не родился. И тогда Клэрэнс Одбоди, его ангел-хранитель, показывает ему, насколько иной была бы жизнь в Бедфорд Фоллс, если бы Джорджа не было: его брат умер, друзья и родные несчастны, лишены дома или сидят в психушке. Корабль с солдатами тонет, а город становится прибежищем беззакония. Все было бы гораздо хуже без него, и Джордж понимает, что его жизнь прошла достойно, и отказывается от мыслей о самоубийстве. В итоге он избавляется от долгов, когда жители города приходят ему на помощь в благодарность за все его добрые дела.

В 2006 году американский институт кино назвал фильм «Эта замечательная жизнь» самым вдохновляющим фильмом всех времен. Стивен Джей Гулд, прославленный палеонтолог и биолог-эволюционист, относится к числу тех, кого вдохновила данная история, правда, совсем иным способом. Для него этот фильм – аллегория эволюционного характера жизни. И даже название для своей книги, вышедшей в 1989 году, – «Удивительная жизнь» – он взял из этого фильма. В книге Гулд отстаивал доминантную важность исторической вероятности, или контингентности, в процессе эволюции. Под контингентностью он подразумевал, что конкретная последовательность событий существенным образом определяет ход истории: А ведет к Б,

Б ведет к В и так далее. Если вы в исторически вероятном мире измените А, то не дойдете до В. Если бы Джордж Бейли не родился, то события в Нью-Бедфорде развивались бы иначе.

Гулд утверждал, что жизнь полна событий, спровоцированных Джорджем Бейли. Какие-то из них значительные, в основном – мелкие, но любое из них могло повести жизнь совсем в другом направлении.

Удары молнии, поваленные деревья, упавшие астероиды и даже случайный выбор того, какой генетический набор передаст мать своей дочери, – любое из этих событий способно внести изменение, которое запустит дальнейшие ответвления, длящиеся на протяжении миллиардов лет. Вторя персонажам фильма «Эта удивительная жизнь», Гулд писал: «Любое проигрывание пленки [истории жизни] с внесенным в самом начале, казалось бы, незначительным штрихом произведет... результат совершенно иного порядка».

Эта точка зрения имеет важные импликации для понимания многообразия окружающей нас жизни. Если эволюция определяется контингентностью, то тогда не может быть ни предсказуемости, ни детерминизма Конвея Морриса. И, следовательно, конечный результат будет подвержен столь сильному влиянию случайных факторов, что никто не сможет предсказать в самом начале то, что произойдет в конце. Начни все сначала, и ты получишь совершенно иной результат. И, переходя к самой животрепещущей теме^[12], Гулд делает вывод: «Проиграй пленку [жизни] миллион раз... и я сомневаюсь, что нечто подобное хомо сапиенсу могло бы появиться снова».

АРГУМЕНТАЦИЯ ГУЛДА, изящно и убедительно представленная, не может не откликнуться в сердцах каждого. Кто из нас не сожалел о том, что «если бы я не сделал это, то не случилось бы то», где «это» может быть чем-то незначительным (неправильно произнесенным именем) или значительным (выпил слишком много), а «то» – событие, которого вы не желали.

И все же какой бы разумной ни была аргументация, где доказательства? Существует только один вариант истории жизни. Как мы проверим повторяемость эволюции? Гулд предлагал провести мысленный эксперимент, который бы ответил на эти вопросы. Прокрутите пленку жизни, говорит он, вернитесь к тем же исходным условиям и посмотрите, последуют ли те же самые результаты. Такой умозрительный эксперимент имеет длинный послужной список в науке и в философии. Его применяли многие, и он оказался наиболее действенным методом.

Конвей Моррис и его коллеги, конечно же, не соглашались с базовой предпосылкой Гулда: изменение некоего предшествующего события не обязательно повлечет за собой существенные изменения всей последующей цепочки событий. Они утверждают, что повсеместность конвергентной эволюции демонстрирует бессилие контингентности и что в большинстве случаев последует примерно одинаковый результат вне зависимости от исторической последовательности событий.

Когда Гулд писал свою книгу «Удивительная жизнь», проблема конвергенции и эволюционного детерминизма еще не была поднята. Однако, полемизируя^[13] с Конвеем Моррисом, опубликовавшим свою книгу девять лет спустя, Гулд высказал очень простую мысль: значимость конвергенции «переоценена», и привел в качестве доказательства номер один Австралию.

Давайте еще раз обратимся к экспедиции капитана Кука в страны противоположных полушарий. Среди первых встреченных ими животных были кенгуру. Сегодня кенгуру – основные потребители растительной пищи в Австралии. Они выполняют похожую функцию, что и олени, бизоны и бесчисленное множество других травоядных, обитающих во всем мире. И все же, как отмечал Гулд (Стивен Джей, а не Джон), кенгуру не приблизились к другим видам травоядных – даже ребенок вам скажет, что кенгуру и олень – это разные животные.

А есть еще коала, этот милый, похожий на медвежонка зверь, что любит обнимать деревья и ведет медлительный образ жизни. Он спит по двадцать часов в сутки, так как в процессе

сна нейтрализуются ядовитые вещества, содержащиеся в эвкалиптовых листьях, которыми они питаются (поэтому их шерсть пахнет ментолом). Никого подобного больше не существует^[14] нигде в мире и, судя по ископаемым находкам, никогда не существовало⁹.

Но когда мы говорим о единичных эволюционных случаях, то здесь есть только один король. Ядовитые шпоры на голених, роскошная шкура, способность чувствовать электрические разряды, исходящие из мышц их жертвы электрорецепторами, расположенными у них на морде. Сильный плоский хвост, перепончатые ноги, откладывает яйца. Клюв, как у утки. Самое крупное в мире животное – утконос, сборная солянка из свойств, позаимствованных у всего животного царства.



Утконос

Животное столь обескураживающее, что когда первые образцы были доставлены в Англию в конце восемнадцатого столетия (их отгрузили из порта Сиднея и перевезли по Индийскому океану), ученые часами искали швы, с помощью которых умелые китайские купцы, вероятно, сшили свою подделку.

Эти примеры взяты из стран Южного полушария, но эволюционные единичные случаи происходят повсюду. Жирафы, слоны, пингвины, хамелеоны – все это виды, адаптировавшиеся исключительно к своим специфическим экологическим нишам без эволюционного копирования сейчас или в прошлом. (Обратите внимание, что эволюционные единичные случаи необязательно относятся к одному единственному виду животных. Так, в настоящее время существует три вида слонов, а еще большее их количество жило в прошлом – такие виды, как мастодонты и мамонты. Однако все виды слонов произошли от одного предка. Вот почему слонов можно считать эволюционно уникальным видом – хоботные животные эволюционировали только один раз).

⁹ Хотя, и это чрезвычайно любопытно, кончики пальцев коал покрыты бороздками и пальцевыми узорами, столь похожими на наши, что специалисты с трудом различают отпечатки пальцев коал и людей.

КОНВЕРГЕНТНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ – это научный феномен, и можно было бы предположить, что к настоящему времени ученые уже смогли определиться в вопросе ее повсеместности. Но проблема в том, что узнать то, что произошло когда-то, не так просто. В школе нас учили, что такое научный метод: как с помощью наблюдений формулируется гипотеза, которая затем проверяется в окончательном эксперименте в лабораторных условиях. Эта формулировка в самом упрощенном виде фиксирует то, как работают науки, изучающие механизмы химической реакции, а именно науки, которые исследуют механизмы работы клетки или атома. Допустим, один конкретный

ген ответственен за возникновение определенного признака. Можно воспользоваться достижениями молекулярной биологии, чтобы заблокировать этот ген, и посмотреть, разовьется ли в этом случае данный признак.

Но эволюционная биология – это историческая наука. Подобно астрономам и геологам мы, эволюционные биологи, пытаемся вычислить, что происходило в прошлом. И нас, так же как историков, сбивает с толку асимметрия направления времени – мы не можем вернуться в прошлое, чтобы увидеть, что происходило. Более того, процесс эволюции, как известно, происходит медленно, что делает невозможным наблюдение за ее ходом.

Стивен Джей Гулд спланировал эксперимент, который мы бы хотели провести: проиграть пленку эволюции снова и снова и увидеть, насколько разным будет результат к экспериментальным пертурбациям. И мы неслучайно называем подобные идеи мысленным экспериментом: в реальном мире их не осуществишь. Или же мы так привыкли думать.

Оказывается, Дарвин и его последователи на протяжении целого столетия ошибались в одном ключевом аспекте: эволюция не всегда ползет со скоростью улитки. Когда естественный отбор силен, что случается, когда условия меняются, эволюция может нестись со скоростью света (в четвертой главе я расскажу вам историю о том, как мы пришли к пониманию того, что эволюция в не меньшей степени напоминает зайца, чем черепаху).

Реальное существование быстрой эволюции позволяет нам выйти за рамки простого наблюдения за тем, как реагируют виды. Дарвин бы сильно удивился, узнав, что сейчас ученые ставят свои собственные эволюционные эксперименты, меняя условия контролируемым и статистически выверенным способом. В точности как биологи в лабораториях, мы можем тестировать эволюционные механизмы, но только в условиях природы, среди реальных популяций. Исследователи помещают мышей светлого и темного цвета в клетки размером в две тысячи квадратных метров в песчаных дюнах Небраски; перемещают гуппи в Тринидаде из проточных водоемов с хищниками в водоемы, где хищников нет; или попеременно меняют среду обитания палочников.

Я сам не раз проводил подобные эксперименты, проверяя гипотезы относительно того, почему у маленьких ящериц на Багамах развились разные по длине ноги. Я знаю, о чем вы подумали, но я и мои коллеги готовы приносить жертвы во имя науки. Довольно непросто торчать на продуваемых ветрами островах, окруженных со всех сторон океаном, но кто-то должен выполнить эту работу, и мы в числе таких добровольцев. Об этом будет более подробно в шестой главе, пока же скажу, что если вы год за годом возвращаетесь на Багамы и измеряете ноги тысячам ящериц переносным рентгеновским аппаратом, вы заметите, что популяции ящериц способны стремительно эволюционировать. Более того, если вы экспериментальным путем измените условия жизни ящериц, заставив их поменять привычки, то популяции на этих островах будут быстро эволюционировать, причем предсказуемым образом.

И хотя эволюционные эксперименты в природе пока еще в стадии развития, ученые в лабораториях осуществляют подобную работу уже на протяжении десятилетий. В этих исследованиях приносятся в жертву реалии природы ради высокой точности лабораторных открытий, обеспечивая полный контроль над условиями, в которых пребывают развивающиеся

популяции. Более того, укороченная жизнь лабораторных организмов, в частности микробов, означает, что эти исследования могут быть продолжительнее и охватывать большее количество поколений, создавая, таким образом, больше возможностей для начала процесса эволюции.

В одном лабораторном эксперименте, длившемся на протяжении более четверти века, прослеживалась эволюция микробов. Его целью было изучить, до какой степени двенадцать популяций микробов способны эволюционировать одинаковым образом.

Я ЧАСТО СРАВНИВАЮ ЭВОЛЮЦИОННУЮ БИОЛОГИЮ с детективным романом или фильмом. Совершено преступление – или, в данном случае, что-то эволюционировало – и мы хотим узнать, как это произошло. Если бы у нас была машина времени, мы бы могли вернуться в прошлое и увидеть все своими глазами. Если бы можно было прокрутить пленку, мы бы просто начали все заново.

Но подобное невозможно (за одним важным исключением, к которому я вернусь в девятой главе). Вместо этого у нас куча зацепок, и мы, как Шерлоки Холмсы, вынуждены докапываться до истины, насколько это возможно. Мы видим модели эволюционной истории; виды, которые появляются сегодня, и окаменелости, хранящие в себе прошлое. И это позволяет нам оценить, насколько часто эволюция выдавала похожие результаты. Мы также способны изучать ход сегодняшнего процесса развития. Проводя эксперименты, мы можем понять, насколько повторяема и предсказуема эволюция: а именно, если начать с той же точки, всегда ли ты получишь тот же самый результат? А если начать с разных точек, но вести отбор похожим способом, придешь ли ты в итоге к тому же результату? Так что, даже не имея возможности прокрутить пленку, мы можем изучать эволюционную модель и процесс. Сложив их вместе, ученые совсем скоро смогут понять эволюционную повторяемость.

В этом смысле данная книга о том, до какой степени жизнь способна повторять себя, создавая в итоге виды, у которых развиваются схожие адаптивные свойства в ответ на схожие условия обитания, действительно ли естественный отбор неизбежно дает те же эволюционные результаты, и влияют ли определенные события на конечный итог.

А еще вы прочтете здесь о том, как ученые изучают данные проблемы, как различные инструменты от определения последовательности ДНК до проведения полевых исследований в отдаленных уголках мира, которые синтезируются с целью понять эволюционный источник той жизни, что окружает нас.

Ну, и о том, как развивается сама наука, как рождаются новые идеи и внедряются исследовательские программы для их тестирования. Я, в частности, подробно остановлюсь на появлении экспериментальных методов, изучающих эволюцию, – подход, который был немислим на протяжении целого столетия после эпохи Дарвина.

В книге будет много рассказов об ученых и их исследованиях как в стерильных условиях лабораторий, так и на лоне природы. Но данная тема выходит за рамки академического интереса. Эволюция сегодня происходит повсеместно, и здесь уже не до скрытой полемики. Самое примечательное во всех этих процессах – непосредственные эволюционные битвы, происходящие между людьми и нашими «сотрапезниками». С одной стороны, природа отвоевывает у нас то, что мы пытаемся контролировать. Мы воспринимаем отдельные виды как вредителей, потому что они имеют дерзость использовать то, что мы приберегаем для себя. Сорняки, заполняющие наши поля, крысы, поедающие наше зерно, насекомые, уничтожающие наш урожай. Мы задействуем целый арсенал химического и уже все больше генетического оружия, чтобы контролировать их, но они быстро учатся обходить наши ловушки.

Население планеты составляет семь с лишним миллиардов человек, Иногда мы сами представляем собой тот ресурс, который можно эксплуатировать. Малярия, ВИЧ, хантавирус, грипп – для микроорганизмов наши тела подобны урожаю, и они эволюционируют, чтобы использовать нас. Мы же, в свою очередь, ведем с ними битву, как с сельскохозяйственными

вредителями, с помощью химических средств, и тогда у них мгновенно вырабатывается сопротивляемость.

Вот где спор между контингентностью и детерминизмом выходит за рамки академичности и касается каждого из нас. Если нам удастся предсказать не только то, когда произойдет стремительная эволюция, но и какую форму она примет, мы сможем вывести общие принципы и, значит, сумеем отреагировать наиболее эффективно. Но если каждый случай быстрой эволюции увязан на специфических обстоятельствах, тогда нам придется начинать каждый раз с самого начала, когда мы будем сталкиваться с новым сорняком, вредителем или болезнью, вычисляя, как адаптируется наш эволюционный враг, и что мы можем с этим сделать.

СПОР О КОНТИНГЕНТНОСТИ и детерминизме влияет на нас и иным, более эфемерным способом. Человек не меньше других видов подвержен конвергентной эволюции. Так, к примеру, наша способность пить молоко во взрослом возрасте уникальна среди животных. Она, конечно же, была невозможна до тех пор, пока мы не приручили крупный рогатый скот в течение последних нескольких тысяч лет. И с тех пор она конвергентно эволюционировала в нескольких сельских сообществах по всему миру. Цвет кожи также результат конвергентной эволюции, как и способность выживать на больших высотах, и многие другие признаки.

Сам человеческий род, конечно же, не конвергентен. Мы одни из тех единственных в своем роде, которые не имеют эволюционного двойника. Можем ли мы благодаря нашему пониманию эволюционного детерминизма сказать что-то о том, как мы менялись и почему? А если бы люди не появились на этой планете, занял бы тогда кто-то другой наше место, и смог бы этот вид развиваться так, как мы, причем настолько похоже, что кто-то – или что-то другое – сейчас писал бы вот эту книгу, пусть даже чешуйчатой трехпалой рукой? А если нет, тогда, может быть, на спутниках Юпитера или на каких-то других планетах?

Но я снова забегаю вперед. Давайте в очередной раз вернемся к нашей планете и посмотрим, насколько распространена конвергентная эволюция на Земле.

Часть первая Природные двойники

Глава первая Эволюционное дежавю

Представьте себе кита, плывущего в океане: обтекаемое туловище, хвостовой плавник, маленький плавник на спине, хвост волнообразно двигается вверх и вниз. Наблюдая за этой безмятежной картиной, кто обвинит древних греков в том, что они считали кита рыбой? Данная точка зрения существовала тысячелетия, пока двести пятьдесят лет назад Карл Линней не выправил ситуацию, признав левиафанов млекопитающими на основании того, что они производят на свет живого детеныша, имеют молочные железы и другие признаки¹⁰. Греки были обмануты конвергентной эволюцией.

Мы прошли долгий путь со времен долинейских ученых. Нам, несомненно, известно гораздо больше об эволюции, чем было известно им. И наше углубленное знание анатомии и взаимосвязей видов помогло определить бесчисленные случаи конвергентной эволюции. Тем не менее наш список далеко не полный. По мере поступления новых данных молекулярной биологии мы снова и снова обнаруживаем, что были введены в заблуждение, так же как и греки, и что виды, которые мы считали похожими из-за принадлежности общему предку, на самом деле выработали схожие признаки независимо друг от друга.

Позвольте привести два недавних примера. По некоторым оценкам, морские змеи относятся к числу смертельно опасных животных. Яд отдельных их видов такой же смертельный, как у любой змеи. К счастью, большинство морских змей редко кусают человека, даже если их взять в руки. Но совсем иная ситуация с носатой энгидриной, которая будет свирепо защищаться: именно она ответственна за девяносто процентов случаев со смертельным исходом во всем мире. Названная так за особый кончик на морде, который выступает над нижней челюстью, она может быть широко распространена географически – от Арабского залива до Шри-Ланки, Юго-Восточной Азии, а также Австралии и Новой Гвинеи. Это один из самых широко распространенных в мире видов змей.

По крайней мере, так считалось. В 2013 году команда шриланкийских^[15], индонезийских и австралийских ученых сообщила, что они провели штатные генетические сравнения среди популяций данного вида и получили неожиданный результат. Даже несмотря на то, что популяции демонстрировали лишь малые анатомические внутривидовые различия, генетически они были максимально различными. В частности австралийские популяции носатой энгидрины были схожи с другим австралийским видом энгидрины, а не с азиатскими популяциями данного вида. Точно так же азиатские популяции носатой энгидрины входили в наиболее тесную связь с другими азиатскими видами. Иными словами, существует не один вид носатой энгидрины, а два. И признаки, которые определяют данный вид, – не только его нос, окрас и общий внешний облик, но и скверный нрав – эволюционировали конвергентно, причем настолько сильно, что его дальние родственники, обитающие на противоположных берегах Индийского океана, считались представителями того же самого вида.

¹⁰ Теперь мы знаем, что не все млекопитающие производят на свет живых детенышей. Утконосы и ехидны, будучи однопроходными млекопитающими, откладывают яйца. Способность вырабатывать молоко и наличие шерсти – два наиболее очевидных признака всех млекопитающих (хотя у некоторых млекопитающих, таких как киты, есть всего несколько усов).

А теперь пример более знакомый для тех, кто никогда не видел морскую змею. Юношей я был чист душой и телом и довольно поздно познал радости алкоголя и распутства.

Однажды я был в гостях у своей подруги. Она предложила мне чай. Я не любил чай, но хотел показаться светским юношей, и согласился. Вскоре я почувствовал себя странно. Мое тело покалывало, руки дрожали, сердце бешено стучало в груди. Я подумал, что у меня случился сердечный приступ. Но потом сделал логичный вывод, что я еще слишком молод, да к тому же инфаркт не мог сопровождаться таким всплеском энергии. Я уже не помню, насколько невозмутимо мне удалось выведать причину моего состояния у хозяйки, но наверняка я сделал вежливое признание, что чувствую себя слегка необычно. И она быстро объяснила, что я выпил особенно бодрящий сорт чая – нечто, сравнимое с теперешним напитком «Ред Булл». Теперь, будучи уже взрослым человеком, я начинаю свое утро с чашечки яванского кофе, но стараюсь не пить его после четырех часов дня. Если я выпью его позже, то не буду спать всю ночь.

Возможно, у вас по-другому, но меня жизнь постоянно заставляет повторять одни и те же ошибки. И точно так же я мучился однажды ночью в бразильском Пантанале, крутясь и ворочаясь в своей постели, не в силах уснуть, несмотря на тяжелый день и обильный ужин. «Почему я не могу уснуть?» – задавался я вопросом, а в голове мельтешили разные мысли. И вдруг прозрение. Тот незнакомый фруктовый прохладительный напиток за ужином. Я хотел пить и выпил две банки. Он был газированным, с легким привкусом яблочного сока. Что за напиток?

Я быстро пробежался по клавиатуре и нашел название шипучки – гуарана антарктика – и ее состав. Гуарана, крупнолистное вьющееся растение из семейства кленовых родом из амазонских джунглей. А теперь угадайте, что содержат семена гуараны. Тот же состав, что и в кофе, чае, пепси, маунтин дью и шоколаде. Пуриновый алкалоид, 1,3,7-триметилпурин-2,6-дион. Молекулярная формула: $C_8H_{10}N_4O_2$.

Кофеин.

Несмотря на мое знакомство со средствами его доставки (пепси, чай, энергетические напитки), я никогда особо не задумывался над тем, откуда берется сам кофеин. Кофе и чай получают из одноименных растений. Кола, по крайней мере, изначально, производили из плода дерева кола; шоколад – из какао; гуарану антарктику – из семян гуараны (кофеина в них в два раза больше, чем в зернах кофе).

Все эти растения вырабатывают кофеин. И не различные его виды, а абсолютно одинаковое вещество. Кофеин – это кофеин, вне зависимости от его источника. Одно вещество – масса источников.

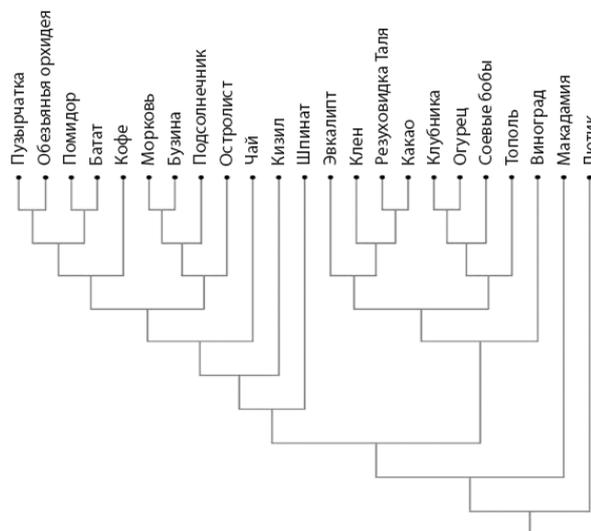
Мое любопытство должно было бы разгореться из-за того большого количества разных растений, которые производят кофеин, наведя меня на мысль о том, являются ли все они близко родственными или же процесс выработки кофеина конвергентно эволюционировал много раз. Но вскоре я уснул, и эта мысль так и не пришла мне.

К счастью, несколько пытливых ботаников решили исследовать данный вопрос. В статье, опубликованной в 2014 году^[16], международная команда ученых использовала генетические данные, работая двумя группами, чтобы продемонстрировать, что процесс производства кофеина в этих растениях эволюционировал независимо. Одна группа сравнила ДНК многих видов растений, чтобы построить эволюционное древо видов, содержащих кофеин. Они сконцентрировались на трех видах – кофе, чае и какао. Такие эволюционные деревья – технический термин «филогенез» – напоминают генеалогические древа. У близкородственных видов можно выявить сходство благодаря поиску недавнего общего предка, точно так же, как братья и сестры выявляют свое родство благодаря родителям. Дальние родственники, такие как четвероюродные братья, появляются на сравнительно далеких ветках филогенеза, и нужно копнуть глубже, изучив эволюцию, чтобы найти их недавнего общего предка.

Филогенез показал, что растения кофе, чай и какао расположены на разных ветках эволюционного древа – они не близкие друг другу родственники. Какао скорее ближе к клену и эвкалипту, чем к чаю или кофе. А кофе происходит от предка, давшего начало картофелю и томатам, а не чаю или какао.

Чай располагается на своей собственной эволюционной ветке, далекой от всех остальных рассматриваемых видов. Иными словами, необходимо погрузиться глубже в процесс филогенеза, вернувшись в прошлое, чтобы найти предка давшего начало чаю, какао и кофе.

Тот факт, что кофеиносодержащие виды, не являются близкими родственниками, указывает на то, что способность вырабатывать кофеин, вероятней всего, эволюционировала независимо в трех типах растений. Но ученые копают глубже, чтобы проверить гипотезу их кофеиновой конвергенции, исследуя, как развивалась способность вырабатывать кофеин. Если виды независимо развили у себя эту способность, тогда фактический биохимический способ, которым они делают это, может не совпадать, и изучение ДНК может вскрыть разные пути, ведущие к одинаковому результату. И наоборот, если виды унаследовали данную способность от одного общего предка, тогда можно предположить, что они вырабатывают кофеин одинаково.



Филогенез, демонстрирующий эволюционные связи выбранных двудольных растений (растения с особым типом пыльцы, составляющие более половины всех видов растений). Виды, имеющие общего предка, более тесно связаны друг с другом, чем виды, произошедшие не от одного предка. Значок с дымящейся чашкой обозначает виды, вырабатывающие кофеин. Так как эти три вида не являются близко родственными, то наиболее вероятное объяснение, что кофеин эволюционировал независимо в каждой из этих групп (либо же выработка кофеина была родовым свойством, которое независимо утрачивалось много-много раз, но этот сценарий требует гораздо больше эволюционных изменений и, таким образом, менее вероятен).

Кофеин синтезируется путем преобразования исходной молекулы, именуемой ксантозин. Этот процесс осуществляют ферменты, именуемые N-метилтрансферазы (НМТ), которые последовательно отрезают части молекулы ксантозина, а потом добавляют новые. Среди растений существует много типов НМТ, которые выполняют самые разнообразные функции. Так что изначально они эволюционировали не с целью выработки кофеина. Скорее способность производить кофеин стала результатом эволюционного изменения в этих ранее существовавших ферментах, когда ксантозин преобразуется в кофеин.

Изучая геном различных видов, ученые выделили ДНК разных НМТ и обнаружили, что те НМТ, которые были преобразованы в кофе, отличались от тех, которые были преобразованы в чай и какао. Таким образом, эволюционные пути к выработке кофеина были различны – конвергенция осуществилась разными дорогами.

ЭВОЛЮЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ отличается от большинства других наук тем, что ее базовые открытия, касающиеся истории жизни, получены не на основе первопричин. Здесь не работают дедуктивные методы. Нельзя просто подойти к доске и вывести формулу для утка-носа. Скорее здесь задействован индуктивный метод, когда общие принципы возникают за счет накопления множества изученных случаев.

Эти исследования позволяют нам отличать то, что происходит регулярно, от того, что случается лишь изредка. Другими словами, эволюция идет самыми разными путями: практически все правдоподобное, что вы можете себе представить, развивалось где-то когда-то у определенных видов. Если подождать, то в конечном итоге произойдет даже самое невероятное. Как сказал математик Ян Малкольм в фильме «Парк Юрского периода»: «Жизнь находит способ». Таким образом, чтобы понять основные модели эволюции жизни, мы задаемся не вопросом «что может случиться?», а «что обычно случается?»

То же самое с эволюционной конвергенцией. Стандартное знание заключается в том, что конвергентная эволюция происходит время от времени, но она необязательно ожидаемое событие. В научных трудах традиционно используются такие слова, как «поразительная», «удивительная» и «неожиданная» для описания ее возникновения. В новостных сюжетах отражаются эти настроения, заставляя нас воспринимать публикацию каждого нового примера, как нечто потрясающее и непредвиденное.

Но все меняется. В последние годы появился ряд ученых, которые разделяют противоположную точку зрения, настаивая на том, что конвергенция и *есть* ожидаемое событие, что она вездесуща и мы не должны удивляться, обнаружив, что множество видов, отдаленно связанных друг с другом, выработали у себя схожее свойство, чтобы адаптироваться к одинаковым природным условиям. И дальше ученые делают более обобщенный вывод: эволюция обусловлена, ее направляет естественный отбор, заставляя снова вырабатывать одни и те же решения проблем, поставленных окружающей средой. Согласно этой точке зрения, непредвиденные случаи в истории играют незначительную роль: их влияние стирается предсказуемым ходом естественного отбора.

НА ПЕРЕДОВОЙ этого научного направления – Саймон Конвей Моррис. Будучи скромным и закрытым человеком, палеонтолог Кембриджского университета не похож на того, кто раскачивает лодку. И все же, несмотря на внешнюю сдержанность, этот обладающий острым умом борец инициировал радикальный пересмотр роли копирования в эволюционном процессе.

То, что Конвей Моррис стал вдруг проповедником конвергентной эволюции и яростным критиком Стивена Джея Гулда, может показаться поначалу удивительным. Будучи ярким студентом в Кембриджском университете, он сделал себе имя докторской диссертацией, посвященной изучению диковинных животных легендарных сланцев Берджес канадской части Скалистых гор. Но это исследование фокусировалось на феномене, который казался антитезой конвергентной эволюции.

Сланцы Берджес сформировались около пятисот одиннадцати миллионов лет назад во время кембрийского периода, когда животный мир, как известно, только зарождался. До этого формы жизни были проще, в основном более-менее плоские. Вопрос о том, как произошел переход от этого чужеродного мира к предкам сегодняшних видов, все еще обсуждается. Но однозначно можно сказать, что все произошло быстро и масштабно, породив кембрийский

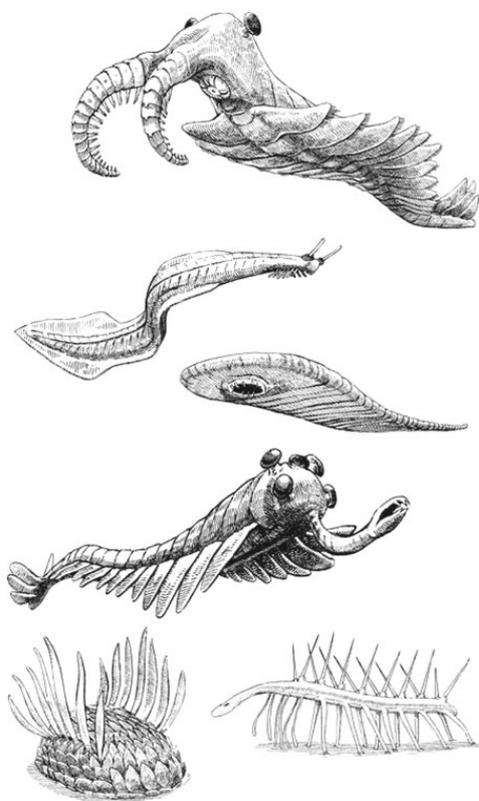
взрыв, когда за короткий геологический период на планете возникло большинство знакомых всем нам видов животных – моллюски, иглокожие, ракообразные, позвоночные.

Но тогда появились не только предки сегодняшней фауны. Когда в начале XX века палеонтолог Чарльз Уолкотт, тогдашний директор Смитсоновского института, впервые обнаружил ископаемых животных в сланцах Берджес, оказалось, что все они принадлежали хорошо известным таксономическим группам – моллюскам, ракообразным, червям и так далее. Но когда полвека спустя Конвей Моррис захотел повторно изучить эти образцы, он обнаружил, что большинство их было палеонтологическими диковинами, не имевшими отношения ни к одному известному таксону. (Таксоны – эволюционные группы, такие как рыбы или моллюски; слово «таксон» может быть применимо к любому эволюционному уровню от вида или рода до царства). Уолкотт, вероятно, отвлекаясь на выполнение своих административных обязанностей или попросту не сумев отличить принадлежность найденных им образцов, отнес большинство ископаемых животных к существующим таксономическим группам, несмотря на их явные странности.

Термин «диковины» не относится к научному, но дает хорошее представление о том, насколько специфичными были эти образцы. Об этом размышлял Конвей Моррис, когда скрупулезно изучал десятки тысяч экземпляров, собранных Уолкоттом и пылившихся в хранилищах Смитсоновского и других музеев. Рассмотрим, для примера, виваксию, которая похожа на лежащую на боку сосновую шишку, покрытую идущими внахлест овальными чешуйками.

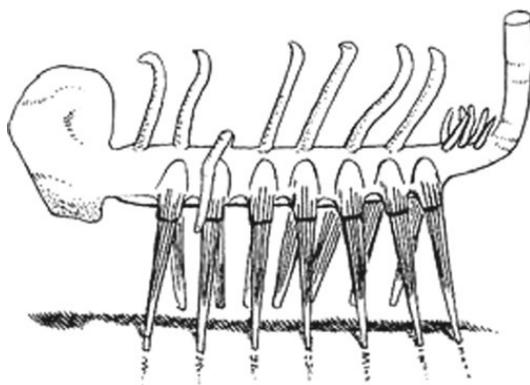
Добавьте сюда плоский, как у улитки, низ, чтобы скользить по морскому дну, и два ряда длинных острых иголок, идущих по спине, – и вы получите животное, похожее на то, что появлялось в одной из серий «Футурамы».

А вот еще животное, которому Конвей Моррис дал имя «галлюцигения» из-за «диковинного и фантастического внешнего вида». «Мультиязычная» – то слово, которое приходит мне на ум.



Подборка образцов обитателей экосистемы сланцев Берджес 511 миллионов лет назад. Сверху вниз: аномалокарис, пикайя, одонтогрифус, опабиния, виваксия (слева) и галлюцигения (справа).

Судя по произведенной Конвеем Моррисом реконструкции, оно представляет собой длинную, похожую на карандаш трубку с едва различимым шариком головы на одном конце и коротким перевернутым, как у шотландского терьера, хвостом на другом. С трубчатого тела свисает семь пар остроконечных несочлененных ног-ходулей, соединенных сверху с семью мягкими изогнутыми трубками, идущими по спине. Сзади туловища расположены два ряда из трех коротких трубок, сидящих близко друг к другу около хвоста (предположительно на хвосте, так как Конвей Моррис признавал возможность того, что он мог перепутать, где голова, а где хвост животного. В его оправдание следует отметить, что ископаемое животное было приплюснуто и не самого лучшего качества)¹¹. В своей работе, посвященной данным видам, Конвей Моррис открыто признает, что галлюцигению «нельзя сравнивать ни с одним из ныне живущих или ископаемых животных».



Реконструкция галлюцигении, проведенная Саймоном Конвеем Моррисом

И это были не единственные диковины – в действительности местность сланцев Берджес была полна целым собранием всего причудливого. Опабиния, чьи пять глаз и длинный патрубок с клешней на передней части головы заставили рассмеяться группу ученых, собравшихся для первой демонстрации этого животного. Аномалокарис, различные части тела которого изначально описывались, как три разных вида, пока ученые не поняли, что все это части одного и того же животного.

Одонтогрифус – длинное, плоское, мягкотелое животное, напоминавшее плавающий пластырь с круглым ротовым отверстием в нижней части переднего конца туловища. И этот список можно продолжать до бесконечности.

Странные находки, обнаруженные в сланцах Берджес, стали широко известны благодаря книге Стивена Джея Гулда «Удивительная жизнь». Книга представляет собой детальное исследование найденных там ископаемых животных и размышление над тем, что они могут нам сказать об эволюции. Виваксия и компания были не единственными, кого прославил Гулд. Главным научным героем книги был не кто иной, как Саймон Конвей Моррис, который проделал гигантскую работу, чтобы зафиксировать, как происходил процесс заселения фауны сланцев Берджес столь многочисленными уникальными формами жизни, так непохожими ни на

¹¹ Благодаря новым, лучше сохранившимся образцам, теперь мы знаем, что Конвей Моррис реконструировал галлюцигению, поместив ее задом наперед и перевернув не по своей вине. На самом деле эти ее «ноги-ходули» были иголками на спине, а семь извивающихся трубок – ногами. Второй ряд из семи ног в изученных им образцах не просматривался. Кроме того, благодаря лучше сохранившимся образцам выяснилось, что хвост был головой, и наоборот.

что ранее известное. (Гулд также отдавал должное научному руководителю Конвея Морриса, Харри Уиттингтону, и его сокурснику, теперь уже профессору Йеля, Дереку Бригтсу).

В книге «Удивительная жизнь» Гулд подробно останавливается на необычной анатомии обитателей сланцев Берджес, утверждая, что кембрийская фауна была самой разнородной в истории нашей планеты. Он указывал на то, что многие анатомические формы, которые появились и впоследствии исчезли, больше никогда не повторялись. Гулд размышлял над тем, почему некоторые из тех древних животных выжили, положив начало сегодняшнему видовому разнообразию, в то время как другие погибли. Превосходили ли их те выжившие животные в каком-то аспекте, обеспечившем им процветание? Или же это просто вопрос удачи? Гулд сделал вывод, вряд ли у выживших было больше индивидуальных особенностей для адаптации. Скорее это случайное совпадение, лотерея, которая помогла одним исчезнуть, а другим продолжить свое существование. Если бы история жизни пошла чуть по-другому, рассуждал он, то пленка бы прокрутилась слегка иначе, и мир, вероятней всего, был бы населен сегодня совсем другими обитателями.

Гулд завершает свою книгу «Удивительная жизнь» подробным описанием одного конкретного ископаемого животного. Пикайя – маленькое существо, напоминавшее зажатого в тисках червя, вертикально плоского и с неразличимой головой.

Столь невзрачное существо было самым ранним известным представителем хордовых, эволюционной группы, включающей позвоночных (а именно, тех, у которых есть позвоночник – таких, как лягушки, акулы, гориллы и мы с вами).

Пикайя во всех отношениях была не главным игроком в сланцах Берджес. Судя по количеству обнаруженных там ископаемых животных, данный вид не был многочисленным, а его размер и форма не особо впечатляли. Среди огромного разнообразия существовавших тогда существ живший в кембрийскую эпоху очевидец вряд ли бы выбрал данный вид в качестве символа грядущих великих перемен. А что если только удача помогла пикайе выжить, в то время как все другие погибли? Прокрути пленку повторно, и, возможно, во второй раз пикайе бы повезло меньше. И если бы род пикайи исчез, то кто бы сегодня правил миром? Не хордовые, потому что нас бы здесь не было^{12[17]}.

Вопрос о контингентности был поднят Гулдом, но его доказательства, даже некоторые самые главные аргументы были позаимствованы ученым из статей Конвея Морриса. Данный факт Гулд признавал^[18], отдавая должное своему коллеге¹³. Гулд даже высказывал мнение, что за свои достижения Конвей Моррис и два его соратника заслуживали Нобелевской премии в области палеонтологии (если бы таковая была).

Но произошло нечто забавное. Конвей Моррис, который так настаивал на уникальности большинства этих ископаемых животных, в итоге увидел мир в совсем ином свете.

Вместо того, чтобы остановиться на эволюционной уникальности такого большого количества фауны, Конвей Моррис завершил свою собственную книгу «Горнило творения», посвященную находкам в сланцах Берджес, которая вышла в 1998 году. В ней он рассуждает о важности и повсеместности эволюционной конвергенции.

Поначалу данное прочтение летописи окаменелостей выглядит нелогичным: как можно перейти от восхваления многообразия самобытных, никогда прежде не встречавшихся анато-

¹² Пусть и обладающий чисто риторическим смыслом, сегодня аргумент Гулда слабеет в силу того, что к настоящему моменту в сланцах Берджеса было найдено несколько других видов хордовых. Следовательно, даже если бы пикайя погибла, то весь род хордовых не исчез бы вместе с ней.

¹³ Так, к примеру, Конвей Моррис писал: «Если бы можно было повернуть время вспять и проиграть повторно процесс расхождения многоклеточных на границе докембрийского и кембрийского периодов, то возможно, появившиеся в результате первоначального эволюционного взрыва формы жизни включали бы виваксидов, а не моллюсков». И «гипотетический очевидец кембрийского периода, несомненно, не имел бы средств предсказать, кого из ранних многоклеточных ждет успешный филогенез, а кому суждено сгинуть».

мических особенностей к нахождению повсюду доказательств эволюционного копирования? Конвей Моррис сам не может с уверенностью ответить на этот вопрос, во всяком случае, так он говорил мне несколько лет назад за ланчем в Сент-Джонс колледже в Кембридже.

«В какой-то степени, – сказал он, – объяснение кроется в новых находках, сделанных за последние почти три десятка лет с момента выхода книги «Удивительная жизнь». И если ранее большая часть образцов, найденных в сланцах Берджес, не ассоциировалась ни с одной известной таксономической группой, то тщательное изучение недавно обнаруженных окаменелостей показало, что многие из них теперь могут быть отнесены к существующим таксонам. Так, к примеру, галлюцигения, как оказалось, родственна современным первичнотрахейным, малоизвестной, преимущественно тропической группе мелких животных – это нечто среднее между многоножкой и гусеницей. Что касается виваксии, то в настоящее время многие ученые считают ее родственной моллюскам.

Так что многие из этих странных находок не так уж сильно отличаются от известных нам таксонов. Более того, благодаря проведенным анализам^[19] ученым удалось сравнить анатомические особенности ископаемых животных с их современными двойниками и сделать вывод – хотя эта точка зрения многими активно не принимается – что фауна сланцев Берджес отличалась не большим разнообразием, чем сегодняшняя.

Данные открытия заставляют переосмыслить феномен сланцев Берджес. Гулд вслед за Конвеем Моррисом и его коллегами рисовал кембрийский период, как время неповторимого анатомического разнообразия, когда можно было встретить громадное количество разнообразнейших типов организмов, большая часть которых вскоре погибла. И с тех самых пор, утверждал Гулд, на планете существует сильно ограниченная линейка анатомического строения – все формы жизни произошли всего от нескольких типов, выживших после кембрийского периода.

Большинство ученых считают, что на данную точку зрения повлияла общая тенденция. Анатомическая несхожесть не была такой уж исключительной в кембрийский период, и большинство существовавших тогда форм представляют собой вовсе не неудавшиеся эволюционные эксперименты, в результате которых сегодня не осталось их потомков. Скорее это ранние родственники сегодняшних выживших групп. В действительности, таков был тезис книги Конвея Морриса, который во многих аспектах являлся точно сформулированным возражением на идеи «Удивительной жизни».

И все же непонятно, почему Конвей Моррис перешел от тщательного изучения кембрийских диких видов до фиксирования случаев конвергенции. Тот факт, что кембрийские образцы обрели свою таксономическую принадлежность, не умаляет их анатомической самобытности. Так, к примеру, даже если галлюцигения состоит в родстве с первичнотрахейными, то анатомически она все равно отличается от всего, что когда-то эволюционировало: прояснение филогенеза, на самом деле, не делает данный случай примером конвергентной эволюции.

Одним возможным объяснением резкой смены курса Конвеем Моррисом является то, что на него повлияла общая тенденция, возникшая внутри данной области науки. В середине 1980-х эволюционные биологи стали все чаще прибегать к «сравнительному методу», разделяя идею о том, что, сравнивая различные таксоны и выискивая повторяющиеся модели, можно найти доказательства действия принципа естественного отбора. И хотя данная работа была далека от области исследований Конвея Морриса, возможно, такой акцент на важности конвергенции повлиял на его мнение (хотя ничего из того, что он писал или говорил, не намекает на такой вариант).

Мы также можем попробовать прибегнуть к психоанализу. Многие исследователи удивляются тому, насколько критично относился Конвей Моррис к Гулду, особенно учитывая, как сильно восхвалял Гулд Конвея Морриса в «Удивительной жизни». Один из его коллег высказал предположение^[20], что взгляды Гулда на случайную природу эволюции противоречили

духовным взглядам Конвея Морриса. Другой же ученый предположил, что Конвей Моррис^[21] был смущен тем, что Гулд публично – в своем бестселлере! – восторгался ранними взглядами Конвея Морриса по поводу таксонов, которые впоследствии оказались ошибочными.

Но какой бы ни была причина его антипатии, Конвей Моррис первым инициировал поиски способов возразить Гулду. В нашей с ним беседе^[22] Конвей Моррис вспоминал, как читал сборник эссе Гулда «Молодец, бронтозавр!» и отметил ряд случаев конвергенции, которые Гулд не смог прокомментировать. Возможно, все это натолкнуло Морриса на мысль о важности конвергентной эволюции.

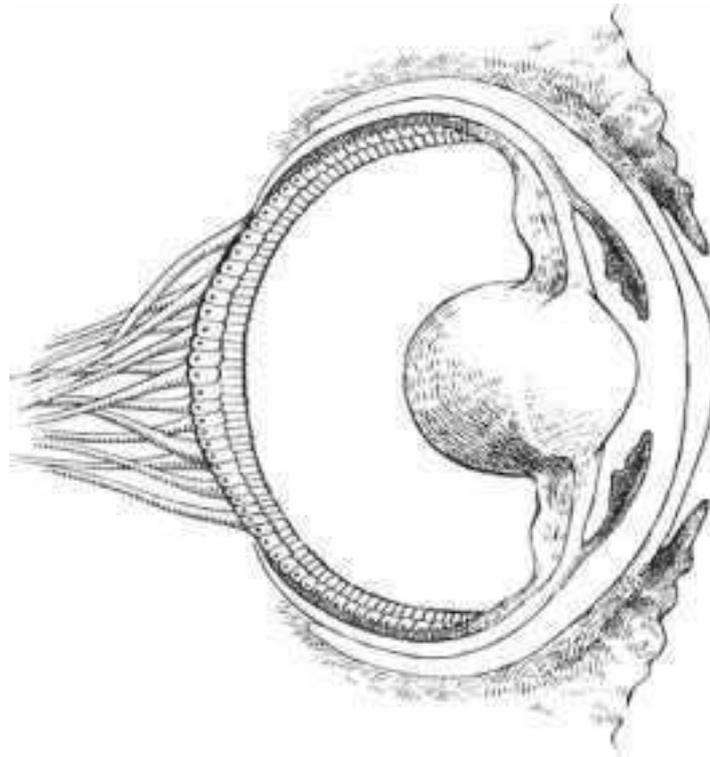
В любом случае, с энергией новообращенного Конвей Моррис стал главным сторонником той точки зрения, что конвергентная эволюция – доминирующий фактор многообразия форм жизни на земле. «Эволюционная конвергенция абсолютно повсеместна^[23], – говорил он. – Ее видно повсюду». В конечном итоге он делает вывод, что «сколько бы раз вы ни прокручивали пленку жизни, конечный результат будет один и тот же».

ПОВСЕМЕСТНОСТЬ ЗАМЕТНА НАБЛЮДАЮЩЕМУ, но вряд ли можно оспорить тот факт, что конвергенция – нераспространенное явление. В отдельных случаях два вида эволюционируют независимо, становясь похожими по какому-то одному признаку – например, по длине хвоста, окрасу ушей, строению почек и даже брачному танцу. В более примечательных случаях виды могут быть конвергентны в различных аспектах своего фенотипа, причем настолько сильно, что этих двоих не отличишь друг от друга: например, два вида носатой энгидрины (термин «фенотип» относится ко всем свойствам организма, от внешней анатомии до физиологии и поведения).

Давайте начнем с изучения нескольких из многочисленных разнообразных типов фенотипических свойств, которые эволюционировали конвергентно. В последние годы ученые определяли конвергенцию почти в любом свойстве, которое только можно представить. Так, к примеру, у многих типов ящериц независимо друг от друга развилась складка кожи под шеей, которую она может быстро выбросить как маячок, чтобы подать сигнал своим родичам или соперникам. Точно так же у многих птиц развились яркие пятна на крыльях или груди, которые заметны во время общения.

Природный мир полон примеров подобного рода: схожие свойства, используемые в одинаковых ситуациях, которые многократно эволюционировали у похожих типов растений и животных.

Особенно впечатляюще выглядят те признаки, которые конвергентны на самом детальном уровне между видами, совсем не близко родственными и находящимися на разных ветвях древа жизни. Вот классический пример: взгляните на глазное яблоко, нарисованное ниже.

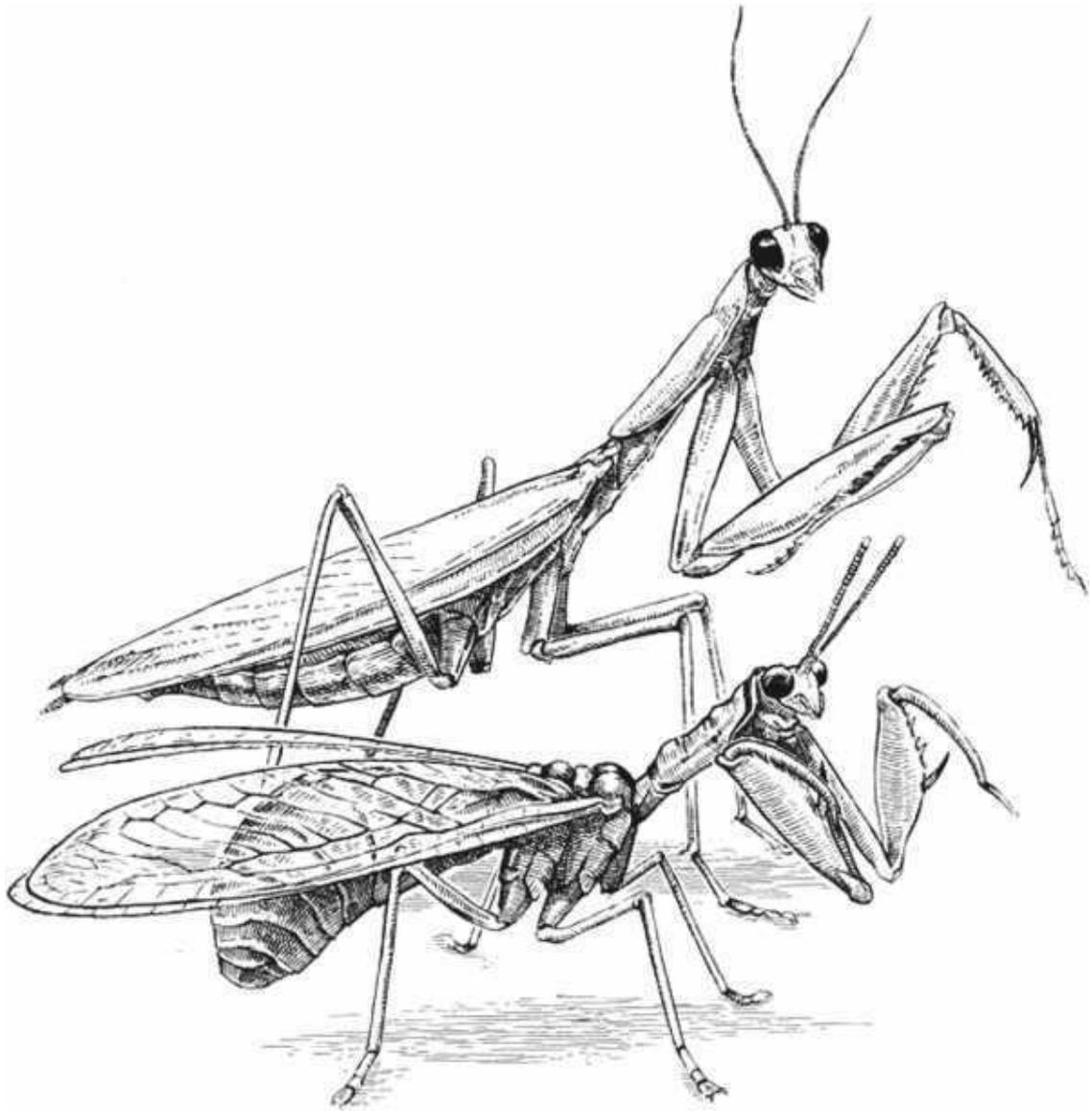


Глазное яблоко осьминога

Если вы помните что-то из анатомии со школьных времен, то это типичный глаз: он может принадлежать корове, человеку, кошке или даже ящерице – глазные яблоки большинства позвоночных очень похожи по своей базовой структуре.

Но этот глаз принадлежит не позвоночному, а осьминогу! Да, именно так – глазные яблоки осьминогов почти неотличимы от наших, даже несмотря на то, что наш самый близкий общий предок, в изобилии населявший землю еще более пятисот пятидесяти миллионов лет назад, вообще не имел глаз¹⁴.

¹⁴ На самом деле в некоторых аспектах глазное яблоко осьминога лучше человеческого. У позвоночных нервные волокна внутри глазного яблока прикрепляются к переднему концу каждого фоторецептора сетчатки глаза. И это означает, что свет не только должен пройти по нервам, чтобы добраться до рецепторов, но и что нервные волокна идут от рецепторов поверх сетчатки, собираются в зрительный нерв, который проходит сквозь сетчатку на другую ее сторону, и потому в этом месте отсутствуют светочувствительные рецепторы, образуя так называемое слепое пятно. А глазное яблоко осьминога устроено так, что оно гораздо более чувствительно, и нервные волокна прикреплены к заднему концу фоторецепторов, там, где они не препятствуют прохождению света и не создают визуальной помехи, когда выходят с задней поверхности глазного яблока. Если предположить, что эволюции не было, и жизнь на земле была создана умным творцом, то этот творец попрактиковался на нас, прежде чем создать улучшенный дизайн глазного яблока осьминога.



Богомол (сверху) и мантиспид (снизу).

А как насчет этого? Всем известен богомол: крупные рыбы глаза, длинная шея, передние конечности, сложенные словно для молитвы. Но эти животные на самом деле не настолько религиозны – в действительности их молящая поза – это ловушка, предназначенная для того, чтобы совершить стремительный и быстрый, как молния, бросок и схватить свою жертву передними ногами, удерживая ее между шипастым бедром и голенью. (Мы бы так же могли схватить свой ланч, быстро развернув руки вниз и зажав его между ладонями и предплечьями... если бы наши ладони были покрыты шипами и составляли половину длины предплечий.)

Но богомолы – не единственные шустряки. Есть еще один вид насекомых – мантиспиды, – у которых практически идентичное строение лап для хватания жертвы, и действуют они столь же стремительно. Схожие черты на этом не заканчиваются – длинная шея мантиспидов и выпуклые глаза так сильно напоминают шею и глаза богомолов, что передняя часть их туловища кажется выполненной под копирку, даже несмотря на то, что этих двух насекомых разделяют сотни миллионов лет эволюции. (А задняя их часть больше напоминает туловище ближайшего их родственника, представителя сетчатокрылых).

Конвергентная эволюция, конечно же, не ограничена одной только анатомией. Виды способны сближаться в любом аспекте своей биологии, от генов до поведения. Существует много подобных примеров, но одни из моих самых любимых – неприметные муравьи и термиты.

Большинство людей считает, что муравьи и термиты должны быть близкими родственниками, потому что они выглядят одинаково, а еще, когда возникают проблемы с теми или другими, вы вызываете специалиста по уничтожению насекомых. Но если вы возьмете лупу и рассмотрите этих насекомых повнимательнее, то обнаружите, что в отличие от традиционных насекомых, у которых можно различить голову, щиток, живот и шесть ног, они выглядят совершенно иначе. И, к тому же, они вообще не являются близкими родственниками. Ближайшая родня муравьев – осы и пчелы, а термиты относятся – как ни странно – к семейству таракановых.

Несмотря на их различный филогенез, социальная организация муравьев и термитов удивительно похожа. Для муравьиных сообществ характерно узконаправленное разделение труда: королева (а иногда королевы), которые откладывают бесчисленное количество яиц; крошечные самцы, чья единственная функция заключается в спаривании с неплодными матками, и разнообразные виды муравьев-рабочих, причем все они самки. А тело каждой самки приспособлено специально для того вида работы, которую она выполняет: заботиться о потомстве, отгонять непрошенных гостей, собирать пищу и прочее.

Социальная структура термитов почти такая же. Термиты тоже живут колониями, исчисляющимися десятками миллионов особей. У них, как и у муравьев, одна или несколько самок откладывают яйца, а разнообразные виды рабочих выполняют основные задачи по обеспечению жизнедеятельности колонии. И муравьи, и термиты используют жидкую пищу, которая передается от одного обитателя колонии другому, чтобы регулировать тот тип рабочего, которым станет подрастающая самка. И те, и другие общаются с помощью химических сигналов, именуемых феромонами. Они оставляют феромоновые дорожки, чтобы показать дорогу к еде муравьям-фуражирам и собрать солдат для битвы.

К одному из самых поразительных случаев конвергенции между муравьями и термитами (а также, в данном случае, жуками) относится строительство ими подземных грибных садов. Эти насекомые изобрели сельское хозяйство еще за десятки миллионов лет до нас! И хотя заметны некоторые отличия в подходах, общая сельскохозяйственная стратегия у всех этих насекомых очень похожа. Под землю под термитным холмиком или муравьиным гнездом насекомые приносят и сажают грибы, которые они выращивают, а затем собирают и съедают. Рабочие муравьи и термиты бережно ухаживают за своим садом, убирая мусор, контролируя вредителей и уничтожая другие виды грибов (они специализируются на определенном виде, считая остальные сорняками). Насекомые используют даже антибиотики, выращенные из бактерий, живущих в особых частях их тел или внутри организма, чтобы защищать грибы от бактерий-вредителей (муравьи используют те же микроорганизмы, которые применяем мы для производства антибиотика стрептомицина).

Как видно по этой небольшой подборке примеров, конвергентные признаки в изобилии представлены в природном мире. Но только в 2003 году Конвей Моррис высказал предположение, что конвергенция – доминирующая модель в биологическом мире. Его фундаментальный труд «Решение жизни: неизбежность появления человека во Вселенной», состоящий из 332 страниц (плюс 115 страниц примечаний), изобилует исключительным разнообразием случаев конвергенции, собранных и изученных им на протяжении всей жизни. Восемь лет спустя Джордж Макги написал похожую книгу «Конвергентная эволюция: лимитированные формы». И хотя она меньше по объему – 277 страниц, – чем книга Конвея Морриса, но в ней приведено еще больше примеров. А когда я писал черновик данной главы в 2015 году, вышла третья книга, второе произведение Конвея Морриса, «Руны эволюции: как зародилось самосознание

Вселенной», где на 303 страницах были представлены в основном новые примеры конвергенции.

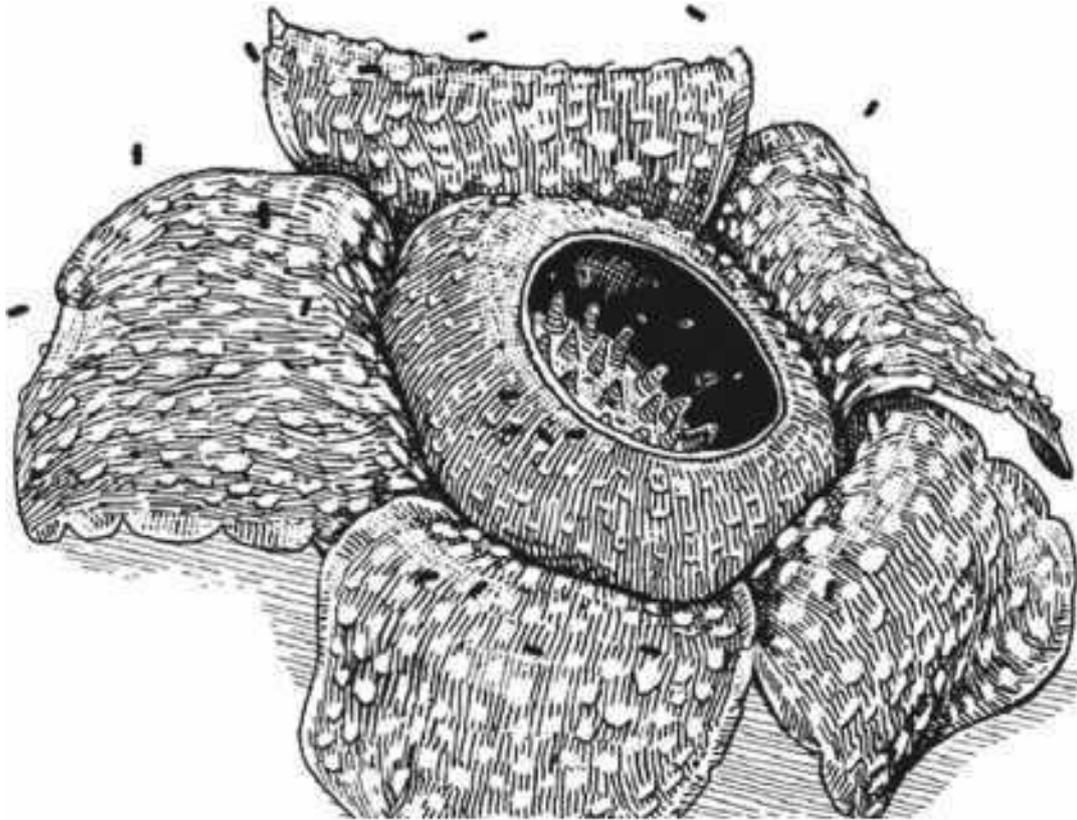
Конечная цель всех этих книг – поразить читателя абсолютной распространенностью конвергентной эволюции. Она повсюду! Просто представьте себе любой признак: он эволюционировал множество раз, иногда даже у неблизкородственных организмов. Конвей Моррис говорил^[24]: «Покажите мне любой признак, эволюционировавший всего один раз, и я... скажу вам: «Я могу привести еще один пример».

Макги, к примеру, отмечает, что у животных развились разнообразные типы брони, чтобы отпугивать хищников. Черепахи носят на себе неприступную крепость, в которую они прячутся в случае опасности физической расправы. Функционально похожие костяные твердые эволюционировали, породив определенный тип динозавра (анкилозавра) и глиптодонт, исчезнувший вид броненосца размером с «фольксваген». Вместо костяной защиты некоторые виды животных прячутся за острыми иголками. Я уже упоминал два независимо эволюционировавших вида дикобраза. Тот же метод используют ехидны (еще один, помимо утконоса, вид млекопитающих, откладывающих яйца, которых иногда называют «шипастыми муравьями»), ежи и ежовые тенреки с Мадагаскара. Последние два так похожи внешне, что Ричард Докинз задавался вопросом, зачем он тратился на отдельные рисунки этих животных для своей книги «Поднимаясь на пик невероятного».

И, наконец, хоть мы и представляем себе броню в качестве главной физической защиты от хищников, но ядовитые токсины, расположенные под кожей, также могут служить этой цели. Подобный род защиты развился у голожаберных моллюсков (тип морских моллюсков, похожих на брюхоногих), у большинства видов жуков, бабочек и других насекомых, у рыбы-собака, лягушек, саламандр, у такого вида птиц, как дроздовая мухоловка, и прочих видов живых существ.

И точно так же мы, млекопитающие, можем гордиться своей способностью производить на свет живых детенышей (за исключением утконоса и ехидны). Но Макги говорит о том, что живорождение эволюционировало более сотни раз у одних только ящериц и змей, не говоря уже о ее систематичности у рыб, земноводных, морских звезд, насекомых и многих других групп. Конвергенция распространяется даже на плаценту^[25] – ту среду, которая передает кислород и питательные вещества от матери эмбриону. Она эволюционировала множество раз у рыб и ящериц. На самом деле, плацента одного вида ящериц поразительно похожа на плаценту некоторых млекопитающих.

Кроме того, конвергенция не ограничивается только царством животных. Приведем один лишь пример из книги Макги: многие растения зависят от животных в процессе переноса их пыльцы от донора к реципиенту (пыльца – растительный эквивалент спермы). Для этого растения должны привлечь своих опылителей. Для колибри, к примеру, ярко-красный цвет является самым соблазнительным. В результате минимум восемнадцать различных видов колибри, опылявших растения, способствовали эволюции ярко-красных цветков.



Трупная лилия с Суматры и Борнео – самый крупный цветок в мире (да, это лепестки!) Он привлекает насекомых; издавая запах, похожий на гниющую плоть.

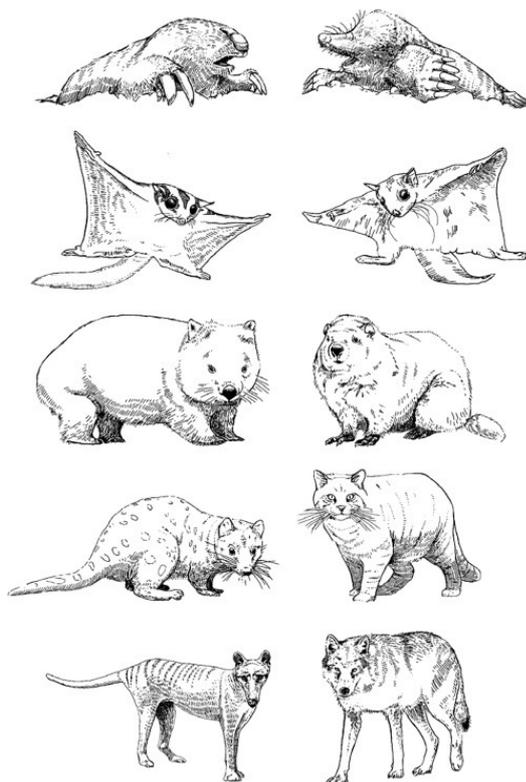
Другие растения – преимущественно Старого света – прибегли к иному методу получения услуг опыления. Некоторые виды мух и жуков откладывают свои яйца в разлагающихся тушах животных. И ряд растений – трупная лилия, стапелия и некоторые другие – издают запах гниющего мяса. Насекомые обмануты: они летят к этим растениям в поисках места для откладывания яиц, параллельно собирая и оставляя пыльцу. У семи различных видов растений развились подобные пахучие методы.

КОНВЕРГЕНЦИЯ КОНКРЕТНЫХ ПРИЗНАКОВ завораживает, но в большинстве учебных пособий примеры конвергентной эволюции представлены в виде демонстрации целых организмов. Традиционный пример сравнения – дельфины, акулы и ихтиозавры. У всех этих морских хищников обтекаемая форма туловища, плавники вместо передних конечностей, спинной плавник, заостренная морда и сильный проталкивающий хвост, способный обеспечить высокую скорость движения в погоне за морской добычей.

Другой распространенный книжный пример взят из страны Южного полушария Австралии, где все выглядит немного по-другому. И в верхней части списка стоят млекопитающие. Я уже говорил о приверженности Австралии к эволюционным единичным случаям – утконос, коала и кенгуру здесь лидеры. Но есть и обратная сторона медали. Большая часть оставшихся австралийских теплокровных схожи с млекопитающими всего остального мира.

Когда динозавры вымерли, им на смену пришли мы. На большей территории планеты именно плацентарные млекопитающие получили шанс достигнуть успеха. Но только не в Австралии. Там эти виды вынашивали своих детенышей в расположенных снаружи тела сумках: сумчатые доминировали. Несмотря на столь разную эволюционную родословную, в результате адаптивной радиации двух видов млекопитающих появилось множество видов, которые заполняют те же экологические ниши тем же самым способом.

В учебниках, как правило, изображают австралийских сумчатых рядом с их плацентарными двойниками из разных концов света. Кроты, летяги, сурки – некоторые из параллелей настолько совпадают, что если бы какой-нибудь вид сумчатых вдруг оказался на заднем дворе североамериканского жителя, он бы даже не обратил на это внимания. Я неравнодушен к крапчатой сумчатой кунице, которая не только выглядит и ведет себя, как кошка, но еще, говорят, и отличный домашний питомец. Но, пожалуй, лучшим примером – и, несомненно, самым выразительным – является тасманийский волк. Хищник, стоявший во главе трофической цепи¹⁵, очень похож на обычного волка. Я легко могу представить, как одного из этих животных берут домой, даже несмотря на его узкую морду и жесткий хвост.



Австралийские сумчатые и их конвергентные плацентарные двойники (сверху вниз): сумчатый крот – крот; сумчатая летяга – белка-летяга; wombat – сурок; крапчатая сумчатая куница – лесная кошка; тасманийский волк – волк.

Убедитесь сами, насколько данный вид похож на собаку: зайдите на ю-тьюб и наберите «тасманийский волк». И вы найдете там целую серию черно-белых видео с этими животными: как они виляют хвостами, грызут кость, прыгают и смотрят на мир глазами домашнего питомца. К сожалению, тасманийский волк – исчезнувший вид, истребленный фермерами-скотоводами Тасмании еще сто лет назад. На пленке восьмидесятилетней давности можно увидеть последних его представителей.

Эволюционные копии встречаются во всем природном мире. Грифы Нового и Старого света одинаково отвратительны в своем хищническом хладнокровии. Австралийская шипохвостая ехидна (черная змея) – представитель семейства аспидов, но внешне и по составу яда она очень похожа на родственный ей вид африканской гадюки. Угреобразные тела стали результатом эволюции не только у многих видов рыб, но также многократно эволюциониро-

¹⁵ Трофическая цепь – цепь питания, взаимоотношения между организмами при переносе энергии пищи от ее источника через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими.

вали у морских земноводных и рептилий. Засушливые территории Африки покрыты растениями с жесткой кожицей, острыми иголками и без листьев, но они относятся к семейству молочайных, а не к кактусам Нового света.

Эта эволюционная имитация встречается во всех царствах биологического мира. Например, ленточные черви относятся к соответствующей таксономической группе плоских червей, которые живут в кишечнике позвоночных, включая, возможно, и нас с вами, и могут вырастать до тридцати футов в длину и даже больше. На переднем конце у них имеются крючки и присоски, которыми они прикрепляются к стенкам кишечника. В области шеи образуются сегменты, содержащие эмбрионы, в которых есть маленькие выступы, вероятно, для всасывания питательных веществ. Новые сегменты образуются ближе к переднему концу этой части тела, так что старые постепенно смещаются назад. В конечном итоге, когда сегмент доходит до конца тела животного, эмбрионы выходят наружу, либо вся часть обрушивается в кишечную полость, и тогда они выйдут вместе с вашим калом. Если ленточному червю повезет, и вы сходите в туалет на улице, то эмбрионы могут найти своего хозяина – травоядное животное: например, жующую траву корову, внутри которой они будут дальше расти и развиваться.

А если эту корову, в свою очередь, съест хищник – такой, как вы, недостаточно хорошо прожарив, тогда у вас появится новый близкий друг, и цикл повторится.

И пусть я вам, возможно, испортил аппетит, но в таком порядке вещей нет ничего из ряда вон выходящего: многие другие внутренние паразиты ведут похожий образ жизни. Что выглядит необычно в данном случае, так это история о динофлагеллятах (или панцирные жгутиконосцы – простейшие организмы, относящиеся к животным, имеют для передвижения в воде жгуты) рода *Planolozoon*. Большинство динофлагеллятов плавают в океане и являются фотосинтезирующими организмами (то есть используют для роста солнечную энергию). Но только не *Planolozoon*. Несмотря на то, что они состоят всего из одной клетки, у этих организмов, паразитирующих на морских червях, есть тело и жизненный цикл, совпадающий с циклом ленточных червей. Для того, чтобы прикрепиться к стенке кишечника, у них имеются крючки и присоска на переднем конце туловища. Для производства потомства они используют сегменты для яиц с маленькими выступами в центре тела. Эти отрезки перемещаются назад по мере того, как развиваются новые, что приводит в результате к откалыванию конца тела, после чего они, как и ленточные черви, выходят наружу и отправляются искать своего нового хозяина. Но примечательным данный случай конвергенции делает^[26] тот факт, что общий предок у динофлагеллятов и ленточных червей жил, вероятно, миллиард лет назад.

СПИСОК ПРИМЕРОВ КОНВЕРГЕНТНОЙ ЭВОЛЮЦИИ длинный и экзотичный и затрагивает все уголки биологического мира. Но нам на самом деле совсем не нужно уходить так далеко, чтобы увидеть доказательства конвергенции – наш собственный вид может предложить массу примеров.

Вид *хomo сапиенс* появился в Африке всего сто миллионов лет назад, но за этот короткий период мы завоевали весь мир, путешествуя и адаптируясь ко всем четырем частям света. И в процессе этого популяции разных регионов мира занимали похожую среду обитания – высоко в горах, далеко на севере, на нескольких континентах, в засушливых пустынях.

Были созданы все условия для конвергенции, и естественный отбор в данном случае не подвел.

Вопрос адаптивной значимости вариативности^[27] цвета кожи среди человеческих популяций обсуждается уже давно, но ученые, похоже, уже приходят к общему мнению, что цвет кожи отражает баланс двух факторов. С одной стороны, темный цвет кожи, обязанный высокому содержанию меланина, защищает от ультрафиолетового излучения, особенно сильного в экваториальных районах. С другой стороны, UV-лучи важны для выработки витамина D. На

высоких широтах, где солнечный свет менее интенсивный, благодаря светлой коже усиливается проникновение UV-лучей.

Наш вид родом из Африки, которая расположена на экваторе. В результате первые люди, вероятней всего, были темнокожими. Данный вывод подтверждает филогенез: на нижних ветвях эволюционного древа темнокожие жители Африки. А выше идут порожденные африканскими популяциями светлокожие популяции из Европы и Азии. Эти филогенетические связи почти не оставляют сомнений в том, что темная кожа – наследственное условие появления более светлого цвета кожи.

Генетики обнаружили изменения, ответственные за тот или иной цвет кожи, и оказалось, что цвет кожи азиатов стал результатом иных мутаций, чем те, что привели к появлению более светлого оттенка у европейцев. Эти генетические различия убедительно говорят о том, что светлый оттенок кожи эволюционировал независимо – конвергентно – в разных популяциях по мере того, как они колонизировали северные регионы планеты¹⁶. В свою очередь, предки аборигенов Австралии, прибывшие туда примерно пятьдесят тысяч лет назад, произошли предположительно от светлокожих азиатов.

Таким образом, темный оттенок их кожи конвергентен похожему оттенку кожи африканских популяций.

Еще один случай конвергенции среди человеческих популяций это способность взрослых пить молоко. Одним из определяющих свойств млекопитающих является производство организмом материнского молока для выкармливания своего потомства. Для его переваривания у малышей млекопитающих вырабатывается специальный фермент, лактаза, расщепляющая лактозу – сахарид, являющийся важнейшей составляющей молока. Но когда подросткового малыша млекопитающего отлучают от матери, ген, который производит лактазу, прекращает свою работу, потому что данный фермент больше не нужен. Это происходит среди большинства человеческих популяций, а также у всех других видов млекопитающих. Кошки, к примеру, не приспособлены к тому, чтобы пить молоко, в противоположность распространенному мнению. Накормите взрослую кошку молоком, и у нее случится расстройство пищеварения, обычно заканчивающееся диареей. То же самое относится к взрослым в большинстве человеческих популяций: шестьдесят пять процентов взрослых не переносят лактозу, и им пить молоко небезопасно.

Другой трети человеческой популяции повезло больше. Как же так случилось, что эти индивидуумы, уникальные в мире млекопитающих, способны продолжать пить молоко, став взрослыми? Ответ дают коровы.

За последние несколько тысяч лет человеческие популяции в разрозненных частях мира – Восточная Африка, Ближний Восток, северная Европа – начали пасти скот. Почему скотоводство возникло в этих регионах, а не в других, является предметом спора среди антропологов. Но совершенно ясно, что эти люди занялись выпасом коров независимо друг от друга.

Вместе с коровами^[28] появился постоянный источник молока. Чтобы воспользоваться этим подарком, естественный отбор предложил решение, поощряя те генетические изменения, которые поддерживали выработку лактазы на протяжении всей жизни. Те из вас, кто испытывает наслаждение от стакана холодного молока, а также от молочных коктейлей, мороженого и творога, могут благодарить наших предков-скотоводов, наделивших вас особым генетическим аппаратом.

И хотя несколько человеческих популяций в результате конвергентной эволюции выработали одинаковое адаптивное решение, генетический анализ показывает, что они сделали это

¹⁶ Конвергентная модель распространяется и на наших ближайших родственников – неандертальцев, которые тоже жили на севере, и светлый цвет их кожи стал результатом мутации, не обнаруженной ни у одной популяции хомо сапиенс.

не одинаковым способом. Скорее различные мутации – каждая с одинаковым эффектом удерживания лактазного гена во включенном состоянии – эволюционировали в разных популяциях.

Мы, люди, не единственный вид, многочисленные популяции которого адаптируются похожим способом. На самом деле подобная внутривидовая конвергенция – довольно распространенное явление: у популяций берегового хомячка неоднократно вырабатывался светлый оттенок шерсти после колонизации ими ослепительно белых песчаных дюн. Многочисленные популяции мексиканского аноптита (родственника того вида рыб, который знаком держателям аквариумов) переместились в подземные пещеры и потеряли свой окрас и глаза. У орегонского тритона выработались высокие уровни тетродотоксина (яд, содержащийся в телах рыбы-собака и фугу) в качестве защиты от их врага-хищника, обыкновенной подвязочной змеи. А во многих местах у обыкновенной подвязочной змеи, в свою очередь, выработалась сопротивляемость к этому яду. Я бы мог продолжать этот список и дальше. Когда близко родственные группы оказываются в одинаковых специфических условиях, они, как правило, адаптируются к ним похожим способом.

ПОКА я говорил о конвергенции между двумя видами, живущими в схожих условиях. Это представление имеет глубокие исторические корни. Дарвин рассуждает на эту тему в своей работе «О происхождении видов». С тех пор многие эволюционные биологи обсуждали данный вопрос. Как я уже говорил, эта идея, хоть и старая, расцвела пышным цветом в последние годы, когда мы пришли к пониманию того, что конвергенция гораздо более распространенное явление, чем мы себе представляли.

Но отдельные связанные с ним идеи возникли относительно недавно, всего несколько десятилетий назад. Дарвин концентрирует свое внимание на одном единственном селективном факторе и на том, как удавалось многочисленным видам эволюционировать одинаково. Но почему конвергенция должна быть ограничена одним набором видов, адаптирующимся к схожим условиям обитания?

Мы знаем, что в любом конкретном месте существует огромное разнообразие живых существ, и каждое из них адаптируется к своей собственной экологической нише. Если два места очень похожи, разве не может тогда естественный отбор породить целый ансамбль конвергентных типов, так что каждая адаптивная форма в одном месте развивается параллельно своему конвергентному двойнику в другом месте? Это гораздо более новая идея в эволюционной биологии, которую начали разрабатывать относительно недавно. И большая часть данных исследований проходила на островах.

Глава вторая

Реплицированные рептилии

Взгляните на этого симпатичного парня на фотографии. Это я, тринадцатилетний, во время семейной поездки в Майами навещаю мою двоюродную бабушку.

И я, как всегда, вышел на улицу, чтобы порыскать в шикарном лесном зарослях южной Флориды в поисках моих любимых чешуйчатых зверей. В этот раз мои труды увенчались успехом. Моя добыча – маленькая ящерица, красногорлый анолис, *Anolis carolinensis*.



Автор делает первые шаги в герпетологии

Красногорлые анолисы были и являются распространенными домашними питомцами, так что когда я занялся в школе научным проектом, посвященным ящерицам, мне не нужно было искать себе объект для изучения. В восьмом классе я выяснял, меняют ли эти ящерицы свой окрас, чтобы слиться с окружающей средой. В противоположность бытующему мнению, они не меняют его.

В двенадцатом классе я пытался выяснить, какие механизмы запускают процесс размножения весной (проект провалился, но я выяснил, что ответ – в увеличении продолжительности светового дня).

Итак, будучи подготовленным, я поступал в колледж, решительно настроенный изучать герпетологию. Когда я был на втором курсе и студент-выпускник пригласил меня поехать с ним на Ямайку, чтобы ассистировать в натуралистических исследованиях, кого бы вы думали? – анолисов, – я недолго размышлял. Хотя и был расстроен, когда мне сказали, что теннисная ракетка мне там не понадобится: видимо, я по-другому представлял себе эти исследования.

Красногорлый анолис – единственный североамериканский местный вид анолисов¹⁷, но в других местах данный род представлен намного заметнее. Более шестидесяти их видов обитают на одной только Кубе и почти двести пятьдесят – на материковой территории Центральной и Южной Америки. На Ямайке, которая в десять раз меньше^[29] Кубы, обитает семь видов ящериц.

Первой остановкой была морская лаборатория на северном побережье острова. Снискавшая себе славу среди морских биологов как отличное место для изучения карибских коралловых рифов, эта лаборатория обрела свою отдельную обширную клиентскую базу, и все благодаря буйным лесам, изобилующим ящерицами. Отвергнув ласты, маски и дыхательные трубки, влюбленные в сушу биологи использовали лабораторию как базу для изучения наземной фауны Ямайки.

Приехав туда, мы уже вскоре открыли для себя местное многообразие ящериц – они были повсюду и не боялись привлечь к себе внимание. У самцов анолисов (и самок отдельных видов) под горлом имеется складка кожи, которая называется подгрудок. В состоянии покоя эта складка сворачивается, так что виден только рубчик кожи, идущий почти с кончика челюсти до груди. Но когда ящерице нужно выступить с заявлением: «Исчезни, парень, это моя территория» или «Эй, леди, посмотрите на меня. Я стану хорошим папочкой», – тогда появляется подгрудок, спускаясь дугой вниз от челюсти и образуя такой большой полукруг, что ящерице часто приходится выпрямлять ноги, отталкиваясь от земли, чтобы ее стало заметно.

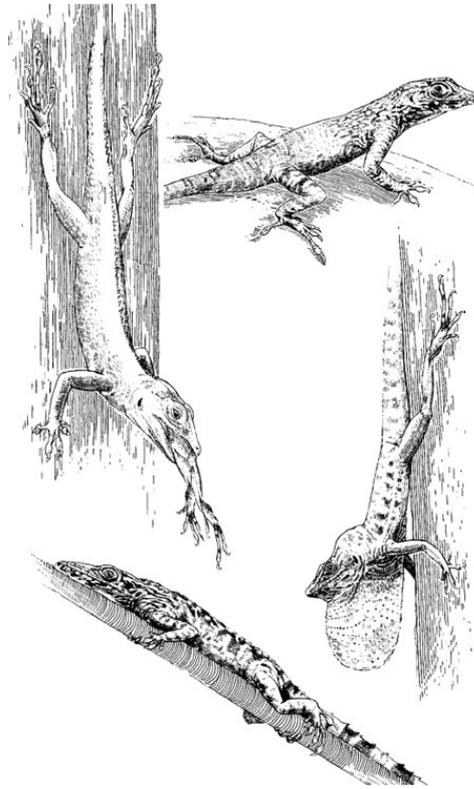
Ящерицы появлялись везде, где были растения. Самым распространенным видом была сухопутная ящерица ямайский кустовой анолис. Эти маленькие ребята стремительно носились от куста к кусту или свешивались с нижних веток дерева, обозревая свои владения. Так как они обитали рядом с землей, их грязновато-коричневый окрас сливался с окружающей средой.

Но на деревьях все обстояло иначе. Самым заметным был другой вид примерно того же размера, что и кустовой анолис. Обитающий среди деревьев – высоко, низко, на стволах, на ветках – анолис Грэма был в той же степени великолепен, как кустовой анолис прост: потрясающий ультрамариновый окрас головы, туловища и передних конечностей, переходящий в глубокий голубой на талии и кобальтовый на хвосте; белые точки и волнистые линии, покрывающие тело и трансформирующиеся в органический двухмерный штрихкод. Уже поражая своим роскошным внешним видом, самцы доводят его до совершенства, когда демонстрируют подгрудки ярко-оранжевого цвета, контрастирующего с разными оттенками голубого.

Но даже блистательный анолис Грэма проигрывает роскошной красоте ямайского вида ящерицы. Этот приз достается более крупному двоюродному брату анолиса Грэма, живущему на деревьях, – обыкновенной игуане, или зеленой игуане. Второе название, которое используют местные жители, не передает всех оттенков ее зеленовато-желтой шкуры. Вдоль спины ящерицы идет доисторический драконовский шипастый гребень, а вокруг глаз – желтые кольца. Будучи в два раза длиннее и в восемь раз тяжелее анолиса Грэма, зеленая игуана является королевой среди ямайских ящериц, правящим тираном, который будет рад пообедать не только насекомыми и фруктами, но и более мелкими своими сородичами.

¹⁷ Десять других были завезены с Карибских островов в последние несколько десятилетий.

Еще один член клана ящериц живет на деревьях, но у него другой портной. Вместо кричащих предметов мужского туалета ямайский веточковый анолис предпочитает нарочитую скромность. Он настолько неброский в своем бело-сером, покрытом коричневыми пятнами костюме, что полностью сливается с древесным окружением. Его тонкое тело почти неразличимо на ветке, на которой он сидит.



«Специалисты» ямайского ареала (по часовой стрелке сверху слева направо): зеленая игуана, анолис Грэма, ямайский кустовой анолис, ямайский веточковый анолис.

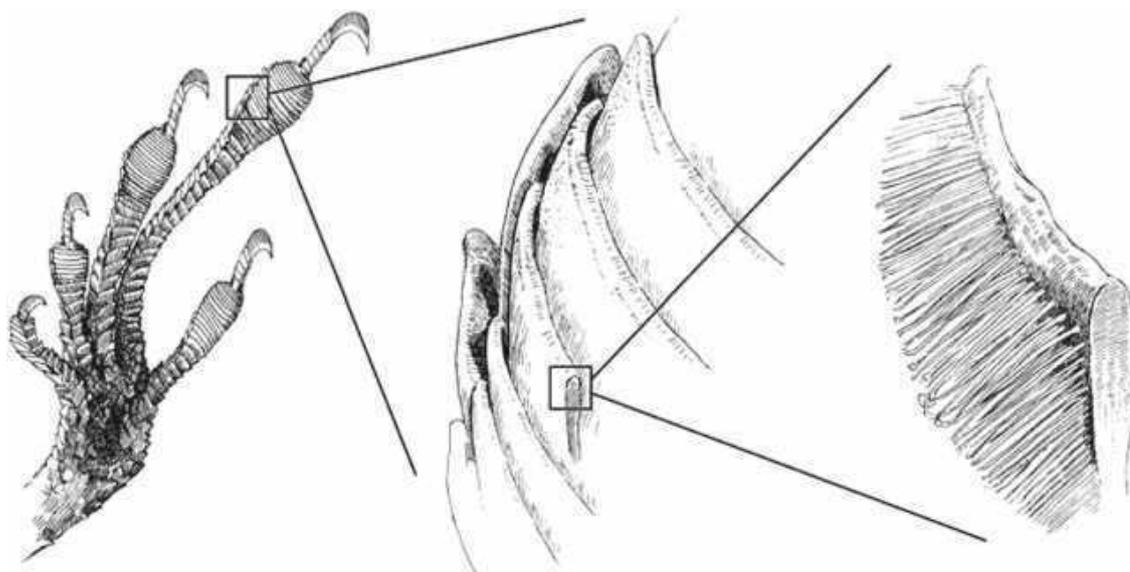
Эта радужная чешуйчатая палитра дала прекрасное представление обо всем многообразии ямайских анолисов, но она лишь частично поведала об их эволюционной истории. На самом деле, помимо окраса данные виды различаются многими своими свойствами.

Давайте начнем, пожалуй, с самого впечатляющего свойства. На кончике каждого пальца этих ящериц имеются плоские овальные подушечки. Переверните ящерицу на спину, и вы заметите, что нижняя часть подушечек состоит из прямоугольных, идущих внахлест чешуек. Причем у основания подушечек расположены маленькие чешуйки, в середине – пошире, а на кончике – снова маленькие.

Если вы легонько потрете пальцем подушечку, то почувствуете в ней легкое напряжение: даже не двигаясь, подушечка создает сопротивление. Поместите ящерицу на горизонтальную стеклянную поверхность, так чтобы подушечки находились в соприкосновении с этой поверхностью. Затем начните медленно приподнимать один конец стекла. По мере того, как стеклянная поверхность будет приближаться к вертикальному положению, тело ящерицы начнет провисать, но подушечки останутся крепко зафиксированными, сопротивляясь силе тяготения. Продолжайте наклонять стекло так, чтобы угол наклона превысил девяносто градусов. И тогда ящерица перевернется еще сильнее, напоминая человека-паука: а именно своими четырьмя ногами – или, если быть точнее, десятью подушечками – удерживая контакт со стеклом. Иногда даже когда стекло полностью перевернуто, ящерица продолжает удерживать хватку.

На протяжении многих десятилетий ученые размышляли над источником этой липкости ящериц. Может быть, это когти, находящие мельчайшие отверстия в стекле? Нет. Присоски? Крошечные крючки на подушечках, выполняющие роль липучки? Липкая выделяющаяся жидкость? Ничего подобного.

Долгое время считалось, что подушечки анолисов покрыты миллионами микроскопических волосков, или щетинок, каждая из которых гораздо тоньше человеческого волоса. У другого вида ящериц, геккона, – их можно часто видеть по ночам пробегающими по стенам и другим вертикальным поверхностям, преимущественно в теплых местах – тоже есть подушечки, покрытые щетинками, и они цепляются ими еще лучше, чем анолисы. Предположительно, щетинки играют определенную роль в процессе цепляния, но как это происходит, до определенного времени оставалось тайной.



Кончики пальцев анолиса. Щетинки на кончиках пальцев покрыты миллионами микроскопических волосков.

Пока, наконец, в 2000 году команда ученых не разгадала эту загадку. И ответ вовсе не из области фантастики. На поверхности каждой из миллионов щетинок находятся свободные электроны, и при правильных условиях эти электроны способны связываться с электронами на поверхности стекла или иного объекта. Такое явление, именуемое силами Ван-дер-Ваальса, может проявляться настолько сильно, что ящерица будет висеть на одной единственной подушечке или даже цепляться лапой во время падения за лист растения. Попробуй-ка сделать это, Паучок!

Подобное явление, к слову сказать, привело к возникновению новой области в инженерии. Вспомните о самых лучших клеящих средствах, которые мы сейчас используем, от суперклея до ленты. Вы либо не можете отклеить эту полоску, либо она оставляет липкий след. А подушечки ящериц могут не только отменять эту свою мощную способность, но еще и не оставляют никаких следов. Именно поэтому значительное количество ученых пыталось использовать это волшебное свойство ящериц при производстве удобных для нас изделий. И в 2008 году было представлено новое средство для заклеивания ран^[30].

Теперь вернемся к ямайским ящерицам. Как и у других анолисов, у всех у них сильные клейкие подушечки пальцев. Но у отдельных видов они более липкие. Если вы поместите ящерицу на специальное приспособление, именуемое стабилографом, а затем осторожно потянете ящерицу назад, вы сможете измерить силу сопротивления подушечек пальцев ящерицы.

Этот метод был впервые испробован моим бывшим коллегой-аспирантом Дунканом Ирришом, теперь уже по праву выдающимся ученым. Результаты его исследований очевидны: количество силы, выделяемой ящерицей во время цепляния к поверхности, пропорционально размеру подушечек ее пальцев. А у кого самые большие подушечки? С заметным отрывом здесь лидирует зеленая игуана, самая крупная ящерица среди ямайских анолисов. Три других вида примерно того же размера. Но у них подушечки совсем другие: у древесного вида ящерицы, анолиса Грэма, подушечки пальцев почти в три раза больше, чем у сухопутного кустового анолиса.

Существуют две причины, почему древесным ящерицам требуется большая способность цепляться. Во-первых, обитающие на деревьях ящерицы чаще пользуются гладкими, без зацепок, поверхностями, такими как листья или очень гладкие стволы некоторых тропических деревьев. Чтобы удержаться на них, требуется более сильная хватка. Во-вторых, падение с верхушки дерева – гораздо более серьезная проблема, чем падение с ветки с высоты полуметра от земли. Большинство анолисов достаточно маленького размера, так что само падение им не навредит. Но процесс карабканья обратно сопряжен с серьезными рисками, как в плане трата энергии, так и в плане возможной встречи с хищниками.

Если сравнивать ямайских анолисов, то они заметно отличаются и другой своей анатомической особенностью – длиной ног. В данном случае лидером является сухопутный вид, кустовой анолис, у которого задние конечности существенно длиннее, чем у других видов. И, напротив, веточковый анолис – «такса» среди ящериц – имеет очень короткие ноги и длинное туловище.

У ямайских видов и карибских анолисов в целом различия в длине ног связаны с их средой обитания. У таких видов, как ямайский кустовой анолис, которые обычно лазают по широким стволам деревьев и по земле, очень длинные ноги. А у тех, которые бегают по узким веточкам, конечности гораздо короче.

Чтобы выяснить, почему, мы принесли ящериц в лабораторию и устроили им своеобразную олимпиаду. В соревнованиях по легкой атлетике первым испытанием стал забег на два метра, во время которого ящерицы должны были пробежать по узкой дорожке. Скорость их бега подсчитывалась, когда они проходили сквозь инфракрасные лучи, установленные с определенной периодичностью. Далее следовал прыжок в длину, когда мы заставляли ящериц прыгать, легонько шлепая их по хвосту.

Результаты этих состязаний были незатейливы: чем длиннее у ящерицы ноги, тем быстрее она бегаёт и дальше прыгает. Данное открытие было важно в плане биомеханики, но оно нас не удовлетворило: а какой прок тогда в коротких ногах?

Ответ нам дали итоги пятиборья. Мы снова оценили, насколько быстро способны бегать ящерицы, но в этот раз запустили их по пяти разным поверхностям, от очень широких до очень узких. Мы ожидали, что на широкой поверхности ящерицы с длинными ногами окажутся самыми проворными, а веточковые ящерицы с короткими ногами будут быстрее на узкой полоске, напоминающей привычные им тонкие веточки.

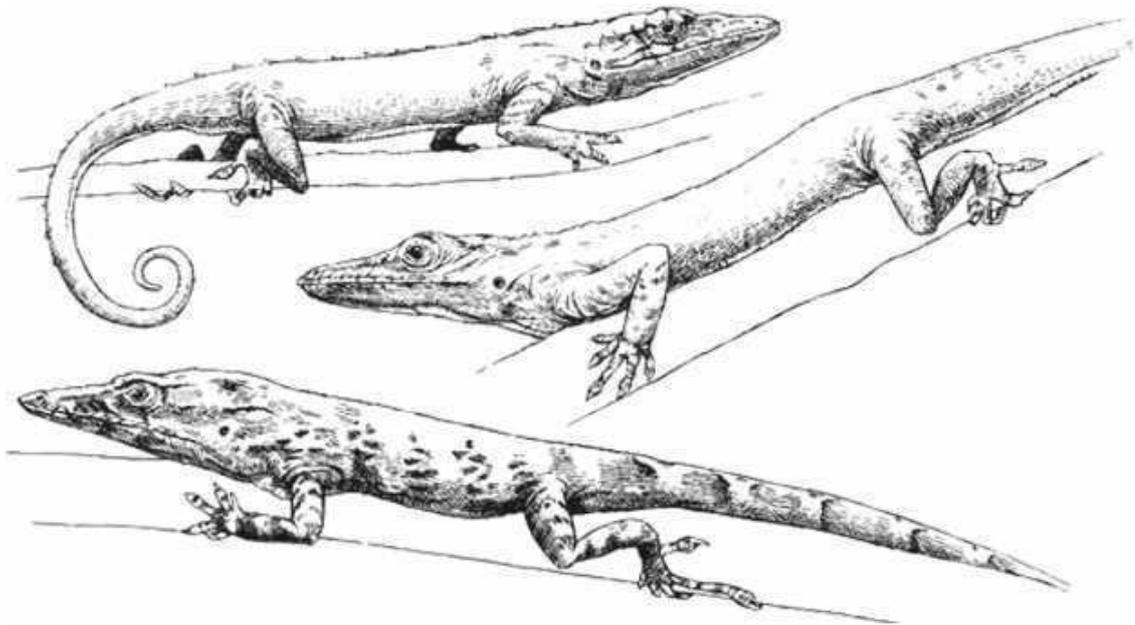
Мы ошибались! Все виды бегут медленнее по узкой поверхности, и веточковые виды в этом состязании оказались не быстрее остальных. Короткие ноги явно не являются способом адаптации к быстрому перемещению по тесным поверхностям.

Пока мы гоняли наших ящериц, заметили, что иногда они спотыкаются или даже падают. Мы записали эти промахи, но лишь позднее поняли, что это был недостающий фрагмент пазла. На широких поверхностях ни у одного из этих видов не возникало серьезных проблем, а неудачи случались примерно в двадцати процентах случаев. Но на узкой плоскости веточковые виды продолжали оставаться невозмутимыми, в то время как длинноногие виды испытывали огромные трудности, поскользываясь или падая в трех случаях из четырех. Здесь-то и

крылся ответ: короткие ноги не являются преимуществом при быстром перемещении по узким поверхностям, они лишь помогают без проблем преодолевать подобные среды.

Теперь, по прошествии времени, можно сказать, что подобное открытие должно было стать ожидаемым. Мы часами наблюдали за ящерицами в их естественной среде обитания. Длинноногие виды периодически бегают на больших скоростях в погоне за добычей или спасаясь от нападения хищников. В отличие от них, веточковые анолисы полагаются на свою незаметность, а не на скорость. Будучи хорошо замаскированными, они медленно подползают к своей жертве; а когда видят хищника, то пятятся к другому концу ветки и, шаг за шагом, растворяются среди ветвей. Для подобного образа жизни ключевым фактором является юркость, а не скорость, и именно такое преимущество обеспечивают короткие ноги.

ОСТРОВ ЯМАЙКА ИЗНАЧАЛЬНО вообще не был островом. Скорее он был частью Центральной Америки, соединявшейся с Юкатаном где-то в районе Мексики. Примерно пятьдесят миллионов лет назад Ямайка и материк откололись друг от друга, и появившийся в результате остров отнесло к востоку в Карибское море. При этом он ушел под воду, и волны смыли его обитателей. А спустя несколько миллионов лет они появились там снова – бери и пиши все заново. Все, что осталось на острове, было предназначено для тех первых актеров, которые должны были появиться в этом новом эволюционном театре.



Веточковые анолисы Эспаньолы (сверху), Пуэрто-Рико (в центре) и Кубы (внизу)

Впоследствии предка ямайского анолиса выбросило волной на берег: он приплыл с другого острова Карибского моря, вероятно, с Кубы. Со временем^[31] те первоначальные виды породили множество последующих видов¹⁸, и эти виды адаптировались к различным частям

¹⁸ Процесс видообразования – то, как происходит деление анцестральных видов на множественные последующие виды – один из главных вопросов эволюционной биологии, который мог бы стать темой отдельной книги (на самом деле, несколько таких книг уже существует). Две популяции животных считаются разными видами, если они не могут скрещиваться друг с другом и производить здоровое потомство. В случае анолисов подгрудок является, похоже, значимой частью истории: анолисы способны отличать ящериц своего вида от других по цвету и узору кожной складки, таким образом предотвращая возможное скрещивание. Так что у анолисов видообразование является зачастую результатом возникновения разных узоров на подгрудке. Как это происходит – у анолисов и вообще в целом, – вопрос до сих пор обсуждаемый. В данном случае географическое разделение могло сыграть важную роль, так как оно допускает расхождение генных пулов двух видов без постоянного смешивания. Естественный отбор, который толкает популяции в разных направлениях, также может ускорять расхождение.

их среды обитания, результатом чего стали эволюционные изменения в окрасе, подушечках пальцев, конечностях и множестве других свойств.

Итогом этой дивергентной эволюции является набор видов, каждый из которых произошел от недавнего в геологическом аспекте общего предка и адаптировался к своей собственной экологической нише. У биологов есть специальный термин для этого феномена – мы называем его «адаптивной радиацией», – и многие считают его одним из важнейших аспектов эволюционного расхождения.

Адаптивная радиация – распространенное явление, которое уже давно изучают ученые. На самом деле, дарвиновские вьюрки, ставшие в определенный момент важными для понимания процесса эволюции, всего лишь пример из учебника. Но адаптивная радиация анолисов – особый случай. Чтобы понять, почему, нам придется переместиться в другое место Карибского бассейна.

Спустя пять лет после моего первого путешествия, я снова вернулся на Ямайку, но в этот раз уже в качестве аспиранта, собирающего материал для моей собственной диссертации. И снова я отправился в морскую лабораторию и привел в замешательство новую поросль морских биологов, оставшись на берегу и изучая ящериц.

Но в этот раз Ямайка была лишь первой моей остановкой. Собрав весь необходимый материал, я начал перемещаться по острову. В зеленых тропических лесах горы Лукуилло в Пуэрто-Рико я снова обнаружил многообразие сосуществующих рядом ящериц анолисов, каждый из которых занимал свою собственную природную нишу. Но многообразие это было особенным. Точнее, там были одинаковые виды-специалисты, встречающиеся на Ямайке. Вверху, в кроне деревьев, обитает один крупный, похожий по размеру и внешне на зеленую игуану, и другой, меньший по размеру, зеленый вид, который перемещается в зарослях растений с помощью своих очень крупных кончиков пальцев. Рядом с землей живут длинноногие коричневые ящерицы с маленькими подушечками пальцев, которые как никто умеют быстро бегать и далеко прыгать. А на ветках живет хорошо замаскированный коротконогий вид, неспособный к стремительному передвижению, но хорошо приспособленный для лазания по узким поверхностям.

Если бы вы не знали этого, то подумали бы, что эти живущие на острове двойники – близкие родственники. Причем веточковые анолисы – порождение двух родственных островных ветвей; зеленые игуаны – седьмая вода на киселе, а длинноногие наземные бегуны – результат недавнего эволюционного расхождения. Но они не являются родственниками. Все природно и анатомически отличающиеся друг от друга ямайские виды происходят от одного общего ямайского предка и более тесно связаны, чем их двойники с Пуэрто-Рико.

На Ямайке одна адаптивная радиация, а на Пуэрто-Рико – другая, но при этом две эти независимые эволюционные ветви породили очень похожий набор специалистов (по правде говоря, должен признать, что это совпадение неидеальное: на Пуэрто-Рико обитает дополнительный тип, который не эволюционировал на Ямайке, но адаптировался к жизни в траве).

На следующий год я отправился в Доминиканскую республику, территория которой вполнину меньше острова Эспаньола (его островной напарник, Гаити¹⁹, также богат ящерицами). Там я тоже обнаружил многообразие видов анолисов и в очередной раз теперь уже знакомых мне двойников, тот же набор из пяти видов, обитающих на Пуэрто-Рико. И опять ответом было то, что они не близкие друг другу родственники: несмотря на их похожий внешний вид,

В настоящее время эволюционные биологи обсуждают важность взаимосвязи двух этих факторов.

¹⁹ Я никогда прежде не бывал на Гаити, потому что несколько лет назад, когда подумывал о том, чтобы пересечь границу Доминиканской республики, мне сказали, что меня в этом случае, возможно, и не убьют, но точно посадят в тюрьму. Некоторые из моих более смелых коллег отправились туда и увидели нечто изумительное. К сожалению, большинству самых уникальных гаитянских видов – ящериц и других животных – грозит серьезная опасность из-за масштабного уничтожения лесов Гаити.

ДНК говорит о том, что веточковые анолисы с трех островов не являются близкими родственниками, как не являются ими ни коричневые наземные виды, ни один из других коренных представителей данной среды обитания.

В конечном итоге, несколько лет спустя я, наконец, получил разрешение посетить Кубу – непростая задача, учитывая наложенное США торговое эмбарго и кубинскую подозрительность относительно того, что любой гринго, приехавший работать на лоне природы, это реальный шпион ЦРУ, готовящий почву для захвата страны. Я не буду в очередной раз повторять очевидное: здесь был тот же набор видов-специалистов, независимо эволюционировавших на кубинской почве.

Ящерицы анолисы, обитающие на четырех островах Больших Антильских островов, поразительно похожи. Четыре типа специалистов живут на всех островах. В большинстве случаев виды определенного типа настолько одинаковы, что их по ошибке можно было принять за один и тот же. Еще один тип специалиста обнаружен на трех из этих островов, а еще два типа, о которых я не упомянул, встречаются только на Кубе и Эспаньоле. И на каждом острове совсем мало видов, у которых бы не было двойника, эволюционировавшего на любом из всех остальных островов.

КАКОЕ-ТО КОЛИЧЕСТВО ЛЕТ анолисы Больших Антильских островов были единственным подробно описанным случаем повторяющейся адаптивной радиации. Однако недавно был обнаружен ряд других примеров, и оказалось, что конвергенция целых радиаций^[32] не настолько редка, как считалось ранее.

В недавнем примере фигурируют улитки с малоизвестных японских островов^[33]. Улитки относятся к роду *Mandarina* и не имеют общего названия. Их родина – территория из тридцати островов Огасавара, расположенных в шестистах милях к югу от Токио. Тот факт, что эти острова малоизвестны, вполне объясним: они отдаленные, крошечные (общая площадь составляет тридцать четыре кв. мили) и почти не заселены (население две тысячи четыреста человек). Но размер и малонаселенность островов Огасавара с лихвой компенсируются их природной красотой. Признанные в 2011 году объектом всемирного наследия, острова богаты своим биоразнообразием, причем настолько, что их еще иногда называют «Галапагосом Востока».

И род *Mandarina* с девятнадцатью видами, разбросанными по островам, одна из составляющих этой репутации. Подобно анолисам, сосуществующие рядом местные виды неизменно расходятся в том, как они используют свою среду обитания: одни живут исключительно на деревьях, обычно на листьях; другие встречаются и на стволах деревьев, и на земле. Чисто наземные виды делятся на тех, кто обитает на открытых пространствах, и тех, кто живет в укрытиях.

Этой разнице в условиях обитания сопутствуют различия в анатомии. Древесные виды меньше наземных: возможно, потому что непросто тащить за собой на дерево раковину, особенно когда у тебя нет ног. Кроме того, у древесных видов большее отверстие в раковине, что обеспечивает улитке лучший контакт тела с древесными поверхностями. У полудревесных видов особенно плоские раковины, что соответствует их склонности забиваться в узкие укромные уголки среди растений. Два наземных вида также отличаются друг от друга: у живущего на открытых пространствах вида более незаметный окрас и более плоская форма.

Иными словами, здесь имеет место адаптивная радиация улиточного типа. И точно так же, как в случае с карибскими анолисами, радиация улиток повторяется на всей территории островов Огасавара. На нескольких островах улитки эволюционировали от одного родственного вида, породив набор различных видов других коренных представителей. И так же, как с анолисами, когда мы сравниваем виды, обитающие на всех островах, мы видим, что на каждом острове эволюционировал одинаковый набор специалистов. В некоторых случаях природные

двойники стали настолько конвергентны, что по строению раковины их не отличишь друг от друга.

* * *

Можно привести еще один пример повторяющейся адаптивной радиации, на этот раз из воздушной среды. Из более чем пяти тысяч существующих сегодня в мире видов млекопитающих одну пятую часть составляют летучие мыши – их, согласно последним подсчетам, тысяча двести сорок мховых летающих видов. Особенно успешной группой является род ночницы. Существуют более сотни видов ночниц. На самом деле, если вы встретили летучую мышь в Северной Америке, ею запросто может оказаться маленькая коричневая летучая мышь – малая бурая ночница, очень распространенный и полезный вид, способный ежедневно проглатывать объем насекомых, равный половине веса их тела.

Несмотря на наличие у всех видов ушей, похожих на мышьиные, не все виды ночниц выглядят одинаково. Согласно традиционной классификации различают три основных группы животных, которые отличаются как анатомически, так и своим образом жизни. Подобно маленькой коричневой ночнице подвид *Selysius* со свистом пронесется в воздухе в погоне за насекомыми. У них маленькие лапы, а между задними конечностями находится крупная перепонка, которой они пользуются, как перчаткой ловца, чтобы хватать насекомых прямо в воздухе. Летучие мыши подрода *Leucopoe* имеют узкие крылья и обычно охотятся над водой. Иногда они даже ловят рыбу с поверхности воды, хватая ее своими длинными, покрытыми шерстью задними лапами. И, наконец, вид подрода *Myotis* – это животные с крупным туловищем, большими ушами, широкими крыльями, которые сдергивают добычу с листьев, ветвей или с земли.

Ранее считалось общепризнанным фактом, что эти три подрода представляют разные эволюционные группы, причем каждый тип эволюционировал однократно, а потом породил множество похожих видов, разбросанных по всему миру. Но потом проведенный сравнительный анализ ДНК^[34] перевернул всю картину мира. Проведя секвенирование нескольких генов, взятых у трех четвертей всех существующих видов ночниц, ученые обнаружили, что традиционная, основанная на анатомическом строении классификация весьма и весьма ошибочна. Точно так же, как в случае с ящерицами анолисами и улитками *Mandarina*, анатомически и природно отличающиеся друг от друга летучие мыши, которые обитают в одном и том же регионе, были ближе друг к другу, чем к похожим видам из других регионов. Идея об общей эволюции каждого типа, повторяемой всей мировой диаспорой, была развенчана. Вероятней всего, ночницы одинаковых трех типов неоднократно подвергались адаптивной радиации во многих частях света.

Истории, подобные описанным примерам с анолисами, улитками и ночницами, становятся все более распространенными. Очевидно, природные условия разных мест настолько одинаковые, что в каждом месте естественный отбор обеспечивает эволюцию похожего набора коренных представителей. И эти конвергентные воздействия настолько сильны, что получившиеся в итоге виды кажутся близкими родственниками, а не результатом независимых эволюционных радиаций.

Приведу два последних примера – результаты основанных на анализе ДНК изученных обитателей Мадагаскара. Несколько лет назад мы узнали, что в противоположность бытовавшему когда-то мнению лягушки Мадагаскара не связаны близкими родственными узлами с их природными двойниками из Индии. Скорее их расхождение произошло непосредственно в месте обитания на Красном острове, породив роющих лягушек, водных обитателей и древесных лягушек, очень похожих на тех, что живут в Индии^[35].

Птицы с Мадагаскара поют одинаково. Несмотря на их значительную схожесть^[36] с представителями африканской птичьей фауны, недавно проведенный анализ ДНК показал, что огромное многообразие воробьинообразных Мадагаскара является по большей части результатом обширной внутриостровной диверсификации видов. Как мы видели в первой главе, то же самое относится и к эволюционной радиации австралийских птиц, которая породила целую обойму разнородных природных коренных представителей, конвергентных с различными видами северной птичьей фауны.

МЫСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ГУЛДА требует возвращения в прошлое, чтобы начать эволюцию с тех же самых начальных условий и проследить, пойдет ли эволюция тем же самым путем. Но существует и другой способ поставить подобный опыт. Вместо того, чтобы прокручивать пленку назад, может, просто прокрутить ее в одно и то же время, но в разных местах? Другими словами, создайте идентичные природные условия в различных местах и заселите их неотличимыми друг от друга популяциями. А затем посмотрите, будут ли они следовать одними и теми же эволюционными траекториями.

Да, конечно, это мыслительный эксперимент, идеальный мир, в котором возможно все. В реальном мире подобный эксперимент невозможен, потому что вне лаборатории вы не найдете двух по-настоящему идентичных мест, и в них с течением времени будут происходить несхожие события.

И все же острова неспроста называют пробирками для эволюции.

Их изолированность дает им независимость: то, что происходит на одном острове, не влияет на происходящее на других островах (по крайней мере, это касается видов со слабыми способностями к рассредоточению). И хотя жизнь на них никогда не бывает идентичной, многие острова, в частности, расположенные в одном общем регионе, как правило, бывают относительно похожими.

В идеальном мире идентичные популяции ящериц оказались бы на четырех одинаковых островах, и на протяжении миллионов лет за их эволюцией велось бы наблюдение. Будет ли утопичным исследование всего того, что отличается от реально происходивших изменений с ящерицами анолисами, обитающими на Больших Антильских островах? В реальном мире такая исследовательская программа может быть точной настолько, насколько сама природа способна прокрутить пленку Гулда.

И результаты, конечно же, противоречат тезису Гулда. Пленка была одновременно прокручена на четырех островах Большой Антильской гряды, и итог эволюционного развития ящериц оказался очень похожим на каждом из островов. Тот факт, что Ямайка отличается от Кубы, так же как Куба отличается от Пуэрто-Рико, усиливает отклонение: путь эволюции ящериц не был продиктован конкретными обстоятельствами, возникавшими на каждом острове.

То же самое касается наземных улиток, ночниц и многих других существ. Повторяющиеся адаптивные радиации происходили во многих местах, и сейчас регулярно всплывают новые подобные случаи. Очевидно, что эволюция и вправду повторяет себя. Независимые друг от друга эволюционные «броски костей» выдают, в сущности, одинаковые результаты, вне зависимости от обстоятельств.

ТАИТИ, БЕРМУДЫ, МАДЕЙРА, БАЛИ. Все любят острова, но ни у кого нет такого непреодолимого влечения к ним, как у эволюционных биологов. Дарвин черпал свое вдохновение в промежуточных остановках на островах во время легендарного путешествия на «Бигле», как и Альфред Рассел Уоллас в ходе поездок по Юго-Восточной Азии. И с тех самых пор, как Дарвин и Уоллас сообща объяснили теорию эволюции естественным отбором, биологи возвращались на острова, чтобы оценить все свежим взглядом. А потому большая часть того, что мы

узнали об эволюции на протяжении последних полутора столетий, берет свои корни именно в островных исследованиях.

Что же заставляло эволюционных биологов возвращаться в эти места?^[37] Здесь я могу дать два ответа. Во-первых, с точки зрения ученого, острова представляют собой повторяющиеся природные эксперименты эволюции. Каждый океанический остров или архипелаг – это отдельный мир, и все эволюционные изменения здесь не зависели от того, что происходило в других местах. Это означает, что, сравнивая один остров с другим, мы можем получить представление об эволюционном потенциале и предсказуемости. Выдает ли эволюция похожие конечные результаты снова и снова? В случае с анолисами и улитками с островов Огасавара – да, но насколько повсеместен этот результат? Как сильно варьируются возможные исходы эволюционной диверсификации? Ученые нацелены выяснить это, сравнивая схожести и различия представителей островной фауны и флоры.

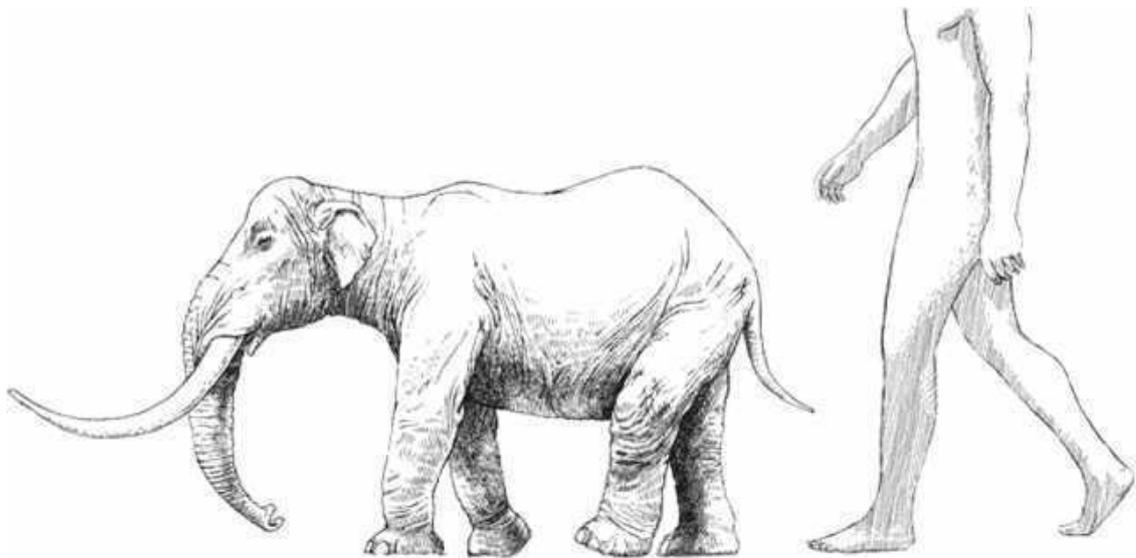
А вот более забавный ответ: острова – это круто! И я говорю не о красоте окружающей среды, а, скорее, об их необычайном многообразии, удивительных растениях и животных, настолько отличающихся от обитателей материков. Возьмем, к примеру, Новую Каледонию, гористый остров в южной части Тихого океана. Его медные склоны покрыты тропическими лесами. И в этих джунглях обитают удивительные существа: ведущие ночной образ жизни гекконы величиной с мое предплечье; практичные вороны, изобретающие свои собственные инструменты из листьев пальмы. А еще есть экзотичное растение тапериба, вырастающее из зачатков цветков; острохвостая гигантская сухопутная черепаха с рогами на голове, живущий на суше крокодил (к сожалению, последние два вида были истреблены первыми поселенцами Новой Каледонии).

Острова полны разными диковинами, эволюционировавшими на них причудливыми видами. Но мой любимый пример островной специфичности взят из городка Бедрок графства Кобблстоун, родины Фреда Флинстоуна и Барни Раббла. Знающие читатели вспомнят множество технологических успехов того прогрессивного времени: автомобили с ножным приводом и аэропланы с пропеллерами, напоминающими птеродактилей, похожая на птичий клюв игла проигрывателя для пластинок и строительный кран «Бронтозавр». Но самым лучшим был пылесос, приводимый в действие хоботом шерстяного «мамонта» размером с пинту, стоящего на колесиках.

Нет никаких сомнений в том, что голливудские создатели мультсериала «Флинстоуны», легендарная команда Уильяма Ханна и Джозефа Барбера, вдохновлялись реальными карликовыми мамонтами, обитавшими на греческом острове Крит в недавнем геологическом прошлом. Будучи менее четырех футов в холке, эти мини-мамонты весили всего около пятисот фунтов, три процента от веса их истинных предков.

А может быть, Ханна и Барбера думали о другом острове, потому что у Крита не было монополии на низкорослых толстокожих. На самом деле миниатюрные слоны эволюционировали на многих островах по всему миру, причем в разные эпохи. Некоторые из относительно недавних видов сосуществовали даже с современными людьми: на островах Мальта, Корсика, Сен-Поль у побережья Аляски, Флорес, где они обитали вместе с комодскими варанами, и даже на Нормандских островах у побережья южной Калифорнии.

Из всего этого изобилия мелких хоботных можно извлечь три урока. Во-первых, можно заработать кучу денег, выращивая миниатюрных джамбо. Кто не захочет иметь в качестве домашнего питомца слона размером с шотландского пони?



Карликовый слон Мальты и Корсики, которого можно было встретить еще несколько тысяч лет назад.

Я бы взял двух! Во-вторых, это еще один пример конвергентной эволюции. Поместите слона на остров, подождите немного, и, вуаля, вы получите невероятно усохшего гиганта.

Но гораздо более важным является то, что эволюция островных слонов маленького размера демонстрирует общее эволюционное правило, относящееся не только к хоботным, но также применимое ко многим крупным млекопитающим. Это и карликовые бегемоты, эволюционировавшие на нескольких островах Средиземного моря и в других местах; и олени, уменьшившиеся в размере на восемьдесят три процента после нескольких тысяч лет изолированной жизни на острове Джерси, и даже гоминид ростом три с половиной фута («хоббит», или, если использовать научный термин, – «человек флоресский»), который появился на одном из индонезийских островов семнадцать тысяч лет назад. Поместите любой вид крупного млекопитающего^[38] на остров, и с большой долей вероятности он станет маленьким, иногда просто крошечным.

Еще одной островной эволюционной тенденцией является утрата способности летать у имеющих крылья животных: крылья становятся меньше, отдельные их части утрачиваются, а иногда исчезает целое крыло. Неспособность летать у птиц многократно эволюционировала на островах по всему свету: дронг на Маврикии; пастушки (маленькие птицы, которые напоминают скрещенных курицу и цаплю); ибисы на Гавайях и Реюньоне; галапагосский баклан и многие другие пернатые, включая уток, гусей, попугаев, сов и сокола. Способность летать утрачивали не только птицы. Не избежали этой участи и островные насекомые – в частности, жуки, уховертки, мотыльки, сверчки и осы.

Крупные млекопитающие становятся меньше, птицы и насекомые теряют свои крылья. Может сложиться впечатление, что острова – территория эволюционного процесса уменьшения. Но не будем подменять общее частным. Некоторые типы организмов на островах увеличиваются в размерах, и растения здесь – главный пример. Семена деревьев, как правило, не выдерживают продолжительного плавания через океан: в первую очередь, потому что они очень крупные.

В результате лишь немногие материковые деревья попадают на острова²⁰. Это означает, что на новых островных образованиях, как правило, не хватает высоких растений. Есть объяснение тому, почему деревья вырастают такими высокими: в этом случае гиганты не затеняют

²⁰ Исключением здесь являются пальмы: кокос – это семя, плавающее в океане и прорастающее на берегу.

друг друга и, значит, могут легко получать солнечный свет, максимально усиливая процесс фотосинтеза. Как следствие, на острове, где нет деревьев, любой сорняк или цветок, который чуть выше остальных, будет иметь преимущество. Со временем можно ожидать, что когда-то маленькие растения эволюционируют в формы, напоминающие деревья. Именно это и происходит. На одном за другим острове материковые виды кустарников, сорняков или маленьких цветов становятся высокими деревьями с корой и центральным стволом, в целом неотличимыми от деревьев на материке.

Однако не все эволюционные закономерности относятся к островам. Пожалуй, два самых известных примера эволюционной предсказуемости демонстрируют то, как меняются размер и форма млекопитающих и птиц при удалении от экватора. Вспомните о медведях. Два самых крупных вида животных – бурый и белый – обитатели Крайнего Севера. Точно так же самая крупная кошка – уссурийский тигр – значительно крупнее других подвидов тигров и всех остальных существующих видов кошачьих. Правило Бергмана, названное так в честь немецкого биолога XIX века, описавшего это явление, говорит о тенденции к увеличению размера животного в условиях более холодного климата – в высоких широтах или в горах – внутри одного вида или среди близкородственных видов.

А теперь посмотрите на голову белого медведя, в частности, на его уши. Они очень маленькие. Такие же у его соседа, северного жителя, полярной лисицы, у которой еще и заметно короткие лапы. В противоположность ей знакомая всем рыжая лисица из менее холодных краев имеет более крупные уши и длинные лапы. А у фенека из африканских пустынь уши удлинены.

И снова тенденция – правило Аллена, названное в честь американского биолога XIX века: выступающие части тела млекопитающих и птиц становятся короче в условиях высоких широт.

Относительно этих двух правил ведется немало споров, и они, конечно же, являются всего лишь обобщениями с множеством исключений. И все равно все ученые сходятся в одном: причиной эволюционных изменений является температура. На севере теплокровным животным – тем животным, которые генерируют собственное тепло, чтобы поддерживать высокую температуру тела²¹, – приходится минимизировать потерю тепла. Тепло вырабатывается каждой клеткой тела животного и уходит с его поверхности. По мере того, как животное становится крупнее, коэффициент отношения поверхности тела к объему тепла уменьшается, что приводит к уменьшению потери тепла. Более короткие выступы тела также ограничивают потерю тепла. И, напротив, в жарком климате проблема прямо противоположная: животным приходится избегать перегрева, так что более высокие коэффициенты отношения поверхности к объему при маленьком размере тела и крупных выступах более эффективны.

А теперь я приведу еще одну, последнюю общую тенденцию^[39], впервые отмеченную Дарвином полтора столетия назад: у одомашненных животных, как правило, развивается похожий набор признаков. Так, к примеру, у многих домашних видов животных обычно появляются белые участки шерсти с вкраплениями более темного цвета. Подобный пегий окрас встречается у мышей, крыс, морских свинок, кроликов, собак, кошек, лис, норок, хорьков, свиней, северных оленей, овец, козлов, крупного рогатого скота, лошадей, верблюдов, альпак и гуанако. Висячие уши появляются у разных пород кроликов, собак, лис, свиней, овец, козлов, крупного рогатого скота и ослов. Закрученные хвосты появились у собак, лис и свиней. У большинства домашних видов, включая, как ни печально, собак и кошек, уменьшился объем мозга по сравнению с их дикими предками. И, конечно же, все домашние животные стали более послушными.

²¹ Часто используемый термин «теплокровные» на самом деле не подходит по нескольким причинам, и главным является то, что даже те животные, которые не вырабатывают большого объема внутреннего тепла, способны поддерживать высокую температуру тела, греясь на солнце.

Почему эти признаки неоднократно эволюционировали, никто не знает.

Ни один из этих признаков, за исключением послушности, не стал целью программ искусственного отбора. Как правило, заводчики не пытались разводить породы с белыми пятнами, так же как они не разводили намеренно козлов с висячими ушами или свиней с закрученными вверх хвостами. Скорее всего, эти признаки стали сопутствующим результатом селекции какого-то другого признака.

Эволюция данных признаков была продемонстрирована в ходе долгосрочного эксперимента, проведенного в Сибири^[40]. В конце 1950-х годов русские генетики Дмитрий Беляев и Людмила Трут закупили на эстонской звероферме сто тридцать черно-бурых лисиц. Они оценивали их агрессивность по отношению к людям и выбирали для разведения самых послушных. Тот же самый критерий Беляев и Трут применяли в отношении их потомства. По прошествии шестидесяти лет такой селекции получившиеся в итоге лисы больше напоминали собак: виляли хвостами, требовали внимания, любили, когда им чесали живот. Кстати, в настоящее время их можно приобрести в качестве домашних питомцев (вот только стоимость транспортировки лис из Сибири будет заоблачной).

Но вместе с изменением поведенческой модели у лис также развились анатомические особенности, характерные для «синдрома одомашнивания». У многих лис сейчас появилась белая полоска на лбу; в состоянии возбуждения они поднимают хвосты вверх, а уши у большинства щенков висят так же, как у джек-рассел-терьеров.

Почему эти признаки развились у лис и у одомашненных животных в целом, пока непонятно. Основной гипотезой является то, что селекция одинаковых животных приводит к гормональным изменениям, которые формируют более послушный характер. Но эти гормоны влияют сильнее, чем поведение, особенно в период беременности, когда гормоны регулируют развитие эмбриона и, таким образом, оказывают воздействие на анатомию. Как следствие, изменение на гормональном уровне, являющееся результатом селекции определенной модели поведения, имеет массу других последствий, которые способствуют формированию набора признаков, регулярно проявляющихся в процессе одомашнивания.

ПОВСЕМЕСТНО РАСПРОСТРАНЕННАЯ КОНВЕРГЕНЦИЯ, повторяющиеся адаптивные радиации, общие эволюционные правила – свидетельства эволюционного детерминизма могли бы показаться безграничными. Возможно, Конвей Моррис и компания правы в том, что эволюция повторяет себя предсказуемым образом.

Но есть одна проблема. Большая часть доказательств, в особенности тот длинный список случаев конвергенции и повторявшейся адаптивной радиации, была собрана постфактум. Они не только не являются экспериментами, с помощью которых мы проверяем, насколько предсказуема эволюция, их даже нельзя считать беспристрастной выборкой. Да, это случаи, когда эволюция действительно повторяла себя. Но сколько случаев, когда этого не происходило?

Глава третья

Причуды эволюции

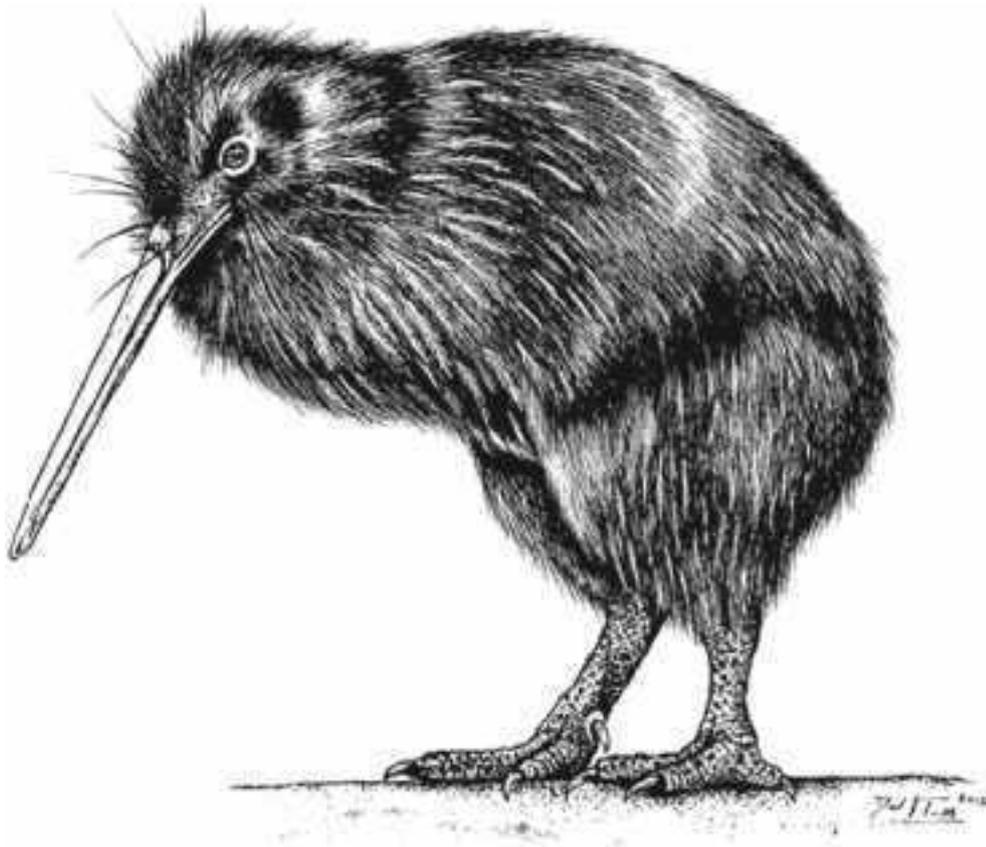
Пробираясь в зарослях кустарника, ночью по лесу бродит мохнатое маленькое существо, втыкая нос то в одно, то в другое место: оно пытается учуять запах своей мягкотелой добычи. В лесу темно, а зрение у этого эльфа слабое, но длинные усы и острое обоняние позволяют ему ориентироваться в пространстве. В случае опасности он срывается с места с головокружительной скоростью, несясь по лесу и обходя ямки, и вскоре уже исчезает из виду.

Абсолютно уникальный образ жизни. Многие животные ночами бороздят лесную почву похожим образом в поисках мелкой добычи: ежи, землеройки, куницы, а также более крупные животные, такие как опоссумы и даже кабаны. Мир полон ими.

Но это животное особенное. Все другие покрыты шерстью. Его шкурка тоже мягкая, состоящая из миллиона тонких нитей. Но это не шерсть. Все другие животные передвигаются на четырех лапах и производят на свет живое потомство. Но не оно.

Царапая, обследуя, обнюхивая, животное часто действует в паре со своим партнером, подзывая его время от времени и оставаясь с ним в контакте, пока они обходят свою территорию. И когда зовет самец, он выдает себя особенным криком: «ки-ви, ки-ви».

Мы в Новой Зеландии, и это ночное насекомоядное – птица с зачатками крыльев, кошачьими усами, мягкими перьями, и у него, в отличие от всех остальных птиц, на кончике клюва имеются ноздри.



Киви (иллюстрация Дэвида Тасса)

Многие называют их «почетными млекопитающими». Киви – не единственная странная птица из Новой Зеландии²². Самыми знаменитыми были гигантские бескрылые птицы моа, некоторые из них возвышались на девять футов над землей и весили шестьсот фунтов. А еще бескрылый попугай; плотоядный попугай, атакующий овец; адзевил, коренастый бескрылый родственник лысухи с массивным хищным клювом и самый крупный за всю историю хищник – орел, размеры которого позволяли ему охотиться на моа. Птицы – не единственные примеры причудливой эволюции. К другим характерным для Новой Зеландии аномалиям относятся выходящие кустарники с торчащими наружу ветками и спрятанными внутри листьями; улитки размером с гамбургер и покрытый броней сверчок величиной почти с крысу – пожалуй, самое крупное в мире насекомое. Новая Зеландия изобилует необычными видами²³.

Но не менее странным является отсутствие там привычных видов животных: млекопитающих. На островах едва ли сыщешь клочок шерсти. Не считая тюленей, лежбища которых можно встретить на уютных новозеландских пляжах, единственным местным видом млекопитающих являются три вида летучих мышей. И даже они необычны. В силу того, что вместо передних конечностей у них крылья, летучие мыши, как правило, довольно неуклюжи на земле. Но не в Новой Зеландии. Самый часто встречающийся наземный вид рукокрылых – короткохвостые летучие мыши – с большим проворством рыскают по лесной почве в поисках насекомых, плодов и нектара. Как точно назвал их знаменитый биолог Джаред Даймонд, это «попытка семейства летучих мышей породить мышь»^[41].

Не стоит забывать, что млекопитающие доминировали в наземных экосистемах мира на протяжении последних пятидесяти пяти миллионов лет. Новая Зеландия – это картина альтернативного мира, лишённого млекопитающих. В отсутствие млекопитающих их нишу заняли птицы, взяв на себя те природные функции, которые обычно выполняли млекопитающие, но делая это непривычным образом. При беглом взгляде киви можно перепутать с землеройкой или барсуком. Однако доминировавшие в свое время травоядные – теперь уже исчезнувшие моа и гигантские бескрылые гуси – не шли ни в какое сравнение со стадами антилоп и оленей. И плотоядный попугай, и крупная с тяжелым клювом лысуха – это всего лишь необычная замена привычного нам комплекта хищных видов: кошек, волков, медведей и куниц. На самом деле освобождение от давления хищников, вероятней всего, способствовало увеличению размеров насекомых, улиток и других членистоногих и превращению летучих мышей в грызунов. При повторном прокручивании пленки эволюция мира, где доминируют птицы, может идти совсем иным образом, чем эволюция в условиях доминирования млекопитающих.

НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ не единственное место, где развитие природных форм шло своим особым путем. За исключением карибских анолисов и улиток *Mandarina* острова изобилуют эволюционными причудами. На Кубе, к примеру, есть свои природные особенности. К сожалению, сова, которая была ростом с первоклашку и могла съесть детеныша гигантского ленивца, исчезла (так же, как и ленивцы, один из видов которых был размером с гориллу). Но остров остается родиной колибри, птички величиной со шмеля; щелезуба, древнего млекопитающего, сошедшего прямо со страниц книг доктора Сьюза.

²² На самом деле существуют пять близко родственных и очень похожих видов киви, и все они обитают в Новой Зеландии.

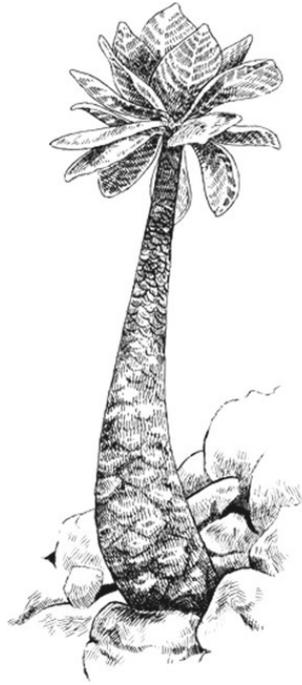
²³ Или, по крайней мере, изобиловала. К сожалению, многие из этих птиц – включая моа, адзевила и огромного орла, – были истреблены в течение последнего тысячелетия, по большей части, в результате охоты на них и разрушения экосистемы.



Щелезуб

У него ядовитая слюна и длинный, гибкий усатый нос. А еще там живут похожие на морских свинок животные размером с бигля, которые лазают по деревьям и оставляют повсюду зеленые, похожие по форме на бананы экскременты.

Даже на крошечных островах есть свои особенные диковины. Остров Лорд-Хоуи площадью пять с половиной квадратных мили, лежащий полумесяцем в Тасмановом море, является родиной шестидюймовых черных «древесных крабов», которые, несмотря на свое название, представляют собой крупных, громоздких представителей семейства палочников. Соломоновы острова, расположенные в южной части Тихого океана, приютили у себя ящерицу, имитирующую поведение обезьяны. Это цепкохвостый сцинк, блестящая, стройная ящерица длиной два с половиной фута с цепким хвостом, которым она страхуется, исследуя кроны деревьев в поисках плодов. Остров Святой Елены, расположенный в южной части Атлантического океана, в первую очередь, известен тем, что там в изгнании жил Наполеон. А несколько десятилетий назад ученые обнаружили на этом острове гигантскую, длиной три с половиной дюйма, ухорвертку – блестящее черное насекомое с клещами длиной в дюйм, украшающими задний конец ее тела, которое отдаленно напоминает существо из фильма «Звездный путь». И, конечно же, все слышали о дронте, обитавшем когда-то на острове Маврикий в Индийском океане, – бескрылом, бесстрашном, поедающем фрукты попугае размером с индюка ростом в три фута и весом в сорок фунтов.



Гавайское растение алула

Однако лидером среди маленьких островов по количеству эволюционных диковинок являются Гавайские острова.

Здесь вы встретите равнокрылых стрекоз, личинки которых живут не в воде, а на суше; прожорливых плотоядных гусениц; плодовых мушек, отказавшихся от своей привычной фруктовой диеты ради гниющей листвы, и другие виды плодовых мушек с головой в форме молота, которые защищают свои территории подобно толсторогим баранам.

Растительный мир Гавайев не менее экстравагантен. И возглавляет список гавайская пальма алула, которая напоминает кеглю, увенчанную салатом-латуком (еще одно ее альтернативное название – «капуста на палке»). Это горное растение высотой в три фута, непохожее ни на одно другое растение в мире^[42], как сказал один прославленный ботаник, живет в расщелинах северных склонов островов Кауаи и Молокаи. Благодаря его округлой нижней части растение легко подхватывается сильными океанскими ветрами, а жесткие мясистые листья хорошо приспособлены для сухого и соленого воздуха, в котором обитает растение.

А еще вспомним про Мадагаскар, который иногда называют восьмым материком за специфичность его флоры и фауны. Мы уже обсуждали лягушек и птиц этого острова. Но в этом списке есть и другие необычные виды: карликовый бегемот; адаптивная радиация лемурув, включающая особь весом в семьдесят пять фунтов, которая, вероятно, свешивалась вниз головой, как ленивец. Еще один вид, который выглядел как очень крупная коала²⁴; египетская цапля высотой десять футов и весом в полтонны (самые тяжелые птицы из всех когда-либо живущих); хамелеон, который высовывает свой липкий язык на расстояние, в два раза превышающее длину его тела, чтобы захватывать им ни о чем не подозревающее насекомое; ископаемые лягушки размером с большую пиццу; крокодилы-вегетарианцы; жук с длинной шеей.

По своей необычности растения Мадагаскара ни в чем не уступают животным. Например, сухие леса, состоящие из высоких тонких стеблей с выступом на верхушке, или толстый приземистый баобаб, который выглядит так, словно его воткнули в землю вниз головой, и корни торчат сверху. Объединяет животный и растительный мир орхидея с длинной тридцатисанти-

²⁴ И те, и другие были истреблены первыми поселенцами Мадагаскара в течение последних двух тысячелетий, как и все остальные крупные лемуры.

метровой трубкой в основании цветка и опыляющий ее мотылек с хоботком такой же длины, который в несколько раз превышает длину его тела: он специально приспособлен для того, чтобы втыкаться в трубку и дотягиваться до находящегося на дне нектара²⁵.

И, наконец, в нашем списке – далеко не окончательном – удивительные виды Австралии: утконос, кенгуру и коала, подобных которым нет нигде в мире.

* * *

О чем же говорят все эти островные диковины? Острова позволяют нам краешком глаза взглянуть на эволюционно альтернативные миры, те миры, которые имели бы право на существование, если бы жизнь приняла иной оборот. Что если бы млекопитающие исчезли с лица земли в конце мелового периода вместе с динозаврами? Новая Зеландия дает намек на то, что могло бы быть. Куда бы привела эволюция приматов, если бы обезьяны и приматы не стали активно развиваться? Достаточно взглянуть на многообразие лемуров, обитающих не где-нибудь, а на Мадагаскаре.

Острова – это гигантская поваренная книга эволюции. И получившееся в итоге «варено» говорит нам о том, что невозможно предсказать, что именно выйдет из печи. Измените ингредиенты или порядок их добавления, подбавьте огня, уберите какой-то продукт, положите одну щепотку соли вместо двух, и вкус получившегося блюда окажется другим. Даже когда используешь один и тот же рецепт, кажущиеся безобидными действия вроде замены одного сорта муки другим или готовки на кухне соседа, а не на своей, могут дать совсем иной результат. Островная поваренная книга изобилует историями вероятностей и случайностей, и многообразие получившихся результатов свидетельствует о том, что предсказать эволюцию кого-то или чего-то на отдельно взятом острове очень сложно.

Нужно просто отправиться туда и убедиться самому, и быть готовым найти практически все.

Конечно, единичные случаи эволюции встречаются не только на островах. Природный мир полон причудливых растений и животных, не имеющих эволюционных параллелей. Возьмем для примера слона: какое еще животное пользуется своим носом, чтобы поднимать с земли предметы, посыпать себя пылью и нежно ласкать члена своей семьи? Или рыба-брызгун, чья система зрения и строение рта позволяют ей точно выстреливать струей воды, способной сбить сидящее на ветке насекомое. Однако в нападениях с дальнего расстояния непревзойденными мастерами являются пауки болас, выпускающие длинную шелковую нить с липким комочком на конце, которую они накидывают на свою жертву, как гаучо. Этот шарик приклеивается к любому несчастному мотыльку, в которого он попадет. А теперь перейдем от охотничьей к репродуктивной тактике. Самцы рыбы-удильщика значительно меньше самок. Когда самец кусает самку, он выделяет фермент, срачивая свои губы с ее кожей и сливая их тела в единое целое. В конечном итоге, все остальное тело самца исчезает, оставляя только яички для выполнения главной цели. Ну и, конечно, животные с крупным мозгом, использующие орудия, – двуногие. Биосфера насыщена видами, которые смогли уникальным способом адаптироваться к своему образу жизни.

КОНВЕЙ МОРРИС И ЕГО КОЛЛЕГИ составили длинные списки примеров конвергенции. Но с той же легкостью можно составить сравнительные перечни видов, не имеющих двойников. Нам вполне понятен процесс конвергенции, когда виды адаптируются к похожим обсто-

²⁵ Этот мотылек прославился в кругу эволюционных биологов, потому что Дарвин предсказал его существование, изучив строение орхидеи.

ятельницам одинаковым способом. Но что же такого особенного в единичных эволюционных случаях? Почему у других видов не развились похожие адаптивные свойства?

Одной из гипотез является то, что эти виды появлялись в уникальном природном окружении. Может быть, они не имели аналогов потому, что никакие другие виды не оказывались в подобных условиях. Возможно, такое объяснение применимо к коалам. Весь образ жизни этих животных связан с обитанием на эвкалиптовых деревьях и поеданием ими листьев, насыщенных ядовитыми составляющими.

Как результат пищеварительная система коал исключительно длинная, обеспечивающая достаточное количество времени для процесса детоксикации и усвоения питательных веществ. Медленное переваривание пищи в сочетании с низкой калорийностью листьев означает, что коалы не жируют, а потому они минимизируют трату энергии, проводя большую часть дня в сонном состоянии. Эвкалиптовые деревья растут только в Австралии, так, может быть, единичность вида коал отражает уникальность их окружения.

Но я подозреваю, что в большинстве случаев не это является объяснением. Утконосы встречаются в реках и озерах Австралии на востоке, где они питаются раками и другими видами водных беспозвоночных, которых они отыскивают, копая речное дно и чуя добычу с помощью электрорецепторов, расположенных на клюве.

Образ жизни утконоса таков, что он вполне возможен во многих других местах помимо Австралии. Речки, в которых они обитают, очень похожи на тот ручей, что протекал за домом моего друга детства в Сент-Луисе. Конечно, в Северной Америке полно кишасих раками речек, многие из которых протекают в тех местах, где климатические условия схожи со средой обитания утконосов. И живущие в них хищники явно не опаснее тех, что обитают в австралийских водоемах. Так где же тогда двойник нашего утконоса?

Почему никого, похожего на утконоса, не появилось в любом другом месте?

Или на кенгуру, или на любое другое животное из перечисленного мной списка, каждое из которых обитает в той среде, которая встречается в других регионах?

Другим объяснением единичных случаев эволюции является то, что естественный отбор либо не такой предсказуемый, либо не такой сильный, как полагают некоторые. То есть даже когда виды находятся в похожих условиях, их развитие может пойти разным путем.

Главной причиной отсутствия конвергенции может быть наличие не одного, а нескольких способов адаптироваться к проблеме, поставленной окружающей средой. Вспомните, как плавают позвоночные животные. Многие используют хвост в качестве опоры, но не все хвосты одинаковы. Рыбы вертикально приплюснуты и двигаются взад-вперед. Крокодилы плавают так же. Но хвосты китов приплюснуты горизонтально и двигаются вверх-вниз. Другие животные, такие как угри и морские змеи, совершают волнообразные движения всем телом. Отдельные виды птиц, например, бакланы и гагары, способны быстро передвигаться под водой, яростно работая перепончатыми лапами. С другой стороны, некоторые виды плавают, используя видоизмененные передние конечности, такие как ласты у морских львов и крылья у пингинов. Однако самыми удивительными пловцами являются ленивцы, чьи длинные передние конечности развились у них для долгого свисания вниз головой. Они способны отдаленно имитировать австралийский кроль. Беспозвоночные демонстрируют еще больше способов быстрого перемещения в воде, например, реактивное движение осьминогов и кальмаров.

Этот список различных способов движения в водной среде рождает очевидный вопрос: насколько похожими должны быть признаки двух видов, чтобы считаться конвергентными? У кальмаров и дельфинов очень разное строение тела, помогающее им быстро передвигаться в воде, Тут даже нет сомнений, что они не конвергентны друг другу. Лопастное движение лапами

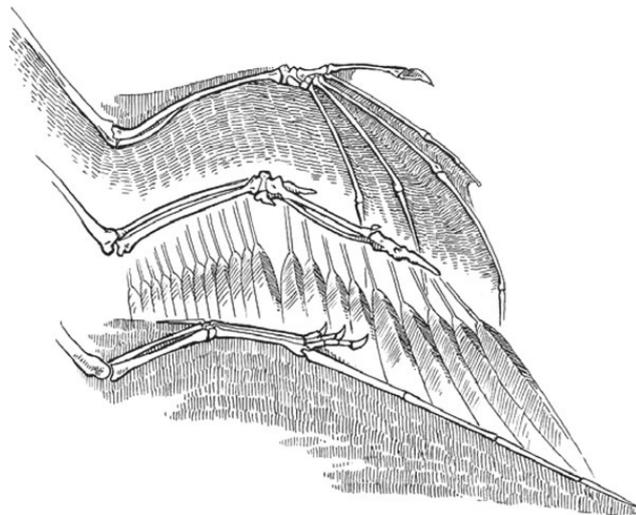
некоторых водных птиц – это еще один неконвергентный способ быстрого перемещения под водой.

Однако другие примеры не настолько однозначны. Допустим, хвостовой плавник у китов и акул похож по внешнему виду и функционированию, но один плавник горизонтальный и двигается вверх-вниз, а другой вертикальный и изгибается вправо-влево. Являются ли эти свойства легкими вариациями на тему конвергенции или же неконвергентными решениями с функционально похожим результатом? Я подозреваю, что большинство людей сочтет горизонтальные и вертикальные хвостовые плавники, по сути, одинаковым решением.

Давайте сейчас вернемся немного назад, к тому признаку, что дает функционально похожий результат, но обнаруживает чуть большие анатомические различия.

Способность летать эволюционировала у позвоночных трижды: у летучих мышей, птиц и птерозавров (крупных рептилий, покоровших небо в эпоху динозавров). У всех трех видов передние конечности трансформировались в крылья, и они летают (в случае с птерозаврами – они летали), по сути, одинаково: взмахивают легкими крыльями, обеспечивая движение вверх и выбрасывание тела вперед.

Но при более внимательном изучении выясняется, что крылья этих летающих позвоночных устроены совсем по-разному. Самым очевидным отличием является сама аэродинамическая поверхность. Птицы используют перья, растущие из костей их крыльев. В противоположность им крыло летучих мышей и птерозавров состоит из тонкой, но очень крепкой кожи, натянутой между костями пальцев и туловищем, а в некоторых случаях крепится даже к задним конечностям. Строение скелета крыльев у этих трех групп летунов также заметно отличается.



У летучих мышей (сверху), птиц (посередине) и птерозавров (внизу) крылья развились за счет удлинения различных частей передних конечностей. Кроме того, поверхность крыла у летучих мышей и птерозавров состоит из кожи, в то время как птицы пользуются перьями.

Итак, можно ли считать трансформировавшиеся в крылья предплечья птиц, летучих мышей и птерозавров конвергентными адаптациями для управляемого полета, которые только сконструированы разным образом? Или они представляют собой альтернативный, неконвергентный способ эволюции управляемого полета?

Еще один пример. Самой крупной рыбой в океане является шестидесятифутовая китовая акула, названная так потому, что она очень похожа на гладкого кита. Она также является фильтратором, заглатывая своим массивным ртом огромные объемы воды и отфильтровывая крошечный корм. Но на этом сходства заканчиваются. Гладкие киты – голубой, горбатый, серый и

другие – процеживают свою добычу, выталкивая воду сквозь жесткие пластинки напоминающих расческу китовых усов, которые образуют завесу, свешиваясь с верхней челюсти. Любые чуть более крупные частицы корма застревают на внутренней поверхности усовой завесы и затем проглатываются. В отличие от них китовые акулы фильтруют свою пищу совсем по-другому. Вода у них выталкивается через жаберные мешки, расположенные с двух сторон на затылке. Фильтрующие подушечки, состоящие из хрящей, размещены в жаберных мешках таким образом, что вода проталкивается между подушечек, проходит через мешки и стекает в океан, а частички пищи продолжают двигаться в противоположном направлении, формируя в глотке массу, которая затем проглатывается. Таким образом, и гладкие киты, и китовые акулы – это крупные морские животные, которые пользуются своим огромным ртом, чтобы набирать воду и отфильтровывать мелкую добычу. Но в то же время сама структура, осуществляющая данную фильтрацию, сконструирована, расположена и функционирует по-разному. Являются ли эти адаптации к фильтрованию пищи конвергентными или неконвергентными?

Где проходит та граница, отделяющая конвергенцию и неконвергенцию, если мы сравниваем структуры в целом похожие и стремящиеся к одинаковому функциональному преимуществу, вопрос субъективный. Я склонен считать крылья птиц, летучих мышей и птерозавров конвергентными друг другу. Точно так же я считаю гладких китов и китовых акул в целом конвергентными, потому что и у тех, и у других крупная ротовая полость, и они отфильтровывают планктон. Но, по моему мнению, их фильтрующие структуры – это неконвергентные, альтернативные адаптации для фильтрации пищи.

Но, на самом деле, в подобных случаях не существует правильного или неправильного ответа.

Тем не менее в других случаях виды способны адаптироваться, развивая явно отличные, неконвергентные фенотипы, обеспечивающие те же самые функциональные способности. Мой любимый пример данного феномена связан с подземным образом жизни грызунов. Свыше двухсот пятидесяти видов крыс проводят большую часть своей жизни под землей, перемещаясь по построенным ими тоннелям. У грызунов подобная модель поведения эволюционировала неоднократно, но совершалось все разными путями. Большинство грызунов роют землю стандартным способом, рыхля ее передними конечностями и отбрасывая назад. Передние конечности у подобного вида крепкие и очень мускулистые, а когти длинные и сильные. Другие виды пользуются зубами, а не когтями, откапывая землю. Как можно догадаться, зубы у этих животных длинные и выступающие, даже по стандартам грызунов, а челюстные мышцы и череп массивные и прочные. Большинство «зубных» копальщиков отбрасывают землю назад передними конечностями. Но некоторые виды плотно утрамбовывают откопанную землю в стену тоннеля, толкая землю вверх своими удлинненными, похожими на лопаты носами. Анатомические различия этих копальщиков четко иллюстрируют неконвергентные адаптации, которые дают функционально одинаковый результат.

Неконвергенция может возникнуть и по другой причине. Зачастую существуют разные функциональные способы адаптироваться к окружающим условиям. Для примера рассмотрим, как потенциальная жертва может адаптироваться к присутствию рядом такого хищника, как лев. Один из вариантов – развить у себя превосходные спринтерские способности, чтобы легко убежать от них. Но существуют и другие альтернативы, такие как маскировка, пассивная или активная защита. Получившиеся в итоге способы адаптации будут решительно неконвергентны друг другу, так как к ним относятся рога африканского буйвола, панцири панголина и черепахи, длинные ноги импалы, иголки дикобраза, яд и точность броска ошейниковой кобры и пестрая шкура бушбока.

Множественные решения одинаковой селективной проблемы не ограничиваются вопросами защиты. Гепарды и гиеновидные собаки охотятся на одинаковых животных, но кошки осуществляют это короткими и быстрыми рывками, в то время как гиеновидные собаки бегают

медленнее, но дольше, лишая свою жертву сил и, в конечном итоге, сбивая ее. Соответственно, адаптации двух этих животных отличаются: очень длинные лапы и гибкая спина гепарда позволяют ему развивать скорость до семидесяти миль в час. А высокая выносливость гиеновидных собак помогает им сохранять стабильный темп в тридцать миль в час в течение достаточно продолжительного времени, чтобы измотать свою жертву (гепарды же способны лишь на короткие спринтерские дистанции).

Или рассмотрим, к примеру, способы адаптации животных к добыче нектара. Мы знаем, что растения вырабатывают сладко пахнущую сахаристую жидкость, чтобы приманивать насекомых, птиц и других животных для того, чтобы помочь им осуществить свой репродуктивный процесс. Когда животное засовывает морду или все тело в цветок, чтобы глотнуть нектара, оно покрывается пылью. Когда оно переходит к другому цветку, часть пыли слетает и оплодотворяет семязачаток растения.

У многих цветов имеются очень длинные трубки с нектаром на дне: так растение может ограничить доступ к пыльце до одного или нескольких определенных видов, хорошо адаптировавшихся к использованию этого растения, таких как мотыльки с их длинными хоботками и колибри с похожими клювами и языками. В силу своей адаптации подобные виды, вероятно, не пользуются многими другими видами цветов, сводя к минимуму вероятность того, что пыльца попадет на растение другого вида и будет зря израсходована.

Но не все нектароядные играют по правилам. Некоторые виды насекомых, птиц и млекопитающих выедают отверстие в основании цветка, обходя лепестки и пыльцу и, таким образом, не доводя до завершения эту совместную эволюционную сделку. Чтобы проделать подобное, воронки нектара овладели самыми разными способами адаптации. У них нет длинных языков и специальных приспособлений, чтобы добраться до дна трубок растения, но зато у данных видов благодаря возникшим адаптивным свойствам развилась способность разрывать стенку цветка.

У некоторых колибри на клювах имеются зазубрины специально для этой цели. У птиц, названных соответственно – крючкоклювы, – имеется острый крючок на кончике, чтобы разрезать цветок.

Во всех этих многочисленных примерах мы видим, что существуют разные эволюционные варианты, формирующиеся в ответ на поставленную окружающей средой проблему. Но сам факт наличия массы возможностей вовсе не означает, что все или хотя бы несколько таких возможностей смогут развиваться. Конвей Моррис и команда утверждают, что один такой возможный вариант будет превосходить другие. Вот почему похожий признак эволюционирует конвергентно, снова и снова. И все же конвергенция возникает не всегда. Почему бы естественному отбору не проталкивать каждый раз один и тот же признак?

Бывает так, что два (или больше) признаков эквивалентны. Маскировка или побег на большой скорости помогут одинаково успешно избежать хищников. Или, может быть, один подход эффективнее другого для какой-то конкретной цели, но при иных затратах, которые уравнивают его преимущество. Стремительно нестись прочь от хищника – возможно, и лучший способ спастись, но маскировка может усилить способность такого животного, как змея, подкарауливать собственную жертву. Когда речь идет о выживании и сохранении потомства, то тех животных, которые замаскированы, может ждать такой же успех, как и тех, которые полагаются на скорость в процессе репродукции и передачи своих генов следующему поколению. В результате естественный отбор не обязательно отдаст предпочтение тому или другому варианту. То, какой признак разовьется, может стать делом случая, благодаря которому мутация происходит сначала у популяции, которая становится объектом нападения хищников.

Или же, как вариант, то, какой признак разовьется, может быть контингентно изначальному фенотипу и генотипу вида. Вид, который был в целом активен, может быть предрасположен к развитию у него тех признаков, которые обеспечивают большую скорость, при условии,

что он сталкивается с новым хищником, в то время как у более оседлого вида может развиваться лучший способ маскировки. Ни один из вариантов не превосходит другой, но эволюционный итог может сильно зависеть от первоначальных условий.

Может быть и так, что одно решение действительно превосходит другое, но в некоторых случаях легче выработать приближенное к оптимальному решение. Французский ученый Франсуа Жакоб^[43], получивший Нобелевскую премию за свое исследование работы ДНК, предложил аналогию, объясняющую, почему естественный отбор не всегда приводит к эволюции идеально созданного организма. Естественный отбор, говорил Жакоб, это не инженер, который вырабатывает оптимальное решение проблемы. В данном случае, продолжал он, лучше представить себе умельца-самоучку, мастера на все руки, который использует любые доступные материалы, чтобы изготовить любой приемлемый вариант – не лучшее, а наиболее достижимое в данных обстоятельствах решение.

Теперь представьте себе вид птиц, который оказывается в местности с озером, кишачим рыбой. Они могут начать нырять в воду за рыбой, а со временем начать адаптироваться к водной среде: у птиц начнут формироваться крупные и мощные задние лапы, как у баклана, или трансформироваться крылья, как у пингвинов. Предположим, что самый лучший способ быстро и проворно плавать – это задействовать в воде сильный и мускулистый хвост, двигая им взад-вперед или вверх-вниз, именно это делают самые быстрые пловцы. Но у птиц нет длинных хвостов: они потеряли их ранее в процессе своей эволюционной истории, более сотни миллионов лет назад, сохранив лишь крошечные остатки сплавленных костей («хвосты» птиц состоят только из перьев, а не из костей). Я не говорю, что повторная эволюция длинного хвоста невозможна, но естественный отбор, этот мастерской, вероятно, не пойдет таким путем. У птицы уже есть крылья, и ее лапы способны обеспечить ей необходимый проталкивающий импульс. Гораздо более вероятным выглядит тот вариант, что естественный отбор, скорее, будет способствовать улучшению ее плавательных умений за счет уже существующих структур, чем развивать новую способность с нуля, даже если в конечном итоге переключенная птица с костистым хвостом – что напоминает скрещенные гагары и крокодила – может оказаться лучшим пловцом.

Но, все равно, если птица-крокодил будет лучше адаптирована – станет лучшим и быстрым пловцом, – тогда почему бы плавающей птице не продолжать развиваться в этом направлении? Ответом может быть, что переход от одной адаптивной формы к другой может быть трудным, так как промежуточные условия бывают хуже. Длинный сильный хвост может быть великолепен для быстрого проталкивания тела, но короткий шлепок хвоста может просто помешать движению, фактически уменьшая плавательную результативность. У естественного отбора нет дара предвидения: он не будет отдавать предпочтения негативному свойству только потому, что это ранний шаг на пути, ведущему к лучшему в конечном итоге свойству. Напротив, чтобы определенная черта развилась в ходе естественного отбора, каждый шаг на этом пути должен быть улучшением того, что было раньше: естественный отбор никогда не отдаст предпочтение худшему свойству, даже если это всего лишь переходный эволюционный этап.

Как следствие, виды могут в конечном итоге застрять на уровне близких к оптимальным адаптациям. Какой бы ни была причина, но их предки не выбирали лучшую дорогу к адаптации. Естественный отбор заставлял вид развиваться, и он, в конце концов, приспособливался, но не так хорошо, как мог бы. Такой ход рассуждений подчеркивает роль, которую может играть контингентность в определении направления эволюции и в том, почему в результате виды могут пойти разными путями, столкнувшись с идентичными природными условиями. Различия видов в их родовом генотипе и фенотипе или в том, какая мутация произойдет первой, могут заставить виды адаптироваться по-разному и даже иногда привести к ухудшенным адаптациям.

ПО ТОЙ ЖЕ САМОЙ ЛОГИКЕ можно ожидать, что чем больше похожи два родственных вида, тем вероятнее, что они будут развиваться похожим образом, когда столкнутся с одинаковыми избирательными условиями. Именно это и происходит. И нет никакого совпадения в том, что лучшие примеры повторяющейся конвергенции можно найти среди близкородственных видов. У ящериц анолисов один и тот же набор представителей рода развивался четыре раза, и при этом ни один другой тип островной ящерицы не конвергировал с анолисами. Два практически идентичных вида носатой энгидрины относятся к одному роду.

Приклеивающиеся подушечки пальцев у геккона эволюционировали одиннадцать раз и всего лишь два раза среди более шести тысяч других видов ящериц. Не все случаи конвергенции^[44] охватывают ближайших эволюционных родственников, но недавний статистический анализ подтвердил, что конвергенция больше распространена среди схожих видов.

Близкородственный эффект особенно очевиден при сравнении популяций одного и того же вида, который часто повторно развивает один и тот же признак, сталкиваясь с похожими условиями обитания. В первой главе я привел много примеров: мыши в песчаных дюнах, пещерные рыбы, ядовитые тритоны и их хищники, подвязочные змеи, люди. И еще один пример.

Трехиглая колюшка^[45] – это маленькая рыбка, обычно около двух дюймов в длину, которая обитает в прибрежных водах северной части Северного полушария. Самой отличительной характеристикой этой тонкой рыбки, как можно догадаться по ее названию, являются три длинных иглы, расположенные в ряд вдоль хребта перед спинным плавником. А снизу, там, где должен быть брюшной плавник, находится еще одна игла.

Вероятно, хищники представляют серьезную угрозу для этих обитателей океана, потому что кроме того, что эти иглы могут вставать дыбом, бока рыбы защищены броней в виде костистых щитков. У некоторых особей их количество достигает сорока штук.

Во время последнего ледникового периода большая часть Северного полушария была скрыта ледниками. Когда примерно десять тысяч лет назад лед растаял, в океан стекли новые потоки рек. Как и лосось, колюшка размножается в пресной воде, и местные популяции быстро использовали преимущества этих новых мест для нереста.

Но потом ландшафт снова изменился. Когда толща льда высотой в милю накапливается на земле, то поверхность прогибается под его весом. Но как только лед исчезает, земля медленно возвращается в исходное положение. И когда подобное произошло на территории нынешней Канады, часть водных потоков оказалась отрезанной от океана, в результате чего образовались озера. В итоге в этих озерах осталась бывшая ранее морской колюшка.

Подобный процесс происходил с бесчисленными тысячами рек, ручьев и протоков, в особенности вдоль западного побережья Северной Америки. Эти водоемы были в геологическом отношении новыми образованиями, недостаточно заселенными: лишь несколько других видов океанической рыбы составили компанию колюшке. Как итог эти новые озерные популяции оказались в абсолютно новых для себя условиях обитания там, где практически отсутствовали хищные рыбы.

Как следствие этого, популяции озерной колюшки, каждая из которых была изолирована в своей собственной «лоханке» и эволюционировала независимо от других, менялись параллельно. Зачем терять энергию и ресурсы, строя защиту против несуществующих хищников? Популяции конвергентно потеряли большую часть своей брони, и их иголки усохли. Генетические исследования показали, что эта параллельная эволюция затронула геном. Во всех озерных популяциях одинаковые генетические изменения воздействовали на эволюцию брони и иглок.

Распространенность конвергенции среди близкородственных популяций и видов вполне понятна. Близкие родственники, как правило, похожи генетически, так что естественный

отбор, вероятней всего, будет задействовать одинаковые генетические системы. Более того, родственники чаще похожи во многих фенотипических признаках.

Из-за этих похожестей близкородственные виды и популяции имеют одинаковые эволюционные предрасположенности, которые с большой долей вероятности будут развиваться так, а не иначе. Некоторые эволюционные биологи считают эти предрасположенности привязками или эволюционными тенденциями, которые могут действовать несколькими разными способами. Самый очевидный – это генетическая похожесть близких родственников, но при этом могут возникнуть более незаметные качества. Эволюционировавший у предка признак может мешать каким-то эволюционным вариантам, в результате чего развитие среди потомков данного вида произойдет ограниченным количеством других способов. Либо же предок сможет развить у себя признак, который проложит путь для эволюции второго признака.

Подобное потенцирование, как называют сейчас данный феномен молекулярные биологи, будет обладать таким эффектом, что у всех близкородственных видов разовьется второй признак, тот, который вряд ли возникнет у вида, произошедшего не от этого предка.

На основе всех этих факторов родственные виды, вероятней всего, конвергентно разовьют одинаковые качества, столкнувшись с похожими селективными требованиями. Но это вовсе не означает, что дальние родственники не могут конвергировать. Это, конечно же, происходит, только менее часто.

СЕЙЧАС САМОЕ ВРЕМЯ ненадолго отклониться от темы и подчеркнуть, что конвергенция не обязательно отражает адаптацию к одинаковым обстоятельствам или вообще является результатом адаптации. Причина в том, что естественный отбор – не единственный процесс, заставляющий признаки эволюционировать. Периодически характерные черты эволюционируют случайным образом, в частности, в маленьких популяциях. Признак также может развиваться, потому что генетически он связан с другим признаком, который предпочел естественный отбор, или как результат устойчивой миграции из другой популяции. Как следствие, конвергентная эволюция может происходить по случайному совпадению, если у двух популяций развились одинаковые свойства, не связанные с адаптацией. Подобная неадаптивная конвергенция может быть наиболее преобладающей среди родственных популяций или видов из-за их общих эволюционных предрасположенностей.

Примером здесь могут служить пальцы саламандры. У большинства саламандр конвергентно эволюционировали пальцы: их четыре вместо стандартного наследственного комплекта из пяти пальцев. Количество пальцев^[46] у взрослой саламандры определяется тем, сколько клеток участвует в процессе формирования конечностей на стадии эмбрионального развития. Все, что сокращает число клеток в зачатке конечности – например, увеличение размера клетки или общее уменьшение размера тела, – может привести к сокращению количества пальцев. У нас нет доказательств, что подобное конвергентное эволюционное сокращение было вызвано естественным отбором: четырехпалые виды не появляются в каких-то определенных средах обитания, и нет никакого преимущества в том, чтобы иметь меньше пальцев (насколько нам известно).

Наиболее вероятное объяснение заключается в том, что уменьшение количества пальцев происходило конвергентно по причинам, не связанным с адаптацией. Возможно, у отдельных видов произвольно развились более крупные клетки, а другие были выбраны за маленький размер тела.

В идеале нам следует напрямую проверить гипотезу о том, что естественный отбор направлял конвергенцию^[47]. Соответствующие данные можно получить с помощью прямой оценки естественного отбора, детального анализа преимуществ, которые дает признак, если таковые есть, и знания эволюционной истории вида. Даже простое наблюдение, что признак эволюционировал неоднократно в похожих условиях окружения, наталкивает на мысль об

адаптационной подоплке: связь между развитием свойства и окружением не прослеживалась бы без вовлечения естественного отбора. Но, к сожалению, иногда у нас нет никакой соответствующей информации.

Возьмем для примера тираннозавра рекса. Каким бы устрашающим и грозным ни был этот деспотический властелин, у него имелся один недостаток: его лапы. Худосочные, с двумя пальцами: своими передними конечностями он не мог дотянуться даже до собственного рта. Ученые выдвигали самые разные предположения, одно безумнее другого. Может быть, суперхищник ел в такой безумной спешке, что его лапы укоротились в процессе эволюции, чтобы он случайно не откусил их и не съел. Возможно, маленькими конечностями было удобно оттапливаться от земли, чтобы встать после сна. А может быть, самцу тираннозавра более короткие конечности нужны были для того, чтобы щекотать своего партнера. Нет нужды говорить, что ни одна из этих идей не получила поддержки.

Недавно палеонтологи обнаружили новый вид тероподов, *Gualicho shinyae*, у которого было похожее слабое место в виде двухпальцевых отростков. И хотя мы не знаем истинной причины, почему этот признак развился у обоих видов, один из авторов статьи говорит: «Очевидно, имело место некое адаптивное преимущество^[48], потому что мы обнаруживаем данный признак множество раз у разных видов тероподов».

Но, может быть, это не столь ясно. Конвергентная эволюция совсем не обязательно доказывает, что общий признак является результатом естественного отбора. Возможно, у тираннозавра рекса и *Gualicho shinyae* случайно развились уменьшенные передние конечности.

Если бы мы знали, почему эволюционировали маленькие конечности с двумя пальцами, какое преимущество они давали или почему естественный отбор благоволил им, у нас было бы основание считать, что конвергенция была адаптивной. Но в отсутствии каких-либо данных мы не можем просто допустить, что причиной является естественный отбор.

В ЗАКЛЮЧЕНИЕ хочу привести последний пример исследования, который демонстрирует несколько разных путей к эволюционной неконвергенции. Данный пример касается видов, которые питаются личинками насекомых, живущих в дереве. Всем знаком перестук, когда дятел долбит отверстие в стволе дерева, нанося удары со скоростью до двадцати ударов в секунду. Но чего многие не знают, так это того, как дятел вытягивает личинку из дерева. А делает он это, вставляя свой длинный колючий язык – такой длинный, что когда он им не пользуется, язык лежит в свернутом виде сзади в черепной полости – глубоко в отверстие, цепляя свою добычу колючками и вытаскивая ее.

Это, несомненно, весьма искусный трюк, но оказывается, что представители семейства дятловых не имеют монополии на такое добывание личинок. Дятлы распространены практически по всему свету, но они не смогли пересечь океан, а потому их нет в Австралии и на большинстве островов. В их отсутствие другие виды эволюционировали и заняли нишу охотников на древесных личинок, но никто не делал это так, как дятлы. В данном случае вместо конвергенции мы наблюдаем набор различных решений проблемы извлечения насекомых из дерева.

На Гавайских островах обитает серпоклювка, симпатичная птичка с необычным клювом. Голова у самцов желтого цвета, а у самок – оливкового. Следует отметить, что верхняя и нижняя части клюва совершенно разные. Нижняя – короткая, прочная и прямая и используется для выкапывания отверстия, в стиле дятла. Но вместо того, чтобы пользоваться языком для извлечения личинок, «акиаполаау» имеет тонкий и заметно согнутый вниз верхний клюв, который в два раза длиннее нижнего и может проникать глубоко в отверстие, чтобы выудить оттуда личинку.

В Новой Зеландии подобная многогранность не по силам любой птице, а потому гуйя разноклювая пошла другим курсом, поделив задачи между лапами. Самец брал на себя основные дятловские функции: у него крепкий клюв, которым он пользовался для выдалбливания

гниющего дерева в поисках личинок. У самки же обе половинки клюва, похожие на верхний клюв серпоклювки, тонкие и сильно загнуты книзу. Ими она извлекала добычу из глубоких трещин. Какое-то время считалось, что пары птиц действовали, как одна команда: самец бурит, а самка достает. Но это предположение оказалось в итоге неверным прочтением исходного научного отчета. Согласно новой версии, самцы и самки охотились по отдельности. Как это ни прискорбно, но данный вид был истреблен в прошлом веке, так что более детальные исследования уже невозможны.



Разные способы адаптации к поеданию личинок (сверху): разноклювая гуйя, серпоклювка, дятел и дятловый древесный вьюрок.

Пожалуй, самый примечательный способ птичьей адаптации к подобному образу жизни демонстрирует птица с наименее примечательным клювом. У дятлового древесного вьюрка с Галапагоса, представителя семейства дарвиновского вьюрка, абсолютно стандартный несогнутый клюв, ни особо тонкий, ни особо прочный, ни длинный, ни короткий, ни достаточно жесткий, чтобы выстукивать дерево, ни достаточно чувствительный, чтобы прощупывать поверхность. Однако это не играет никакой роли, потому что дятловый древесный вьюрок не пользуется клювом для извлечения добычи. По крайней мере, пользуется не напрямую. Он, подобно шимпанзе, что выуживают термитов из гнезда, держит в клюве веточку правильного размера, засовывая ее в отверстие или трещину и раскачивая, выманивая, прощупывая и разведывая, пока, наконец, не уговорит личинку выбраться наружу, и тогда быстро съедает ее. И точно так же, как шимпанзе (а также как вороны Новой Каледонии и, конечно же, мы), эти вьюрки не используют слепо любые веточки, которые подберут. Скорее, они внимательно выбирают орудие, иногда идеально обстругивая и приспособливая его специально для выполнения конкретной задачи.

Вы, конечно, можете сделать вывод, что выкапывание личинок из деревьев – чисто птичья работа, и ошибетесь. На Мадагаскаре, на этом острове эволюционных чудес, животные, извлекающие личинок из дерева, могут быть самыми диковинными.

Там ниша дятла занята не птицей, а приматом. И каким приматом! Размером с домашнего кота, ведущий ночной образ жизни, ай-ай выглядит, как герой фильма ужасов. Сверкающие желтые глаза, крупные, мягкие, черные кожистые уши на светлой морде, огромный лоб с узким коротким носом, редкая серая шерсть, беспорядочно растущая сверху и сбоку головы, – животное кажется зловещим скрещением Альберта Эйнштейна и Йоды. Но, в отличие от великого физика и мастера джедай, у ай-ай имеется пара огромных, постоянно растущих резцов и свойство, порождающее ночные кошмары и объясняющее веру древних малагасийцев в магические способности этих существ – удлиненный тонкий средний палец, способный вращаться в любом направлении.

То, каким способом ай-ай достает личинку, и вправду поразительно. Он начинает с того, что простукивает ствол дерева своим длинным пальцем. Крупные уши работают, как локаторы, расшифровывающие отражение звука: так животное прислушивается к сигнальной перкуссии пустого внутреннего пространства в дереве. Как только потенциальный тоннель личинки обнаружен, ай-ай задействует свои выступающие вперед резцы, прогрызая ими дерево, чтобы добраться до внутренней пустоты.



Ай-ай

После того, как полость будет открыта, к процессу подключается длинный палец, закручивающийся сначала в одну сторону, а потом в другую до тех пор, пока ноготь не подцепит и не вытянет личинку. Зачем нужен диковинный клюв, когда длинный палец и зубы могут легко проделать эту работу?

Почему естественный отбор предлагал различные решения одной и той же проблемы? По-видимому, личинки насекомых в разных местах разные. И лучшим способом поймать материковых личинок – действовать, как дятел; в то время как галапагосских лучше всего выуживать веточками; а малагасийских проще всего найти приматам с крупными ушами. Мы не можем исключать такой наивной возможности, что у каждого вида развился свой уникальный оптимальный способ ловить местных личинок, но в данном случае более вероятными кажутся два возможных альтернативных объяснения.

Согласно одному сценарию различия эволюционировали случайно. Возможно, у предка дятла случилась мутация, в результате которой сформировался длинный колючий язык, в то время как у прародителя дятлового древесного вьюрка возникло изменение, которое заставила

его подбирать веточки и втыкать их в отверстия. Другими словами, ни один из путей не превосходил другой, и то, какая мутация происходила, было лишь делом случая.

Второй сценарий обусловлен эволюцией: то, как вид реагирует на естественный отбор, зависит от того, как он развивался в прошлом. Возьмем для примера ай-ай, представителя семейства лемуринов. У приматов, как у всех млекопитающих, есть рты, состоящие из костей, кожи, мышц и, как правило, зубов²⁶. Развить жесткий, острый клюв, как у птицы, было бы для млекопитающего настоящим эволюционным подвигом. Это гораздо более трудный генетический процесс, чем видоизменение уже существующих резцов для того, чтобы прогрызть ствол дерева. С другой стороны, у птиц передние конечности трансформировались в пригодные для полета структуры, и им уже недоступны пальцевые кости, работающие как крючки у ай-ай.

ИТАК, К ЧЕМУ ЖЕ МЫ ПРИШЛИ? Является ли конвергенция превалирующим явлением, демонстрацией наследственной структуры в биологическом мире, направляемой предсказуемыми силами естественного отбора к итогам, predetermined условиями окружающей среды? Или же примеры конвергентной эволюции – это исключения, тщательно подобранные иллюстрации биологической предсказуемости в беспорядочном мире, в котором большинство видов не имеют эволюционных параллелей?

Мы можем спорить на эту тему и так и эдак до посинения. Я бы привел в качестве примера утконоса. Но вы бы парировали конвергентными ежами. Я бы обусловил существование уникального, висящего вниз головой ленивца, а вы бы возразили мне, приведя в качестве доказательства ходящую на двух ногах мышшь, эволюционировавшую независимо на трех материках. Вот именно так, по сути, происходил исторический спор с накапливающимися списками и примерами.

Конвей Морриса и его коллег следует похвалить за то, что они сделали актуальной проблему конвергентной эволюции. Все мы знали, что конвергенция – это уловка естествознания, поразительный пример силы естественного отбора. Но Конвей Моррис и компания прояснили тот факт, что эволюционное копирование гораздо более распространенное явление, чем мы себе это представляли. Сейчас мы понимаем, что подобное часто случается в природе, и примеров этого полно вокруг нас. И все же оно далеко не повсеместно. Чаше виды, обитающие в схожих условиях, не адаптируются конвергентным образом.

В этом месте мы должны выйти за рамки описания исторической модели с перечислением дополнительных примеров за и против. Скорее, нам следует задаться вопросом, понимаем ли мы, почему конвергенция происходит в одних случаях, а не в других; как найти ту границу, где конвергенция случается или нет; почему двуногие грызуны эволюционировали независимо в пустынях по всему свету, а кенгуру только один раз. И чтобы сделать это, требуется нечто большее, чем добавление новых примеров к нашим спискам.

Нам нужно проверить гипотезу эволюционного детерминизма напрямую.

На протяжении последнего века экспериментальный подход был стандартным для большинства научных дисциплин, и вполне обоснованно. Аккуратно меняя один параметр и оставляя другие неизменными, мы можем напрямую протестировать причину и следствие. Неэкспериментальные исследования хромают без отсутствия контроля и от того, что любой из многочисленных параметров может быть ответственным за наблюдаемые между объектами исследования различия.

Но эволюционная биология поздно включилась в экспериментальную игру: легендарный медлительный ход эволюции сделал идею экспериментов провальной затеей. Теперь мы знаем,

²⁶ Лишь у нескольких видов млекопитающих, в основном поедающих муравьев и термитов, нет зубов.

что данная точка зрения ошибочна и эволюция способна двигаться очень быстро. И понимание этого открывает новые двери к ее изучению.

Итак, мы перетрясли ящики естествознания, оглядываясь назад, чтобы понять, что возникло в прошлом. Но теперь настало время заглянуть вперед, чтобы использовать силу экспериментального метода для изучения эволюционной роли контингентности и детерминизма.

Часть вторая Эксперименты в дикой природе

Глава четвертая Не особо ледниковый ход развития эволюции

Мало оценен тот факт, что Чарльз Дарвин был великим экспериментатором. В то время, когда данный метод еще только зарождался, Дарвин уже ставил эксперименты, проверяя, смогут ли семена выжить при погружении их в соленую воду (некоторые смогли), как растения тянутся к свету (ключевым фактором здесь является верхушка растения) и реагируют ли черви на музыку (по большей части, нет). Но Дарвин никогда не планировал поставить эксперимент, чтобы проверить свою величайшую идею – теорию эволюции – естественным отбором.

Объяснить эту нестыковку просто: проведение подобного исследования показалось бы тогда бессмысленным. Дарвин полагал, что эволюция происходит со скоростью смены ледниковых периодов, настолько медленно, что ее развитие можно определить лишь по прошествии миллиардов лет. «Мы не увидим никаких из этих медленных изменений в процессе развития, пока стрелка часов не отмерит длинный промежуток в несколько веков», – писал он в своем труде «О происхождении видов». Чтобы увидеть результаты эволюционного эксперимента, потребовались бы тысячи лет – слишком долго, чтобы это было возможно. Насколько мы знаем, Дарвин никогда не размышлял над подобным проектом.

Опыт практической научной работы Дарвина поражает. Он верно определил, как формируются коралловые рифы, какую роль играют черви в насыщении почвы кислородом, и, конечно же, то, что естественный отбор – главный двигатель эволюции.

Поэтому неудивительно, что коллеги Дарвина на протяжении более ста лет верили его словам о том, что эволюция движется со скоростью улитки.

Конечно, во времена Дарвина не было реальной информации относительно скорости эволюции. Никто тогда не изучал популяции в условиях дикой природы, наблюдая за тем, изменились ли они с течением времени и до какой степени. Скорее Дарвин основывал свои взгляды на традиционных знаниях темпа геологических трансформаций и викторианской восприимчивости к соответствующе низкому по меркам современной жизни уровню инноваций.

Однако за последние полвека мы узнали, что Дарвин неправильно понимал данное явление. Будет совершенно неправильно утверждать, что эволюция движется незаметно медленно, иногда она, и даже часто, движется с легкой скоростью. В противоположность тому, как считал Дарвин, естественный отбор может быть очень сильным, и когда это происходит, популяции могут за короткий период претерпеть существенные изменения.

Эта огромная перемена в понимании скорости эволюционных преобразований произошла благодаря разной информации, которая стала доступна в середине прошлого века. Вероятно, решающее значение сыграла ставшая теперь знаменитой история с пяденицей березовой, которая произошла в XIX веке в Англии.

Biston betularia кажется в этом плане совсем непримечательным видом. Маленький, серовато-белый мотылек из тех, что порхают вокруг подъездных фонарей летними ночами. Он получил свое название благодаря черным крапинкам, покрывающим его крылья. Кто бы мог подумать, что такое невзрачное чешуекрылое насекомое станет символом эволюции?

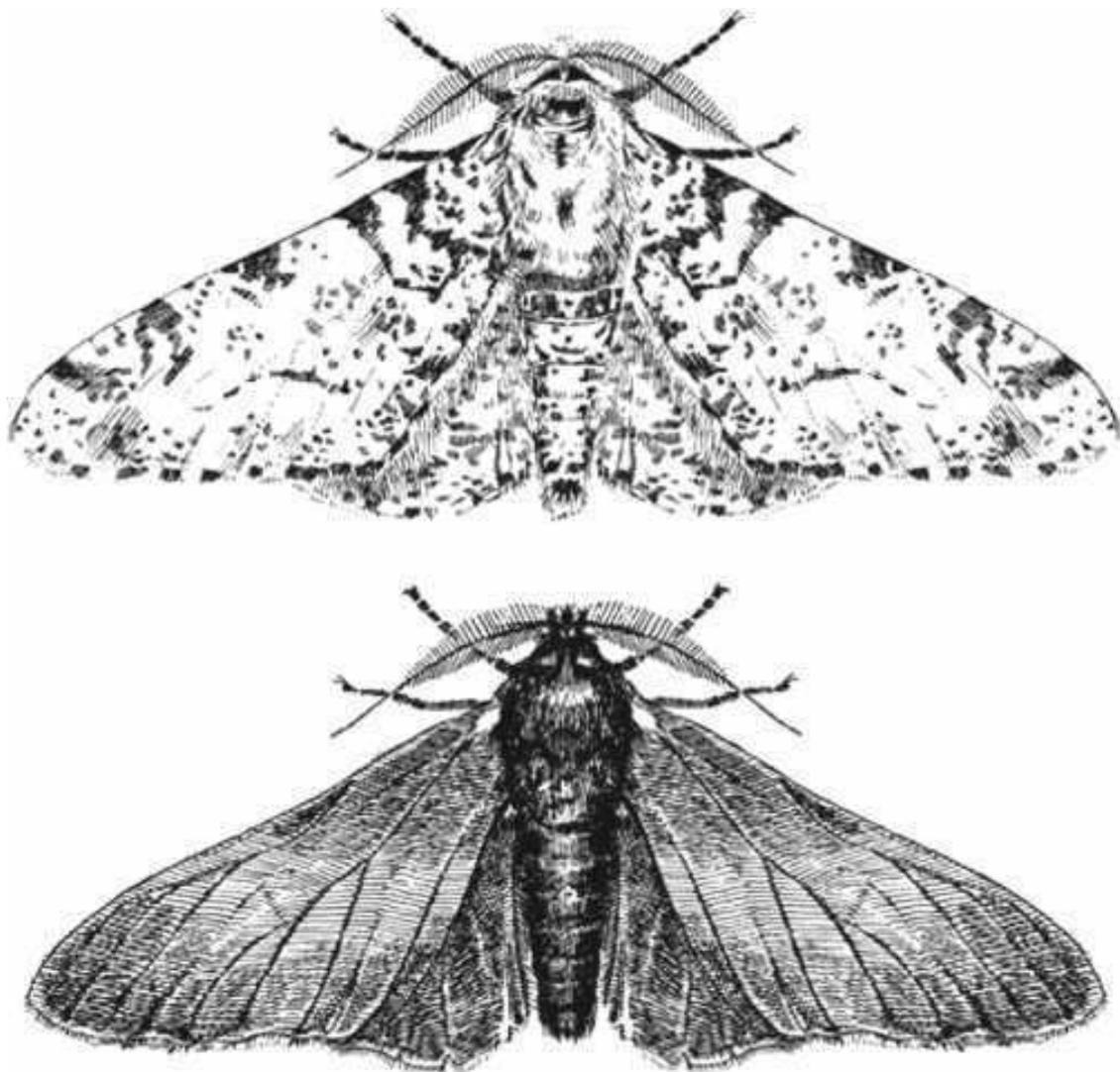
И, тем не менее, это так. Двести лет назад пяденица березовая соответствовала своему названию – серая с черными крапинками. Конечно, периодически возникавшая мутация меняла окрас или узор, но это длилось недолго. Причина проста: пяденица березовая проводит

дни, сидя на деревьях, расправив крылья. А деревья в английских лесах с такими же крапчатыми стволами.

Обычные мотыльки достаточно хорошо сливались с деревом, а мутанты заметно выделялись и были удобной мишенью для голодных и зорких птиц.

В середине XIX века промышленная революция изменила мир не только людей, но и мотыльков тоже. Человеческие перемены были многочисленными и разнообразными, приведя в равной степени к прогрессу и социальным сдвигам. Что касается мотыльков, то здесь итоги были просты: в промышленных центрах и подветренных местностях деревья покрылись черной копотью, которую выбрасывали фабричные трубы. А для светлых мотыльков это стало проблемой. Если изначально они были превосходно замаскированы, то теперь их легко можно было обнаружить на фоне почерневших стволов деревьев.

Есть несколько комичных изображений коллекционера бабочек или мотыльков, особенно XIX века. Представьте себе джентльмена-натуралиста, одетого в мешковатые штаны, шерстяной пиджак и галстук плюс, возможно, очки и шерстяную шапочку. Теперь представьте себе того же джентльмена, бегущего за мотыльком, совершающим волнообразные движения. Человек бешено размахивает сачком и, как правило, промахивается, так как насекомое в последний момент резко уходит вниз или уворачивается.



Пяденица березовая

В те времена коллекционирование бабочек и мотыльков было невероятно популярным занятием: проходили собрания, создавались общества любителей-энтомологов, выпускались информационные бюллетени. И когда обнаруживалось что-то новое, это становилось целым событием. О каждой новой находке исправно сообщалось в таких печатных изданиях, как «Ежемесячный журнал энтомолога» или «Архивы энтомолога». В итоге у нас есть подробно задокументированное описание того, когда и где появился черный окрас мотылька, и как широко и насколько быстро он распространился.

Первые темные мотыльки были пойманы в центральной Англии. Сначала в Манчестере в 1848 году, затем в Йоркшире в 1860 году. Вскоре их обнаружили на севере и на юге, а к концу века и в Лондоне. К началу 1950-х годов мотыльки темного цвета встречались практически по всей Англии. В промышленных районах и подветренной местности популяции мотыльков состояли зачастую почти из одних темных особей.

И хотя ученые изучали процесс распространения черной формы пяденицы березовой с начала XX века, на протяжении долгого времени значимость этой стремительной эволюционной трансформации была недооцененной. Все изменилось, когда Бернард Кетлвелл^[49], британский терапевт, ставший энтомологом, провел ряд ставших уже классическими экспериментов. Кетлвелл выпустил оба вида мотыльков в леса, расположенные в сельских и промышленных районах, а потом вернулся и вновь изловил их столько, сколько смог. Его исследование продемонстрировало⁰¹, что выживаемость темных мотыльков была существенно выше в лесах, находившихся вблизи промышленных зон, где деревья были покрыты сажей. И, наоборот, в более чистых сельских районах типичный серый тип был более удачливым. Дополнительные исследования выявили фактор отбора: помещая мотыльков на разном фоне, Кетлвелл убедился в том, что птицы чаще подбирали мотыльков, выделявшихся на привычном для них фоне.

Данные исследования быстро стали учебным примером того, как происходит в природе процесс естественного отбора.

Экспериментальная демонстрация процесса сильного естественного отбора в сочетании с историческими сведениями о быстром изменении окраса, произошедшем за несколько десятилетий, явно указывали на то, что эволюция, вызванная естественным отбором, может происходить стремительно²⁷.

* * *

Примерно в то же самое время, когда Кетлвелл проводил свои исследования, ученые и простые люди становились очевидцами происходящей вокруг них стремительной эволюции. Пенициллин – «чудодейственное лекарство», которое должно было стать проводником в будущее, свободное от инфекционного заболевания – был впервые массово применен в ходе Второй мировой войны. И почти сразу же у стафилококков (бактерий, вызывающих стафилокок-

²⁷ История с пяденицей березовой требует не одного, а трех примечаний. Во-первых, история расцвета мотыльков темного цвета имеет приятно симметричное продолжение. В 1956 году Англия приняла Закон о чистом воздухе в ответ на случившийся в Лондоне в 1952 году «великий смог». И очень скоро уровень загрязнения воздуха снизился, как и численность темных мотыльков. Сегодня в Великобритании темная форма мотыльков стала нераспространенной, а в некоторых регионах исчезла полностью. Во-вторых, данная история – отличный пример конвергентной эволюции. Пяденица березовая встречается не только в Великобритании, но во всем Северном полушарии, и частота появления темной формы точно так же возросла, а потом упала и в других местах. Данное явление было подробно описано, в частности, в Северной Америке, и хроника событий выглядит практически одинаково. Межконтинентальная конвергенция идет на один шаг дальше: мутация одного гена ответственна за темный окрас мотыльков как в Англии, так и в Соединенных Штатах. И, наконец, в последние годы был предпринят ряд попыток подвергнуть сомнению историю с пяденицей березовой: главными инициаторами здесь являются креационисты. Да, конечно, методы Кетлвелла были достаточно примитивными по современным меркам: за последние шестьдесят лет изучение естественного отбора очень сильно продвинулось вперед. Тем не менее, недавние исследования, проведенные другими учеными, решительно подтверждают открытия Кетлвелла.

ковую инфекцию) развилась сопротивляемость, так что к середине 1950-х годов большая часть преимуществ пенициллина была утрачена.

Впоследствии как только появлялся новый антибиотик, у бактерий быстро развивалась сопротивляемость к нему. Тетрациклин был представлен на рынке в 1950 году, а резистентные бактерии появились девять лет спустя. Эритромицин стал массово доступен в 1953 году, сопротивляемость обнаружена в 1968 году. У метициллина было всего два нерезистентных года после его дебюта в 1960 году. Стремительная эволюция стала заметна широкой публике и стоила многих человеческих жизней.

В то самое время, когда микробы делали антибиотики неэффективными, различные виды вредителей проделывали то же самое с нашими только что созданными пестицидами и гербицидами.

Полевой вьюнок был первым растением, у которого в 1950 году развилась сопротивляемость к гербицидам, и вскоре к нему присоединились многие другие растения, ставшие нечувствительными к нашим химикатам. Некоторым удалось это почти сразу после того, как появились новые гербициды.

То же самое происходило и с сельскохозяйственными вредителями. Препарат ДДТ широко применялся в ходе Второй мировой войны. Первые свидетельства резистентности были обнаружены в начале 1940-х годов, а к началу 1960-х годов резистентность стала широко распространенным явлением. У крыс сопротивляемость к родентициду варфарину развилась в 1958 году, спустя десять лет после того, как препарат появился на рынке. В целом количество насекомых, которые нечувствительны к определенному виду инсектицидов, возросло с семи в 1938 году до четырехсот сорока семи в 1984 году²⁸. Стремительная эволюция стоила миллиардов долларов убытков, а в отдельных регионах привела к голоду и нищете.

ПЯДЕНИЦА БЕРЕЗОВАЯ, МИКРОБЫ, ВРЕДИТЕЛИ. К середине XX века точке зрения Дарвина относительно медленного хода эволюции противостояло уже целое течение. Но здесь таится большая подковырка. Дарвин говорил об эволюции в природном мире. А общность всех только что приведенных примеров в том, что они охватывают виды, адаптировавшиеся в ответ на радикальные изменения условий окружающей среды как результат воздействия человека. И неважно, столкнулись ли они с загрязнением воздуха или с разрушительным действием эффективных химических препаратов. Виды во всех этих примерах оказались пред лицом очень сильных новых воздействий естественного отбора, с которыми они никогда прежде не сталкивались. Более того, эти сильные воздействия, как правило, не были временными. Процесс естественного отбора был мощным и последовательным год от года, совсем непохожим на то, как он, согласно бытовавшему мнению, действовал в природе (не забывайте, что в то время было мало данных полевых исследований).

Начиная с 1920-х годов, генетики своими экспериментами доказывали, что плодовые мушки и другие животные быстро адаптируются, когда оказываются под воздействием сильных и постоянных селективных воздействий в условиях лаборатории.

Похожие типы селекции приводят к возникновению новых пород животных и сельскохозяйственных культур. Пяденицу березовую и резистентных микробов и вредителей можно рассматривать как природный аналог лабораторных и сельскохозяйственных исследований. Благодаря данным исследований в области искусственного отбора (как его называют) мы уже узнали, что когда люди применяют метод постоянной селекции, популяции стремительно адаптируются. Эти новые примеры продемонстрировали, что стремительная эволюция в ответ на похожие воздействия естественного отбора происходит в природе точно так же, как в лаборатории или на ферме.

²⁸ Согласно последним данным (2008 г.) это количество возросло до пятисот пятидесяти трех.

Эта выявленная эквивалентность предполагает, что наблюдаемая стремительная адаптация вовсе не типична для эволюции, происходящей за миллиарды лет. Как утверждалось ранее, в естественных условиях процесс отбора редко бывает таким сильным или последовательным. Согласно представлению Дарвина, в природном мире, не тронутом людьми, эволюция, вероятно, идет гораздо более размеренным темпом. И лишь когда люди нагадят, процесс заметно ускорится.

По иронии судьбы именно изучение птиц, названных в честь Дарвина – галапагосских вьюрков, – стало тем кинжалом, воткнутым в самое сердце идеи об исключительно медленном ходе эволюции. Подобно пяденице березовой, вьюрки Дарвина стали одним из живых примеров эволюции, и не только из-за их названия или истории. По большей части своей известностью они обязаны уникальной сорокалетней исследовательской программе, осуществленной биологами из Принстона Питером и Розмари Грант^[51].

Начиная с 1973 года, Гранты ежегодно проводили несколько месяцев на маленьком, похожем по форме на кратер галапагосском острове Дафни Майор. Их целью было изучить популяцию среднего земляного вьюрка (названного так потому, что есть еще крупные и мелкие его виды) и понять, менялись ли их популяции от поколения к поколению и как, а также попытаться «измерить» естественный отбор, подталкивающий к таким изменениям²⁹.

Чтобы осуществить это, Грантам пришлось ежегодно ловить и измерять всех живущих на острове вьюрков. Только так они могли заметить, меняются ли свойства популяции – вес тела, размер клюва, длина крыла и так далее – от поколения к поколению.

Поймать птицу – процесс более спокойный, чем ловить мотылька или ящерицу. Вместо того, чтобы активно искать добычу и заманивать ее в ловушку каким-то хитроумным способом, будь то сеть или капкан, орнитологи предоставляют птицам возможность ловиться самим. Хитрость заключается в том, чтобы расставить сооружение, которое выглядит как огромная сетка ракетки для бадминтона, только очень тонкая, настолько, что птица часто не замечает ее, пока уже не будет слишком поздно: летит прямо в нее и безнадежно запутывается. Когда это происходило, один из Грантов подходил и осторожно извлекал сопротивляющегося вьюрка, засовывая его в холщовый мешок и относя обратно в лагерь для изучения.

Сам лагерь был небольшой: скальный навес, брезентовые тенты для защиты от солнца и раскладывающиеся стулья. С помощью циркуля Гранты аккуратно измеряли клюв: его длину, ширину и толщину. Затем они проворно расправляли крыло, чтобы записать его длину, а также измерить кости лап. И, в завершение, они завязывали вокруг лап птицы цветные ленточки, снабжая ее своей индивидуальной идентификационной карточкой.

²⁹ На самом деле, изначально это не было их целью, когда они впервые оказались там, но проект быстро трансформировался в долгосрочное исследование естественного отбора и эволюционных изменений.



Средний земляной вьюрок ест крупное семя я корца стелющегося.

Возвращаясь туда каждый год, Гранты смогли наблюдать ход движения эволюционного процесса. Естественный отбор возникает тогда, когда успешное выживание и размножение особи связано с ее фенотипом. Собранные Грантами данные позволили им задаться вопросом, имеет ли он место. Каждый год они вносили в сводную таблицу сведения о том, кто из птиц выжил с предыдущего года, а кто нет. В итоге они провели все фенотипические измерения птиц, так что могли просто соотнести два вида информации: была ли связь между длиной лап птицы или шириной ее клюва и тем, выжила ли она или погибла?

И открытия не заставили долго ждать. Четвертый год их исследовательской программы выдался необычайно сухим. Если в обычный год в сезон дождей там выпадает пять дюймов осадков, то в 1977 году их количество было менее дюйма.

Остров Дафни Майор превратился в высохшую пустошь. Растения засохли. Воды стало еще меньше, чем обычно. Семян – основного питания этих вьюрков – было наперечет. Птицы гибли целыми стаями. Голод и отсутствие воды стали мощным ударом потому, что у голодных птиц не вырастали новые перья, и когда старые стирались, то с незащищенной кожи увеличивалась потеря влаги. В январе 1977 года на острове было тысяча двести средних земляных вьюрков. Спустя двенадцать месяцев засухи их осталось всего сто восемьдесят.

Но смертность не была огульной. Самые крупные птицы и особи с самыми крупными клювами выживали лучше. Причина в том, что запас из маленьких семян был съеден в первую очередь, а когда они исчезли, то птицам с меньшим по размеру клювом не повезло: им не хватало силы, чтобы расколоть оставшиеся крупные семена. Это был один из самых впечатляющих примеров действия естественного отбора, когда-либо наблюдаемых в дикой природе.

Естественный отбор совсем не обязательно ведет к эволюционным изменениям. Если птицы с крупными клювами выживают и размножаются лучше, тогда средний размер клюва должен со временем увеличиваться. Но данное предположение верно только в том случае, если птицы с большим клювом производят на свет потомство с таким же клювом. То есть изменение признака должно иметь генетическую основу, чтобы плюсы данного свойства передавались от родителя потомству. Зачастую так и бывает, но не всегда. У людей, к примеру, дети бодибилдеров необязательно унаследуют их крупные мышцы.

Или вспомните теплолюбивое домашнее растение на кухонном окне в вашем доме. Если вы поставите его в затененный уголок, то оно будет расти гораздо медленнее.

Здесь также будет иметь значение объем воды и удобрений, которые вы ему даете. А еще лучше взять десяток генетически идентичных растений, полученных путем прививки или обрезки, и обеспечить им разные условия, изменяя сочетания света, воды и удобрения. А несколько месяцев спустя вы почти наверняка получите самые разные по виду горшечные растения.

Феномен, при котором генетически идентичные организмы порождают разные фенотипы в зависимости от условий их среды обитания, называется «фенотипической пластичностью».

Однако в случае с вьюрками Дарвина фенотипическое расхождение основывалось на генетике, передаваясь от родителя потомству. Команда Грантов продемонстрировала удивительные результаты, сравнивая родителей и потомство – они знали, где чьи родители, потому что привязывали ленточки птицам вскоре после их поимки, пока те еще были в гнезде. Гранты обнаружили сильную взаимосвязь между родителями и потомством: чаще всего наследовался общий размер тела, как и пропорции клюва, крыла и лап.

В итоге более крупный размер тела и клюва переживших засуху птиц передался следующему поколению, и в последующие годы вьюрки были больше по размеру и с более крупными клювами. Сильный естественный отбор привел к стремительному эволюционному изменению.

Гранты продолжали изучать вьюрков с острова Дафни Майор на протяжении последующих тридцати пяти лет. И они обнаружили, что столь сильный естественный отбор был не редкостью. Так, несколько лет спустя сильные последствия влияния течения «Эль-Ниньо» привели к выпадению пятидесяти четырех дюймов осадков – в десять раз больше нормы. Наводнение породило изобилие мелких семян, что способствовало сильному естественному отбору птиц с маленьким изящным клювом, с помощью которого было удобнее и быстрее собирать урожай из мелких семян. В очередной раз популяция стремительно эволюционировала в ответ на новые условия.

Работа Грантов имела огромное значение не только благодаря тому, что они описывали, но и по причине того, что они продемонстрировали, что возможно в природе.

В противовес традиционным знаниям они доказали, что эволюцию можно изучать в природе в режиме реального времени. Их работа служила источником вдохновения для нескольких поколений биологов, работавших в полевых условиях. И в результате количество людей, проводивших подобные исследования, резко увеличилось, равно как и объем доступной информации относительно темпов эволюции в природе.

ИДЕЯ всех этих исследований ясна: когда меняется окружающая среда, виды способны очень быстро адаптироваться. Достаточно быстро, чтобы увидеть это собственными глазами. Достаточно быстро, чтобы описать это в ходе пятилетнего курса исследовательской работы.

Всего лишь несколько лет назад возможность описать стремительное эволюционное изменение, происходящее за короткий период времени, становилась целым событием. Теперь это уже ожидаемый результат.

Дарвин был умным экспериментатором, умевшим использовать простые, доступные ему материалы, чтобы проверить свои идеи. Например, при изучении слуховых способностей червей он отмечал их реакцию на громкий свист, звук фагота, пианино и его собственные крики. Черви игнорировали все эти акустические воздействия. Но когда их помещали поверх пианино во время игры, а не на примыкающий к нему столик, черви приходили в заметное возбуждение. Очевидно, что звук – это одно, а вибрация – совсем другое дело.

Зная обо всех экспериментальных наклонностях Дарвина, мы можем лишь догадываться, что бы он сделал, если бы знал, как быстро может происходить эволюция. Но он не знал этого, а потому никогда не задумывал эксперимент, чтобы проверить свою теорию эволюции с помощью естественного отбора. И, следуя по стопам Дарвина, ученые на протяжении еще более чем ста лет даже не пытались попробовать осуществить это.

Стивен Джей Гулд был первым сторонником идеи, что эволюция иногда идет чрезвычайно быстро.

Согласно его теории «прерывистого равновесия», вокруг которой в свое время шли жаркие дебаты^[52], эволюция представляла собой чередование продолжительных периодов с едва заметными изменениями и этапов бурного развития. И все же Гулд не проводил связи между быстрой эволюцией и возможностью реализовать на практике свой мыслительный эксперимент с прокручиванием пленки³⁰. Эту работу он оставил для следующих поколений ученых.

³⁰ Вероятно, потому что он мыслил геологическими, а не человеческими временными рамками: стремительная эволюция за десятки тысяч лет совсем не обязательно приравнивается к стремительной эволюции за десятки лет

Глава пятая

Красочный тринидад

Мы не можем провести те эксперименты, которые предлагал Гулд, вернувшись на миллионы лет назад и позволив эволюции начать действовать в тех же самых условиях. Это было так же очевидно для Гулда двадцать пять лет назад, как и для нас сегодня. Никто еще за прошедший срок не изобрел машину времени. Но это не означает, что идеи Гулда – или общее понимание эволюционного детерминизма – невосприимчивы к экспериментальному методу.

Логика Конвея Морриса о том, что конвергентная эволюция воплощает суть эволюционного повтора, возникающего скорее в пространстве, а не повторяющегося во времени, может быть применена в отношении эволюционных экспериментов. Вместо того, чтобы перечислять примеры за и против, исследователи могут протестировать конвергенцию напрямую, на практике проверив гипотезу повтора.

Допустим, насекомые, живущие в местах с пышной растительностью, зеленого цвета, а те, что встречаются в пыльных, засушливых регионах, коричневого. Создав экспериментальным путем популяцию, состоящую из коричневых особей, что живут в зеленой местности, мы сможем проверить гипотезу о том, что экспериментальная популяция конвергирует к фенотипу естественных популяций, обитающих в схожих условиях.

Как вариант ученые могут поместить многочисленные популяции в одинаковые условия и проверить, станут ли они конвергентно развивать схожие реакции. Еще более действенным будет совместить оба подхода, чтобы проверить, будут ли разные популяции развивать такую же реакцию, как те, что подвергаются селективному воздействию в естественных условиях.

Научные методы иногда делят на две категории: экспериментальный метод и метод наблюдения. В подобном разделении есть доля некоего превосходства: эксперименталисты, по крайней мере, их часть, ставят себя выше и относятся к неэкспериментальной науке, как к чему-то второсортному: по мнению некоторых приверженцев крайних взглядов, это вовсе не наука.

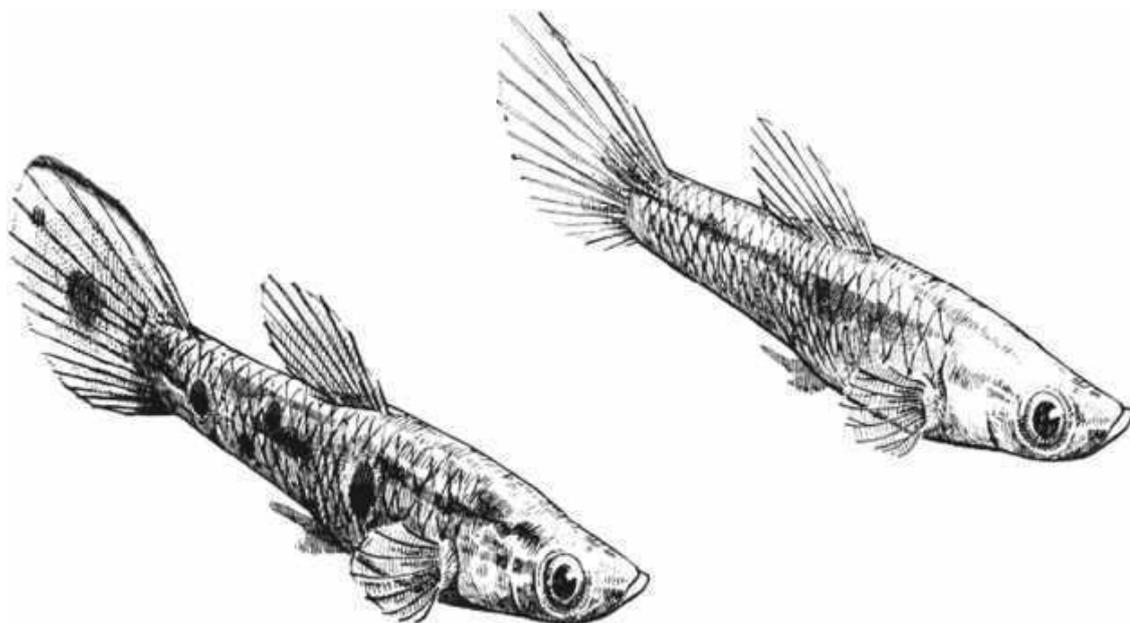
Конечно же, такая точка зрения является невежественной. Очень многое можно узнать с помощью внимательного наблюдения и сравнения природных феноменов, даже в отсутствие практических экспериментов. Более того, у опытов есть свои собственные границы: в размере и объеме. Попробуйте, к примеру, провести эксперимент, исследующий причину вулканических извержений или гравитационную силу Луны.

Но самое важное, что наблюдение и эксперимент – это не только два альтернативных метода, это еще инь и ян естественных наук: наблюдения за миром природы становятся источником гипотез, которые можно проверить опытным путем. И нет лучшего примера этого, чем исследовательская программа, которая ознаменовала эпоху полевых экспериментов в области эволюционной биологии.

Я БЫВАЛ В ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ по всему свету. И этот лес во многих отношениях совершенно обычный: буйная растительность, повышенная влажность, идущий постоянным фоном навязчивый гул насекомых и крики птиц. Множество змей, все завораживающе красивы и в большинстве неядовиты. Я рад, что у меня есть походные ботинки высотой до колена на тот случай, если моя нога угодит в какое-то неправильное место.

А необычно здесь то, насколько густа и почти непроходима местная растительность. На самом деле, здесь настолько все заросло, что мы фактически передвигаемся по реке. И это глав-

ная причина, почему я надел резиновые галоши. И хотя моя спортивная обувь самого высокого класса, я все равно двигаюсь предельно осторожно, так как камни очень скользкие³¹.



В водоемах сверху по течению гуппи более изысканно украшены (слева), чем в водоемах внизу по течению (справа).

Есть еще одна причина, почему мы двигаемся вверх по течению. Обычно когда я отправляюсь в тропический лес, я ищу там ящериц. Но в этот раз мы отправились на поиски маленькой рыбки. Гуппи часто встретишь в домашних и школьных аквариумах. Они славятся своим шикарным стилем: яркие цвета, крупные пятна, увеличенные хвостовые плавники. Как и в случае с собаками и попугаями, люди превратили их в причудливый балаган, и они тоже стали участниками шоу, состязаний и коммерческих затей.

Но подобно тому, как все породы собак произошли от своего предка, волка, так и разнообразные породы гуппи являются потомками диких видов родом из северной части Южной Америки, включая остров Тринидад, расположенный у побережья Венесуэлы. (На самом деле, несколько тысяч лет назад, когда уровень моря был ниже, Тринидад являлся частью Южной Америки). В отличие от волка, по внешности которого вряд ли скажешь о том невероятном многообразии его собачьих потомков, дикие гуппи демонстрируют широкое разнообразие популяций, значительно отличаясь друг от друга по цвету и узору.

Наконец, мы подходим к маленькому водоему. Мы стоим тихо и ждем. Несколько мгновений спустя маленькие рыбки снова приходят в движение. Быстрый бросок аквариумной сети, и теперь можно взглянуть на нее поближе. Да, это гуппи, но совершенно невзрачная. Непохожая на те, что можно встретить в зоомагазинах. Непримечательного серебристо-серого оттенка и без всякого узора.

Постояв там еще несколько минут и поймав еще парочку гуппи, мы продолжили идти по воде, стараясь по возможности не шуметь. Гуппи, как правило, живут только в тихих водоемах, так что нам предстояли длинные участки бурной воды, где отсутствовала наша добыча. Мы проходим еще несколько водоемов с похожей по окрасу рыбой и, наконец, находим водоем, в

³¹ Причем настолько скользко, что после того как я несколько раз чуть не шлепнулся в первый же день, надел профессиональные ботинки с металлическими набойками на подошве.

котором гуппи сверкают оранжевым и голубым цветами, украшены черными пятнами и полосками, что переливаются всеми цветами радуги, с эффектными хвостами с черной окантовкой.

И этот контраст наблюдается в притоках рек по всей северной территории Тринидада: вниз по течению мы встречаем рыб блеклого цвета, а вверх по течению – гуппи броского, кричащего окраса. Подобного рода наблюдения сразу же возбуждают интерес эволюционного биолога: повторяющиеся конвергентные различия указывают на то, что некий фактор способствует дивергенции модели окраса гуппи, но какой? Теперь мы знаем ответ благодаря ряду выдающихся исследований, проводившихся на протяжении более полувека. Эти исследования не только объяснили, что произошло в водоемах Тринидада, но и сделали крошечную гуппи эволюционной знаменитостью^[53].

Эта история началась в середине прошлого века стараниями человека эпохи Возрождения, которого теперь все реже встретишь в наш век всеобщей специализации.

Свою первую статью о роли химии в сельском хозяйстве Кэрил Паркер Хаскинс опубликовал, когда ему было восемнадцать лет, после чего последовало несколько статей о муравьях в тот период, когда он был студентом Йельского университета. Оттуда он перешел в Гарвард, где в 1935 году получил докторскую степень за исследование в области генетики плодовых мушек. Дальнейшая карьера вела его в самых разных направлениях.

Он проводил время в лабораториях «Дженерал электрик», изучая влияние радиации на споры плесени. А еще написал ставшую известной книгу^[54] «О муравьях и людях», где он сравнивает муравьиные и человеческие сообщества³². Хаскинс был совладельцем одной из первых компаний, выпускавших цветные фотографии, и помогал разрабатывать ортопедические приспособления для потерявших зрение во Второй мировой войне солдат. Другими направлениями его работы были микробиология, питание и генетика.

Все это хорошо, но при чем здесь гуппи? В начале XX века датский ученый Эйвинн Винге определил, что гуппи – хороший организм для генетических исследований, особенно для изучения наследования признаков, которые характерны только для одного пола³³. Хаскинс учел все эти выводы и в 1932 году начал собственные проекты по разведению пород гуппи, чтобы понять механизм наследования того или иного окраса, возникающего преимущественно у самцов.

Исследования, связанные с генетикой гуппи, которые осуществлял Хаскинс и другие ученые, продвигались стремительными темпами, породив многочисленные гипотезы относительно того, как эволюционировала генетическая система гуппи. Однако Хаскинс понимал, что в отсутствие дополнительной информации, почерпнутой из наблюдений за естественными популяциями гуппи, эти идеи не проверишь.

И в 1946 году он вместе со своим соратником и женой Эдной Хаскинс приступил к изучению распространенности моделей окраса гуппи, живущих в дикой природе, и их генетической основы.

Хаскинс быстро заметил топографическое свойство, влиявшее на отдельные виды рыб больше остальных. В горах северного Тринидада часть рек пересекали водопады, большинство из которых были высотой в несколько футов. Но некоторые из них низвергались с тридцати

³² После выхода книги в своей статье, опубликованной в «Нью-Йорк уорлд телеграм», он писал: «Это поразительные существа. Когда они конфликтуют друг с другом, то обмениваются резкими ударами, впрыскивают яд и отрезают друг другу головы. Они поработают слабые «племена» и держат рабов. Но они также могут быть добрыми. Ничто не доставляет им большее удовольствие, чем иметь рядом в качестве «питомца» жука». И еще: «Подобно людям, это самые легко адаптирующиеся организмы в своей группе. И точно так же их самыми опасными врагами являются другие представители их вида. Как и люди, они способны на все».

³³ Работа Винге не ограничивалась одними рыбами. Он изучал целый ряд различных организмов, но известен, в первую очередь, как отец дрожжевой генетики и, следовательно, является интеллектуальным родоначальником отдельных лабораторных экспериментов, которые мы обсудим в девятой, десятой и одиннадцатой главах.

футов. Эти каскады образовывали барьер для основной массы рыб, включая главных хищников гуппи. Но два вида рыб чаще всего встречались над этими преградами – гуппи и тринидадская гетерандрия.

Лосось атлетически перепрыгивает падающие каскадом водопады, перемещаясь вверх по течению. Но гуппи и гетерандрия слишком малы, а откос чересчур высок. И тогда эти рыбы проделывают то же самое, что делают каноисты, когда встречают препятствие на реке: они переправляют лодку волоком, обходя это препятствие. Гетерандрия, наряду с несколькими другими видами рыб, славится своей способностью проползать огромные расстояния по сырому лесному покрову. Они просто выбирают из водоема, расположенного на дне водопада, и карабкаются в гору к следующему, находящемуся выше.

Гуппи в отличие от них не такие активные пешеходы, но они способны плавать в очень мелких водоемах. И хотя никто не наблюдал этого вживую, но, вероятней всего, рыба перемещается вверх по течению через временные каналы, образующиеся на лесной почве в периоды проливных дождей.

Эволюционная значимость этого водного барьера, проходимого только для отдельных видов рыб, стала очевидной, как только Хаскинс сравнил рыбу из других частей тринидадских рек. В популяциях, в которых было мало хищников и которые находились над водопадами, самцы, а не самки, обладали очень ярким окрасом. А в популяциях с высоким процентом хищников, находившихся ниже по протоку, и самцы, и самки были довольно тусклого окраса. Хаскинс пришел к выводу, что наличие или отсутствие рядом с гуппи их главных хищников было ключевым фактором, влиявшим на эволюцию окраса самцов.



Типичный тринидадский водопад с водоемом, кишацим гуппи и, вероятно, хищниками.

Чтобы проверить эту идею, Хаскинс осуществил лабораторные исследования хищных рыб, поместив гуппи в аквариум и в уличные водоемы вместе с разнообразными видами тринидадских хищников. И, конечно же, более яркие особи исчезли из аквариума и водоемов

гораздо быстрее своих более блеклых сородичей, подтвердив предположение, что яркий окрас – это большой недостаток в водоемах, где плавают хищные рыбы.

Но почему самцы были яркого окраса в отсутствие хищников? И вот здесь на сцену выходят леди. По причинам, которые мы до конца еще не понимаем, самки гуппи предпочитают броских самцов, и такое предпочтение заметнее всего в местах, где нет хищников. Эти сведения были получены^[55] в ходе целого ряда плодотворных исследований, осуществленных за последние двадцать лет и продолжающих линию, начатую Хаскинсом.

Исследование Хаскинса, посвященное гуппи, было чрезвычайно новаторским и глубоким, и тем более впечатляющим, что являлось побочным занятием среди других его многочисленных проектов и начинаний. В действительности данная работа была настолько второстепенна, что она даже не упомянута в вышедших после смерти ученого мини-биографиях и некрологах. Тем не менее, эта работа подготовила почву для одной из самых впечатляющих исследовательских программ в области эволюционной биологии, осуществленных в конце XX и начале XXI веков.

В БУРНЫЕ ВРЕМЕНА 1960-х^[56] как минимум один студент из Калифорнийского университета в Беркли ответственно относился к домашним заданиям. Все свои детские годы он гонялся за ящерицами и ловил жуков в чапарели Южной Калифорнии, а позднее юный Джон Эндлер поступил в Беркли, выбрав предметом специализации зоологию. Оказавшись там, он быстро устремился в знаменитый университетский музей зоологии позвоночных животных, битком набитый образцами и учеными, изучающими их. (В музее царила спокойная обстановка. Как отмечал Эндлер, «все протестные акции проходили на противоположном конце кампуса, так что мне никто не мешал»).

Большинство людей, как правило, представляют себе музеи естествознания, как собрание значимых для публики экспонатов, таких как знаменитые диорамы, заполненные чучелами животных. Но многие не знают, что за «кулисами» часто прячут обширные коллекции растений и животных, специально отобранных, классифицированных и доступных как для своего собственного персонала, так и для посетителей из других мест.

В обязанности Эндлера как ассистента куратора по герпетологии входила работа с коллекционными рептилиями и земноводными. В процессе этой работы он привык изучать образцы из разных областей и узнал, что они зачастую заметно отличаются друг от друга. Подобная географическая вариативность является хорошо известным феноменом в природном мире. Цвет кожи и форма лица у людей – это классические примеры того, как сильно могут различаться популяции в рамках одного вида.

Помимо того, что он узнал о географической вариативности, в Беркли Эндлер освоил еще один трюк: он научился разрабатывать эксперименты, чтобы проверить те идеи, которые развивал. В одном эксперименте он вращал тритонов в банке, чтобы проверить, нарушат ли эти вращения их способность ориентироваться по звездам. (Эксперимент показал, что да, нарушают, и итогом стала его первая публикация в научном журнале). В ходе другого эксперимента он снабдил ящериц алюминиевыми шляпками, чтобы контролировать количество солнечного света, падающего им на головы, с целью проверить гипотезу о том, как регулируются их суточные ритмы (к сожалению, эксперимент сорвался из-за неполадок с оборудованием).

Будучи увлеченным феноменом географической вариативности, Эндлер уехал в Эдинбург, чтобы продолжить учебу в докторантуре и стать экспертом в области изучения многообразия улиток. Там он разрабатывал идеи о том, как географические различия могут привести

к распадению одного широко распространенного вида на множественные нескрещивающиеся между собой.

Но обладая экспериментаторским мышлением, Эндлер не смог довольствоваться одной лишь разработкой столь неожиданной теории о появлении новых видов. А потому сразу же принялся проверять свою идею экспериментальным методом. Результатом этой работы стало тщательно проведенное лабораторное исследование плодовых мушек, популяции которых поместили в разные клетки. Их подвергали различным селективным воздействиям, в точности воссоздавая ту ситуацию, когда популяции жили в благоприятствовавших развитию разных признаков местах.

В каждом поколении часть мух из одной популяции перемещали в другую, копируя расселение, которое случается в дикой природе среди смежных популяций. Традиционная наука прогнозирует, что такой обмен особями будет иметь эффект усреднения генных пулов. Однако результаты эксперимента противоречили этой теории. Даже с учетом наличия такого генетического обмена воздействующие на популяции различные силы естественного отбора заставляли их расходиться на генетическом уровне – именно то, что предсказывала теория Эндлера.

Данная работа была большой удачей^[57] и привела к публикации нескольких важных статей и популярной монографии, сделав Эндлеру имя в области эволюционной биологии. Тем не менее, в душе Эндлер был натуралистом, проявлявшим повышенный интерес к биосфере и к ее устройству. И несмотря на то, что он продолжал работать над своими теоретическими выкладками и лабораторными экспериментами, он замыслил уже следующий шаг: искал проект, который бы обеспечил ему работу в поле.

Собирая материал по теме географической вариативности для своей докторской диссертации, Эндлер наткнулся на статьи о разновидностях окраса гуппи.

Заинтригованный, он написал Хаскинсу, который к тому времени (к началу 1970-х) стал президентом Института Карнеги в Вашингтоне³⁴. Несмотря на то, что он уже более десяти лет занимал руководящий пост, Хаскинс все так же активно занимался изучением гуппи, и между ними началась оживленная переписка. Эндлер даже встречался с Хаскинсом в просторном центральном офисе института в Вашингтоне, и этот визит закончился экскурсией и знакомством с обширной коллекцией гуппи, которую Хаскинс держал у себя дома. Эндлер был в восторге от гуппи: эта рыба станет главным предметом изучения в рамках его следующего исследовательского проекта.

Вернувшись в Соединенные Штаты на должность преподавателя в Принстоне, Эндлер принялся более дотошно разбирать идею Хаскинса о том, что хищники – это ключевой фактор, влияющий на окрас самцов гуппи. Каждый год Эндлер все лето проводил в Тринидаде, вышагивая вдоль рек и внося в таблицу модели рассредоточения гуппи.

Северная оконечность Тринидада окаймлена цепочкой гор. А с северного и южного склонов этих гор каскадами стекают бесчисленные водопады. На самом деле их можно пересчитать, и у Эндлера была карта. Он намеревался посетить каждый водопад в той местности, где были нетронутые леса, чтобы посмотреть, какие виды рыб там встречаются и как там выглядят гуппи. В общей сложности за пять лет он посетил сто тринадцать мест рядом с пятьюдесятью тремя водопадами.

Собирать информацию на этих водопадах было делом непростым. Ориентируясь по своим картам, Эндлер понимал, куда ему нужно идти, но добраться туда было целым приключением. Иногда дорога шла в стороне, оставляя для пешего маршрута лишь короткий путь через лес. В других случаях требовался более длинный маршрут: нужно было пробиваться сквозь густые заросли.

³⁴ Институт Карнеги – престижная частная научно-исследовательская организация, основанная Эндрю Карнеги в 1902 году.

А когда Эндлер добирался до места, ему еще предстояло найти гуппи. Так что он шел либо вверх, либо вниз по течению, выискивая тихий водоем.

А еще должна была быть хорошая популяция гуппи: в некоторых водоемах этой рыбы больше, чем в других. Если берега были слишком крутые, он проходил реку вброд, взбаламучивая воду и тревожа рыбу в точности так, как это делал я на протяжении многих лет. Временами единственным выходом был рискованный проход по поваленному бревну. Водопады представляли собой отдельную проблему. Лежащие вокруг них булыжники были зачастую очень скользкими, что лишь усиливало риски. А еще предстояло пройти над водопадами, где тебя ждал, как правило, идиллический, заполненный рыбой водоем. И это было не менее сложно, особенно если ты не нашел там упавших прямо на вертикальные горные склоны старых деревьев, причем в правильном месте: так было легче совершить восхождение.

Как только подходящий водоем был найден, Эндлер тихо усаживался у края воды и в течение часа вглядывался в чистые речные воды Тринидада, отмечая все хищные виды рыб и оценивая плотность популяции гуппи. Затем наступало время облавы. Держа в каждой руке по сачку для ловли бабочек, Эндлер терпеливо стоял стаю рыбок, а потом резким захватом вылавливал целый косяк. В каждом месте он воровал по двести штук – достаточное количество, для того чтобы отобрать из них примерно пятьдесят взрослых самцов. Каждого самца он внимательно осматривал, записывая расположение и окрас всех его пятен.

В итоге понадобилось четыре года терпеливого сбора данных, но результаты стоили того. Модель четко просматривалась. Хаскинс был абсолютно прав: окрас самцов гуппи явно коррелировал с фактом присутствия хищников. В местах, где их было мало или они отсутствовали, например, в протоках над водопадами, самцы были более кричащего окраса с большим количеством крупных пятен. Но не все пятна оказывались одинаковыми. Крупнее были в основном красные и черные, в то время как голубые и радужные становились более многочисленными.

Эти сравнения рыб из разных мест говорили о многом, но не были исчерпывающими. Как всегда, данная взаимосвязь не была причинной обусловленностью. Возможно, в этом случае какой-то другой фактор, связанный с фактом присутствия хищников, мог оказывать большее влияние. Так, к примеру, те места, где не было хищников, находящиеся над водопадами, располагались, как правило, выше, а размер гальки в руслах был крупнее, чем в местах, находившихся ниже.

Так что размер пятен гуппи зависел не только от наличия или отсутствия хищников, но также и от размера гальки в русле протока. Причем камни настолько помогали гуппи сливаться с общим фоном, что можно было бы предположить, что между размером пятна и величиной местной гальки есть взаимосвязь, давая альтернативное объяснение наличию рыб с крупными пятнами над водопадами (это также подразумевало, что помимо рыбы гуппи угрожали и другие серьезные хищники – возможно, птицы.)

Эндлер знал, как решать проблемы подобного рода, объясняя в своей теперь уже классической работе 1980 года, что «результаты полевых исследований поразительны^[58], но, возможно, на модели окраса влияет также какой-то другой природный фактор. Чтобы обеспечить более прямую проверку гипотезы о том, что вся модель окраса подвергается естественному отбору, были поставлены два эксперимента, один в теплице, а другой в поле».

Первый был лабораторным эволюционным экспериментом. Когда нам говорят о лабораторных экспериментах, мы, как правило, представляем себе какие-то колбы с плодовыми мушками или чашки Петри с микробами. В действительности, как мы увидим дальше, в настоящее время ставится множество подобных лабораторных эволюционных экспериментов. Но лабораторный эксперимент Эндлера был совершенно иного масштаба. Никакой плотной стопки чашек Петри или штатива с колбами с жужжащими в них плодовыми мушками. Популяция гуппи, в частности, находящаяся в близкой к природной обстановке, требует значительно большего пространства, чем в стандартной научной лаборатории. К счастью для Эндлера, идеаль-

ное место для подобного эксперимента нашлось буквально за порогом, в пустующей теплице. Эндлер занял ее и переделал под свои ихтиологические исследования.

Теплица была большая, шестьдесят футов в длину и двадцать пять футов в ширину, заставленная длинными столами и всякими ботаническими приспособлениями. Эндлер убрал оттуда все и приступил к работе. Он начал с того, что забетонировал пол и сделал в нем необходимые углубления, выполнив большую часть работы самостоятельно, чтобы создать приближенное к естественному место обитания гуппи с водоемами и протоками, каждое площадью по триста квадратных футов.

Всего он построил десять загонов, расположенных по три ряда и разделенных двумя проходами. Дно водоемов было выложено удивительно красочным аквариумным галечником. Неожиданно аляповатые для оранжереи в Нью-Джерси цвета были на самом деле неплохой имитацией тринидадских порогов. Растения и беспозвоночные, перенесенные из тех мест, образовали работающую экосистему. Водоросли, получавшие достаточное количество тепла и света, пышно разрастались, создавая основу для функционирования пищевой сети.

Чтобы заселить водоемы, Эндлер смешал гуппи из одиннадцати разных протоков, позволив им перемешаться и размножиться на протяжении нескольких поколений. В каждом загоне разместилось по двести особей. Так как рыбы были перемешаны стихийным образом, то популяции изначально мало отличались по степени своего декора.

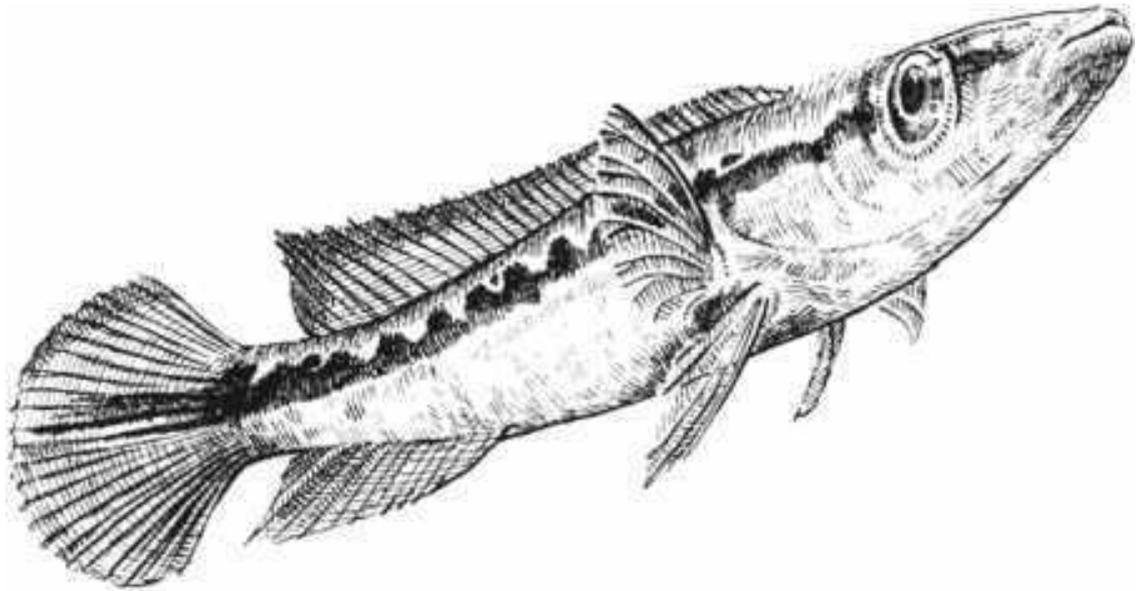
Целью эксперимента было проверить предсказуемость эволюции окраса гуппи в связи с присутствием или отсутствием рядом хищников. Спустя четыре недели после того, как гуппи были помещены в водоемы, Эндлер добавил некоторых хищных рыб. В четыре водоема отправилась крайне хищная рыба щу-ка-цихлида, обтекаемой формы торпеда с зубами, питающаяся гуппи. В четыре других попала гораздо менее грозная гетерандрия, которая лишь иногда поедает молодняк гуппи. А еще два остались вообще без хищников. Эндлер предсказывал, что если различия, наблюдаемые у рыб в тринидадских реках, были результатом наличия там хищников, то тогда его популяции со временем будут различаться по окрасу: те, что обитают рядом с щукой-цихлидой, станут более блеклого цвета, а те, кому не грозит подобная опасность, будут становиться ярче, повинувшись инстинкту размножения.

Бултых! В игру вступили хищники, и это было последним вмешательством Эндлера в эксперимент. Если не считать ежедневного кормления и отслеживания химического состава воды, гуппи и их хищники были предоставлены сами себе. Гуппи известны своим очень быстрым жизненным циклом, они способны размножаться уже в возрасте менее двух месяцев. Сколько поколений должно смениться, чтобы появились эволюционные изменения? Эндлер вернулся к своим полевым исследованиям в Тринидаде и позволил природе идти своим чередом.

Спустя пять месяцев после того, как в водоемы были помещены хищники, Эндлер решил посмотреть, что же там происходит. Он выловил и сфотографировал каждую рыбку из всех водоемов, пересчитал и измерил пятна, обратил внимание на окрас. Затем рыба была выпущена обратно в воду, чтобы продолжать там эволюционировать. Пять месяцев это максимум пара поколений гуппи и, конечно же, слишком короткий период для возникновения эволюционных изменений.

Но нет! Популяции уже начали различаться. Гуппи, жившие рядом с опасным хищником – щукой, демонстрировали десятипроцентное уменьшение количества пятен. А у тех, кто не был окружен хищниками или соседствовал с безобидной гетерандрией, количество пятен увеличилось почти ровно на столько же.

Когда девять месяцев спустя Эндлер в очередной раз проводил свою перепись, популяции продолжали эволюционировать в противоположных направлениях, и их различия стали еще заметнее: у гуппи, обитавших в водоемах с гетерандрией или без хищников теперь было более чем на сорок процентов больше пятен, чем у рыб, живущих рядом со щуками.



Щука-цихлида

Как и в случае с популяциями гуппи из Тринидада, обитавшими с разными хищниками, различие в количестве пятен было, в первую очередь, связано с числом голубых и радужных пятен. И точно так же размер пятен был почти на пятьдесят процентов больше у самцов, соседствовавших с гетерандрией, чем у тех, кто жил со щуками, что в очередной раз повторило ситуацию в дикой природе.

В действительности схожесть между обитателями тепличных водоемов и их природными двойниками была невероятно высока: всего за два года экспериментальные популяции очень заметно конвергировали с гуппи, жившими в аналогичном окружении с хищниками в дикой природе.

Но какими бы впечатляющими ни были эти результаты, это все равно были результаты лабораторного (или, по крайней мере, тепличного) эксперимента со всеми условностями. А это подразумевает, что рыбу кормили ежедневно. Если не считать гуппи и хищников, все остальные члены тринидадской экосистемы – птицы, другие виды рыбы, раки – отсутствовали; там никогда не было дождя. Но, все равно, результаты данного эксперимента следовало считать впечатляющей демонстрацией стремительной эволюции животного крупнее мухи или микроба. Однако в данном случае следует сделать поправку с учетом того, что эти результаты – продукт лабораторных условий, не применимый к природному миру.

Эндлер учитывал эти поправки. И даже когда он заливал бетон и сооружал водопады, он продолжал наблюдать за девственно чистым водоемом в верхних пределах тринидадской реки Арипо. В водоеме прямо над водопадом обитала гетерандрия, но, похоже, отсутствовали гуппи. На протяжении двух лет он регулярно возвращался сюда, старательно выискивая следы их присутствия, но не нашел. И, наконец, убедившись, что в водоеме нет гуппи, в июле 1976 года он приступил ко второй части своего проекта.

А неподалеку, на других притоках Арипо Эндлер обнаружил два ручья с гуппи, отличающихся по составу хищных рыб. В одном была только гетерандрия, а другой был битком набит питающимися гуппи хищными рыбами, включая щуку-цихлиду. И так же, как и повсюду на острове, гуппи в этих двух ручьях отличались друг от друга: в водоеме с одной лишь гетерандрией они были ярче и с большим количеством пятен, которые также были крупнее. Эксперимент Эндлера был прост. Он взял двести гуппи из протока, полного хищных рыб, и поместил

блеклых, с маленькими пятнами рыб над водопадом в тот нетронутый водоем, где отсутствовали гуппи и была только гетерандрия.

Его предположение, рожденное на основе наблюдений за естественными популяциями, заключалось в том, что эволюционировав, рыбы станут похожи на ярких гуппи в соседнем протоке с одной лишь гетерандрией.

Сам факт того, что Эндлер осуществил этот эксперимент, является свидетельством его дальновидности, учитывая тогдашнее состояние данной научной отрасли. То, что гуппи в Тринидаде отличаются по окрасу в разных средах обитания, вовсе не означает, что данные различия развивались быстро. И хотя уже сгушались тучи грядущей революции, в то время все равно главенствовала идея о том, что эволюция, как правило, продвигается довольно медленно. Но Эндлер не поддавался этой догме. Его хорошая осведомленность в области теории давала ему основания полагать, что эволюция способна двигаться достаточно быстрыми темпами в случае довольно сильного естественного отбора. И в этом его убедили примеры с пяденицей березовой и резистентными вредителями и микробами. Никто еще никогда не занимался экспериментальным исследованием эволюции в данной области, но у Эндлера хватило смелости предположить, что эксперимент может сработать.

Два года спустя Эндлер вернулся, поймал гуппи в протоке и сделал стандартные измерения. И точно так же, как в теплице, естественный отбор продемонстрировал свою эволюционную магию: за несколько коротких поколений у популяции гуппи вышло большее количество пятен, которые также были крупнее по размеру. Таким образом, популяция трансформировалась из типичной, живущей в окружении хищников, в обычную для тех мест, где обитает одна только гетерандрия.

Эндлер продемонстрировал, что процесс эволюции гуппи предсказуем. И мы не только можем понять, почему отдельные особи яркого окраса, а другие нет, но еще если мы воссоздадим избирательные условия – в лаборатории или в поле, – они будут эволюционировать в точности так, как ожидалось.

Но пример с гуппи имел для эволюционных биологов и более широкий смысл: когда естественный отбор силен, эволюция может идти стремительно. И в заключение: экспериментальный метод – электростанция современной науки – может быть использован для изучения эволюции не только в контролируемых искусственных условиях лаборатории, но также в беспорядочном неконтролируемом и непокорном природном мире.

РАБОТА ЭНДЛЕРА существенно повлияла на меня в тот период, когда я только начинал заниматься исследованиями. На втором курсе колледжа я посещал факультатив, на котором мы читали его монографию, посвященную тому, как возникают новые виды. Книга открыла мне глаза на взаимосвязь теории и практических данных: как наблюдения за природным миром приводят к развитию теоретических идей, которые, в свою очередь, проверяются путем сбора новых данных.

Но еще больше на меня повлияла лекция, которую он прочитал на одном из еженедельных факультетских семинаров. К тому времени я стал фанатом биологии и постоянно крутился рядом со студентами магистратуры, собирая жемчужины мудрости и стараясь никому не помешать. Подобно любым студентам магистратуры, тогдашним и теперешним, эта группа была компанией искушенных экспертов, всегда готовых заметить непроверенные опытным путем утверждения и явные ошибки в статье или презентации. Но не в этот раз. Эндлер читал лекцию по теме своей экспериментальной работы, и я очень отчетливо помню, даже через тридцать пять лет, что, когда он выходил из аудитории, ему вслед неслись несдержанные комментарии магистрантов. Слова одного из них до сих пор живы в моей памяти: «Кто бы мог представить, что эволюционная биология станет экспериментальной наукой?» Тогда я еще не мог этого

знать, но спустя каких-то пять лет те слова и открытие, на которое они указывали, сыграют важную роль в моей собственной карьере.

Студенты магистратуры и я были не единственными, кого потрясла лекция Эндлера. Несколько лет назад, еще до того, как его работа была опубликована, Эндлер делал презентацию по теме экспериментов с гуппи в Академии естественных наук в Филадельфии.

В аудитории в тот день присутствовал Дэвид Резник^[59], четверокурсник университета Пенсильвании.

Как и Эндлер, Резник был рьяным натуралистом, в особенности помешанным на рептилиях³⁵. Во время летней практики в период учебы в колледже на юго-западе Америки он нашел ящериц, которые живут на потоках лавы и заметно отличаются от своих светлокожих родственников, обитающих среди песков соседней пустыни особым черным окрасом. Так как лава образовалась в результате извержения вулкана, случившегося всего несколько тысяч лет назад, то, вероятней всего, этот темный пигмент развился у популяций в недавнем прошлом. Данное наблюдение убедило Резника в том, что эволюция может идти очень быстро, так как популяции адаптируются к новым условиям.

Переключившись на рыб, так как с ними во многих отношениях практичнее работать, чем с ящерицами, Резник решил сделать темой своей дипломной работы эволюцию жизненной истории. Термин «жизненная история» относится ко всем факторам, которые влияют на репродуктивную успешность особи: как долго она живет, как быстро созревает, какое количество потомства производит в течение одного периода размножения и так далее («демография» – более старый термин с тем же значением).

Во многих теоретических работах прогнозировалось, что жизненная история должна варьироваться в зависимости от разных условий. Так, к примеру, когда процент хищников высок, особи будут жить быстро и погибать молодыми. А учитывая, что они не доживут до зрелого возраста, они должны быстро созревать, вкладывая всю свою энергию в максимально раннее и частое производство потомства, и не тратить силы на увеличение размера своего тела. Более того, из-за угрозы нападения хищников особи должны увеличивать свои шансы, производя большее количество потомства маленького размера, а не меньшее их количество, но более крупного размера.

С другой стороны, когда процент хищников низок, и средняя продолжительность жизни длиннее, особи могут позволить себе роскошь вложить всю энергию в рост, откладывая время размножения на более поздний срок, когда благодаря своему более крупному размеру они смогут производить намного больше потомства.

Более того, так как у потомства есть хороший шанс выжить, родители должны много вкладывать в каждого из них, нацеливая их на конкуренцию с другими особями.

Теории относительно эволюции жизненной истории проверялись экспериментальным путем в лаборатории на плодовых мушках и других организмах, но они никогда не подвергались изучению с помощью экспериментов в дикой природе. Так же, как и в случае с Эндлером, понимание Резником теории предполагало, что эволюция должна проходить стремительно, если силен естественный отбор: его собственные наблюдения за дивергентными популяциями, находящимися в новом в геологическом аспекте окружении, обеспечили доказательства.

³⁵ В этом, а также во многом другом мы с Резником одного поля ягоды. Я тоже в детстве гонялся за ящерицами, а во время написания данной книги я узнал, что в пору нашего взросления мы оба посещали один и тот же летний лагерь Prairie Trek, где подростков водили в походы по юго-западу США. В итоге мы оба оказались в университете Вашингтона в Сент-Луисе – он в качестве студента, а я, спустя годы, в качестве профессора. Но, возможно, самое поразительное в том, что и его, и мою работу высмеяли в журнале National Enquirer: его в статье под названием «Дядюшка Сэм тратит девяносто семь тысяч долларов, чтобы узнать, в каком возрасте умирают гуппи», а меня в статье с заголовком «Прыгающие ящерицы! Шестидесять тысяч долларов ваших налогов потрачено на изучение причины, почему у них есть любимые острова».

Чтобы проверить идею о том, что жизненная история будет развиваться быстро и адаптивно, Резник начал изучать популяции гамбузии – внешне непримечательного родственника гуппи – в болотистой местности Кейп-Мей в штате Нью-Джерси. Но данная работа не оправдала его ожиданий. На рыбу сильно влияло время года – загвоздка, которая осложняла исследователю процесс сравнения популяций, живущих вместе или отдельно от хищников. К тому же ему предстояла длинная дорога из Филадельфии и обратно, и добавьте сюда печально известные виды и запахи Нью-Джерси. Совсем не так представлял себе полевые исследования Резник. Тропики – вот то место, куда он действительно хотел попасть.

А потом он услышал лекцию Эндлера, и все стало ясно. Кому было интересно, что он потратил два года на изучение гамбузии? Гуппи давали ему все необходимое для его исследовательского проекта. Еще в детстве он держал их в аквариуме и знал, что когда-нибудь будет работать с ними.

На ужине после семинара Резник рассказал Эндлеру о своих идеях. Неделю спустя они встретились по пути в Принстон, и Эндлер пригласил Резника присоединиться к нему во время его поездки в Тринидад на следующий год. Интересы Резника, связанные с жизненной историей, идеально совпадали с интересом Эндлера и Хаскинса к окрасу рыб.

В марте следующего года Резник с Эндлером встретились на полевой исследовательской станции в горах Тринидада.

Эндлер разложил на столе топографическую карту северных гор, положил поверх нее кальку – это было еще до эры портативных компьютеров – и сделал копию. У Резника в кабинете до сих пор сохранилась эта карта с пометками, сделанными от руки, – теперь уже ценная вещь. На ней Эндлер с помощью условных обозначений указывал на те протоки, которые стоит обследовать, чтобы сравнить популяции гуппи, живущие вместе с хищниками и без них. Резник запрыгнул в арендованную машину и двинулся дальше в горы. Положив начало почти сорокалетней исследовательской программе, он собирал образцы везде, где мог, на разных уровнях, вылавливая гуппи, чтобы определить график их жизненных событий.

В то первое свое лето Резник обследовал шестнадцать популяций. Помимо различий в окрасе он также отмечал демографические различия: гуппи из популяций с щуками-цихлидами и другими хищниками заметно отличались от гуппи, живших в водоемах с низким процентом хищников. В частности, гуппи, жившие среди большого количества хищников, созревали, будучи еще маленького размера, и больше ресурсов отдавали на репродукцию, чтобы произвести большее количество потомства меньшего размера. В точности то, что и предсказывала теория! И, конечно же, подразумевалось, что гуппи в местах, полных хищников, живут меньше. Резник подтвердил и этот факт, поймав гуппи, пометив их и вернувшись позже, чтобы увидеть, как долго прожила помеченная рыба. Всего за две недели в местах с высоким уровнем хищников погибло на пятнадцать процентов больше гуппи, чем в водоемах, где хищников меньше. А более продолжительное исследование показало, что выживаемость за семимесячный период была около одного процента в местах, полных хищников, в то время как там, где обитала только гетерандрия, выживаемость была выше в двадцать пять раз.

Модель различий жизненных историй была четкой. Как и Эндлер, Резник воспринял эти результаты как источник гипотез, в частности такой, что наличие хищников влияет на различия в популяциях. Но что по-настоящему привлекало Резника в гуппи, так это возможность проверить свои идеи экспериментальным путем, а потому он жаждал продолжить исследование Эндлера.

Он повторно посетил то изначальное место Эндлера в Тринидаде и обнаружил, что у местных гуппи – потомков обитателей водоема с высоким процентом хищников, но помещенных в благоприятные условия, – развилась жизнь особей, которым почти не досаждают хищники. То же самое касалось экспериментов с теплицей: спустя два с половиной года после того, как Эндлер начал свое исследование, Резник сравнил жизненные истории гуппи, живших в

загонах с низким и высоким процентом хищников, и нашел различия, параллельные тем, что наблюдались в дикой природе.

Резник продолжил ставить собственные эксперименты, поместив гуппи в протоки, где хищников меньше, в двух других местах. И там тоже результаты оказались очень похожими. И, наконец, он попытался осуществить новый тип эксперимента, противоположный тем, что он ставил раньше. Вместо того, чтобы перемещать гуппи, он отправил щук-цихлид в водоем над водопадом, где прежде встречались только гуппи и гетерандрия. Щуки-цихлиды быстро сориентировались, и наивным резидентам пришлось за это расплачиваться. Очень быстро у гуппи начали эволюционировать свойства популяций с высоким процентом хищников. По прошествии пяти лет этого эксперимента (последний раз, когда Резник проверял результаты) жившие ранее в водоеме с низким процентом хищников гуппи демонстрировали переходные признаки между популяциями с противоположным количеством хищников.

В целом результаты исследований Эндлера и Резника были поразительно похожи. Как и у Эндлера, экспериментальные популяции Резника эволюционировали в точности так, как было предсказано на основе знания вариации среди природных популяций. Жизненная история гуппи оказалась чрезвычайно пластичным эволюционным признаком, на котором естественный отбор быстро и предсказуемо отпечатывает эволюционную реакцию.

ЧТОБЫ СДЕЛАТЬ СЛУЧАЙ быстрой адаптивной эволюции безукоризненным, Резнику пришлось изучать дополнительный вопрос: возможно, различия, которые он наблюдал между гуппи, жившими в водоемах с высоким и низким процентом хищников, не были результатом эволюции.

Теоретически различия жизненных историй среди популяций могли являться не следствием генетических изменений, а быть результатом воздействий среды обитания, которые заставляли генетически похожих гуппи расти и размножаться по-разному – феномен фенотипической пластичности, который мы обсудим в четвертой главе.

Резник занялся этой проблемой напрямую, вернув рыб из разных популяций обратно в лабораторию и держа их в одинаковых аквариумах, где не было хищников. «Поголовье», как он называет их, размещали по отдельности и давали им возможность размножаться, а все мальки развивались индивидуально в идентичных условиях. Подобные условия называются экспериментом «общий сад» по ассоциации с его ботаническими корнями.

Целью Резника было выяснить, передадутся ли различия между самками, пойманными в дикой природе, на их потомство, которое развивается в идентичных условиях. Если различия между матерями были генетическими, тогда и их потомство должно отличаться друг от друга. И наоборот, если различия матерей были вызваны условиями среды обитания, в которой они росли, тогда их потомство, выросшее в общем саду, должно быть похожим.

Результаты оказались такими же чистыми, как триниадские реки. Выросшие в лаборатории гуппи все равно демонстрировали различия, характерные для их пойманных в природных водоемах матерей и бабушек. Те мальки, что были потомками гуппи из водоемов с высоким процентом хищников, росли быстро и обильно размножались в раннем возрасте, как и их предки. А те, кто был родом из более спокойных мест с низким процентом хищников, развивались и созревали неторопливо и размеренно. Таким образом, Резник сделал вывод, что эти различия должны быть генетической природы, результатом эволюционной дивергенции.

В некотором роде работа Резника была продолжением генетических исследований, проведенных Хаскинсом десятилетиями ранее. Хаскинса занимал вопрос, являются ли различия в окрасе генетически обусловленными. Он воспользовался иным подходом, чем Резник, скрещивая особей с разными фенотипами, чтобы изучить, как передаются признаки от родителя потомству. Точно так же экспериментировал Мендель со своим знаменитым горохом.

И так же, как в случае с исследованием Резника в области различий жизненных историй, работа и последующие исследования Хаскинса четко подтверждали, что вариация окраса у гуппи определяется преимущественно генетическими различиями.

Сейчас ученые могут поднять генетическое исследование фенотипических различий на новый уровень, секвенировав целый геном множества особей. В настоящее время группа Резника применяет именно этот подход, чтобы попытаться определить реальные различия в ДНК, ответственные за вариативность жизненных историй, окраса и других признаков гуппи.

ДО ЭТОГО МОМЕНТА В СВОЕМ ПОВЕСТВОВАНИИ я живописал картину научной ценности работы Резника, но не воздал должное тому, каково это – проводить передовые экспериментальные исследования в самом сердце тропических джунглей. С момента своей первой поездки в Тринидад в 1978 году Резник возвращался туда практически каждый год, а иногда и по четыре раза в год. Часть работы предполагала осуществление экспериментальных внедрений и даже создание нескольких новых экспериментальных популяций. Из самых последних было осуществлено два внедрения в 2008 году и два в 2009. Но в основном работа была сравнительного характера – противопоставление способов, с помощью которых природные популяции адаптировались к жизни в условиях среди хищников и в их отсутствие.

Чтобы провести большую часть этих сравнений, приходилось посещать живущие близко друг от друга, но разделенные бурными порогами или водопадами популяции. Для того, чтобы собрать данные по этим популяциям, нужно провести весь день в лесу, делая измерения и вылавливая рыбу в разных местах посреди всего этого тропического буйства природы.

Пролетающие мимо сверкающие малиницы, снующие в листве ящерицы, красивые птицы на деревьях, дружно квакающие лягушки, временами заглушаемые приятным жужжанием насекомых. Пожалуй, у Дэвида Резника была самая лучшая работа на свете.

И все же какой бы идиллической ни казалась эта картина, работа в Тринидаде всегда сопряжена с опасностью. И за сорок лет своего нахождения там Резник испытал это сполна.

Он узнал, что самый простой способ передвигаться по лесу – это пользоваться тропами животных. К сожалению, некоторые местные жители, которым нравится незаконно лакомиться мясом обитателей леса, тоже пользуются этими путями. Чтобы добыть мясо, браконьеры расставляют самодельные ловушки, представляющие собой трубку, заполненную патроном для гладкоствольного ружья и приводимую в действие с помощью растяжки. Эти самодельные ружья расставляются низко над землей. Они идеальны для того, чтобы сразить наповал рыжевато-коричневого размером с кролика грызуна под названием агути или другого четырехлапого пассажира типа маленького оленя. Но любое проходящее мимо существо спугнет их, включая двуногого биолога, который торопливо переходит от одного протока к другому. Резнику на самом деле повезло: большая часть выстрелов прошла у него между ног, но семнадцать дробинок остались в левой лодыжке, а на правое ухо он практически оглох.

В другой раз прогулка вдоль протока над водопадом чуть не закончилась падением с утеса. В итоге он повис на скале, зацепившись за куст, прямо как Индиана Джонс. В таком опасном положении он оказался после того, как поскользнулся на мокром камне, и бурлящий поток унес его к краю двадцатифутового выступа. И его спасло только то, что в самый последний момент он ухватился за росший на нем куст. Хуже того, его единственный напарник накануне серьезно поранил руку (они как раз направлялись к врачу, когда Резник оступился) и не мог ему ничем помочь. К счастью, Резник, подобно многочисленным героям боевиков, смог справиться с силами, вытянув себя с края пропасти.

Большая часть злоключений Резника была связана со змеями. Несмотря на то, что он стал ихтиологом, страсть Резника к ползучим гадам никогда не уменьшалась. В конце тяжелого рабочего дня он все равно любил выбраться и поискать лягушек, змей и всех, кто попадетс.

В разделе благодарностей научного труда, подготовленного другой группой ученых, авторы благодарят Резника за его «мудрые советы в данной области» (которые он мог спокойным тоном давать, стоя ногой на копьеголовой змее).

Копьеголовая змея – чрезвычайно ядовитая гадука. Резник утверждает, что история преувеличена, но правда в том, что там, где другие обходят змей за полверсты, он всегда подходит к ним поближе, чтобы рассмотреть, а иногда вылавливает их для того, чтобы убрать подальше с дороги.

А еще есть бродячие муравьи, прожорливые орды которых перемещаются по местности сотнями тысяч, проглатывая любое насекомое или мягкотелого животного, который не успел спастись и стал жертвой их острозубых челюстей. Людям не грозит опасность быть съеденными ими, но встреча с армией муравьев это не шутки. Взбудораженная колония муравьев идет плотным строем, обороняясь, как камикадзе. Их укусы особенно болезненны, потому что длинные челюсти впиваются прямо в кожу, а на заднем конце туловища есть опасное жало.

Время от времени продвигающаяся колонна решает идти напрямую через здание полевой лаборатории. На самом деле это не проблема: нужно всего лишь сдвинуть стулья с их пути, убедиться, что на противоположной стороне их тропы нет ничего, что может вам понадобиться, и ждать, пока они пройдут. Надо признать, что их помощь в уборке пола от мусора и других насекомых может быть весьма полезна.

Но один раз Резник выследил в лесу шикарную шестифутовую голубую с металлическим блеском змею с оранжевым брюхом – американского лесного ужа. Нырнув в траву, он схватил змею за хвост, после чего она попыталась извернуться и укусить его. Американские лесные ужи не обязательно ядовитые, но у них очень острые зубы. И лишь потом оба осознали, что оказались в самой гуще колонны муравьев, которая уже роилась вокруг них. Объявив перемирие, Резник отпустил хвост, а змея прервала атаку, и оба бросились наутек в противоположные стороны, Резник напрямик к ближайшему ручью, чтобы сбросить с себя агрессивных муравьев. И хоть муравьи успели изрядно покусать его, все же спасли от гораздо худшего исхода: был еще инцидент, когда лесной уж, которого он схватил за хвост, развернулся и укусил его в нос.

А еще случаются внезапные наводнения. Большая часть полевых работ происходит в сезон дождей, когда гроза может грянуть в любой момент. Протоки, на которых работают ученые, часто текут в узких ущельях, и когда буря случается выше по течению, вода может обрушиться без всякого предупреждения. Резник и его команда не раз оказывались в смертельно опасной ситуации, но никто, к счастью, не пострадал.

РЕЗНИК И ЕГО КОЛЛЕГИ уже обследовали большое количество мест, и теперь жизненную историю гуппи в этих популяциях можно точно предсказать, если знаешь, есть ли рядом с ними хищники. Учитывая постоянство природных мест, мы ожидали, что результаты экспериментальных перемещений будут предсказуемыми – так и есть.

Обследования водоемов, осуществленные Хаскинсом и Эндлером, выявили одинаковую предсказуемость в том, что касается окраса: в тех местах, где давление хищников слабое, у самцов гуппи цвета более яркие. Эксперименты Эндлера – десять тепличных водоемов и одно природное внедрение – дали результаты, согласующиеся друг с другом и с природными моделями вариативности. Но удивительно то, что, учитывая широкое признание работы Эндлера, на протяжении следующей четверти века никто не изучал эволюцию окраса ни в одном из других случаев перемещения гуппи. И, наконец, в 2005 году Резник с Эндлером объединились с другими экспертами, чтобы изучить рыб из одного из водоемов, куда внедрился Резник.

Так же, как и у Эндлера, гуппи у Резника тоже стали более яркими после того, как их переместили из водоема, кишевшего хищниками, в тот, где обитала только гетерандрия. Однако пути изменения их окраса были разными в двух популяциях. Эндлеровские стали более броскими, так как увеличилась доля всех цветов. А гуппи из команды Резника стали

заметно более радужными, но размер их красных и черных пятен^[60] не увеличился: фактически красные пятна стали меньше, возможно, чтобы дать место радужным оттенкам.

Почему разные способы эволюции становятся все нагляднее? Помимо присутствия рядом хищников на окрас гуппи влияет множество разных факторов. Наилучший окрас – либо для маскировки, либо для броскости – зависит от того, сколько света пробивается сквозь крону деревьев и насколько мутная вода.

Даже размер камней на дне русла ручья может сыграть свою роль. В своем тепличном эксперименте Эндлер менял размеры гальки – клал большие или маленькие – и обнаружил, что в присутствии хищников (а не в их отсутствие) размер пятна эволюционировал, сливаясь с окружающим фоном.

Как вариант разный окрас может не иметь ничего общего с различиями в среде обитания, а может стать просто результатом исторической контингентности, то есть у двух популяций были разные эволюционные истории. Окрас у предковой популяции Резника гораздо более радужный, чем у предковой популяции Эндлера. Мы не знаем, почему так случилось, но мы точно знаем, что самки выбирают себе партнеров, исходя из их расцветки, и что у самок из разных популяций разные предпочтения. Может быть и так, что у самок из предковой популяции Резника непомерная тяга к радужно окрашенным самцам. И в отсутствие хищников данное предпочтение спровоцировало эволюцию окраса самцов в сторону более разноцветного.

Но это только догадки. Гипотеза ждет своего дальнейшего подтверждения. На данный момент мы можем сказать только^[61] то, что перемещение рыбы в места с малым количеством хищников приводит к повышенной степени орнаментации окраса. Но предсказать, какую форму она примет, невозможно.

УЧЕНЫЕ ВОСПОЛЬЗОВАЛИСЬ экспериментами с гуппи, чтобы изучить предсказуемость эволюции одного дополнительного признака. Энн Магурран, оксфордский эксперт в области поведения гуппи, поняла, какие возможности дают эксперименты с гуппи. Поведение гуппи подобно многим другим аспектам их биологии отличается в зависимости от того, в какой среде они обитают – с повышенным или пониженным процентом хищников. В их присутствии гуппи из мест с большим количеством хищников обычно держатся группами и стараются находиться на расстоянии от своих врагов.

И наоборот, гуппи, обитающие в водоемах с низким процентом хищников, утратили всякую бдительность: они гораздо меньше ищут защиты в стае и ближе подплывают к своим врагам. Станут ли гуппи из экспериментальных популяций, перемещенные всего несколько лет назад из водоема, полного хищников, в водоем с малым их количеством, вести себя так же осторожно, как гуппи из их родного водоема? Или же у них разовьется более беспечное отношение к жизни?

Чтобы выяснить это, Магурран принесла рыбу в лабораторию^[62] и начала разводить ее, выращивая потомство в отсутствие хищников. Затем она провела поведенческие эксперименты в аквариуме, поместив гуппи вместе с косяком рыб и реалистичной моделью хищника, чтобы посмотреть, как они будут реагировать.

Результаты лабораторных экспериментов были вполне недвусмысленными: у рыб наблюдалось бесшабашное поведение – все им было трын-трава. Оказавшись вместе с косяком рыб, они забыли о безопасности нахождения в стае, плавая повсюду в одиночку. А когда в аквариум опустили модель щуки-цихлиды, они подплыли совсем близко, чтобы посмотреть на нее. В экспериментальных внедрениях поведение гуппи, так же как жизненная история и окрас, эволюционирует быстро и предсказуемо.

Ширил О'Стин, олимпийская чемпионка по гребле, стала впоследствии эволюционным биологом³⁶ и пошла в этой работе дальше. Она стала наблюдать не за поведением гуппи, а за результатом их взаимодействия с хищниками. Развились ли у гуппи, обитавших рядом с ними, лучшие способности уходить от опасности, чем у гуппи, живущих спокойной жизнью в их отсутствие? Чтобы проверить это, она собрала гуппи из трех экспериментальных популяций. Две были в свое время помещены Эндлером и Резником в водоемы с низким процентом хищников, а третья была взята из того места, куда Резник добавил щук-цихлид. Для каждой из этих экспериментальных популяций О'Стин подобрала другую, чтобы использовать ее в качестве сравнения.

Для двух внедрений гуппи она использовала их родственные популяции, а для внедрения щуки-цихлиды воспользовалась соседней, в которой не было щуки.

Чтобы проверить свою гипотезу, О'Стин провела в лаборатории испытания на хищника, поместив гуппи из пары популяций в водоем с щукой-цихлидой. Как и предсказывала биолог, гуппи из водоемов, где не было щук, обладали гораздо меньшими навыками выживания, чем их более искушенные двойники: во всех трех случаях сравнения наивных гуппи съедали в два раза чаще, чем их более опытных сородичей. Последующие исследования указывали на то, что гуппи, живущие рядом с хищниками, не только более осмотрительны, но также лучше спасаются в случае нападения. Исследования подтвердили, что эти различия – результат предсказуемого эволюционного изменения.

СЕЙЧАС САМОЕ ВРЕМЯ обсудить этичность экспериментальных внедрений. Агрессивные виды во всем мире представляют собой заметную экономическую и экологическую проблему. Общий запрет на намеренные внедрения видов в места, не являющихся их естественной средой обитания, даже с научными целями, многим ученым кажется здравым решением. На самом деле, именно Магурран и ее коллеги призвали ввести подобный мораторий на будущие внедрения гуппи.

В связи с перемещением рыб в другие места могут возникнуть некоторые потенциальные риски. Во-первых, такие внедрения нарушают природный порядок. Водоемы, где нет гуппи, это результат естественных процессов, и их обитатели адаптировались к жизни без них. Как показывает текущая работа Резника и других ученых, внедрение гуппи в водоем приводит к значительным изменениям экосистемы. В этом отношении можно рассматривать подобных внедренных гуппи, как еще один агрессивный вид, нарушающий природный порядок. И они ничем не отличаются от коричневой бойги, которая съела всех птиц с острова Гуам, или высасывающих воду тамарисков, которые меняют облик американского юго-запада.

Более того, влияние случаев внедрения гуппи не ограничивается водоемом, в который их выпускают.

Иногда гуппи можно остановить и не дать им продвинуться вверх по водопаду, но как только они доберутся до места над водопадом, их уже ничто не заставит упасть оттуда и спуститься вниз по течению. А добившись этого, внедренные особи могут одновременно занять ранее не заполненные другими водоемы и повлиять на природные популяции гуппи, внося туда новый генетический материал.

Эти перемещения также могут повлиять и в научном плане. Поместите гуппи в водоем, и другой ученый уже не сможет использовать его, чтобы узнать, что происходит в нем, когда там нет гуппи. По мере того, как их гены перемещаются вниз по течению, измененный генетический пейзаж влияет на потенциальное исследование всего водного протока.

³⁶ О'Стин выиграла золото на Олимпиаде 1984 года в качестве члена американской женской команды по гребле в восьмерке с рулевым.

Я задавал Резнику вопрос по поводу данной критики. И он ответил мне, что внедрение гуппи – совсем не то же самое, что перемещение неместных видов из одной части света в другую. Скорее, он копировал то, что происходит в природе, перемещая гуппи из нижних частей реки в места, расположенные выше по течению. Да, гуппи действительно иногда умудряются подняться над водопадами, карабкаясь вверх по временным ручьям, стекающим с горы в период дождей. И он видел, как наводнения вымывали оттуда гуппи. Так что наличие или отсутствие гуппи в определенном месте – вещь непостоянная, они приходят и уходят. На самом деле генетические исследования, проведенные в лаборатории Резника, показали, что в настоящее время популяции гуппи проводят в верховьях рек довольно короткое время – результат недавней колонизации. Другими словами, то, что мы видим сегодня, отражает природный баланс колонизации и исчезновения вида. То, что в водоеме, расположенном в верховьях рек, нет гуппи, вовсе не означает, что их там никогда не было и никогда не будет. Популяции гуппи постоянно колонизируют верхние водоемы, а внедрения Резника – это всего лишь имитация естественного продолжающегося процесса.

И, по сути, это философский спор о взаимосвязи научного прогресса и нерушимости природы в нашем меняющемся мире. Здесь не может быть объективно правых или неправых – есть просто разные мнения. В Тринидаде подобные внедрения не запрещены, их продолжают осуществлять с одобрения властей.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГУППИ продолжают и становятся глубже по мере того, как ученые рассматривают новые аспекты, а также то, как гуппи влияют на развитие других видов. В настоящее время Резником и другими учеными осуществляются более экспериментальные внедрения. Тем не менее на основании этих исследований уже можно сделать один главный вывод: гуппи эволюционируют предсказуемым образом в ответ на новые условия.

Исследование Эндлером экспериментального внедрения, опубликованное в 1980 году, быстро стало классикой. А всего через несколько лет за ним последовал доклад Резника об эволюции жизненной истории гуппи из второго внедрения. Научный мир обратил на это внимание: эволюционная биология может быть экспериментальной наукой даже в условиях дикой природы. И все же удивительно: много лет прошло, прежде чем было опубликовано очередное исследование экспериментальной эволюции. И целью этой работы было изучить нечто совершенно новое.

Глава шестая Ящерицы-изгои

Если вы прилетите на Багамы^[63] – не важно, в какое место, – одну вещь вы непременно увидите. Не пляжи, не казино и не пальмы. Ну, пальмы-то вы, вероятно, увидите – было бы сложно оказаться на Багамах и не заметить их. Но еще более вездесущими – их встретишь на деревьях, тротуарах, на зданиях, на кустах, на земле, да практически везде – являются маленькие коричневые ящерицы, представители рода *Anolis*, те ящерицы, которых я изучаю.

Унылое название данного вида – коричневый анолис – не передает великолепия этой ящерицы. Следует признать, что на первый взгляд эти ящерицы длиной в шесть дюймов имеют довольно скучный оттенок коричневого, хотя иногда на теле попадаются изысканные ромбовидные или V-образные черно-белые отметины, идущие вдоль спины. Но вдруг неожиданно самец поднимает голову, зачастую выпрямляя передние лапы, чтобы быть выше, и из-под шеи появляется его блестящий красно-оранжевый подгрудок. Этот парадный «галстук» сочетается с его оживленным разудалым поведением – он бегаёт, позирует, дерётся, ест, крутит интрижки. В общем, коричневым анолисам некогда скучать.



Пара коричневых анолисов

На Багамах трудно найти место, где нет этих ящериц, но Тому Шёнеру это удалось.

Являясь в настоящее время одним из видных экологов в мире, Шёнер собаку съел в том, что касается изучения карибских анолисов. Его интересовало, какое количество их видов способно сосуществовать в одном месте. В середине 1970-х годов Шёнер и его жена, биолог Эми Шёнер два года подряд летом отправлялись в плавание на Багамы, осматривая крупные и мелкие острова. Обычно Багамы описывают, как архипелаг, состоящий из семисот островов, но данное количество занижено – явное жульничество с названием. Дело в том, что самые крошечные острова – известняковые скалы с чахлыми кустиками и иногда с маленькими деревьями – официально именуют «утесами». Тысячи таких утесов разбросаны по всей территории Багамских островов, и Шёнеры посетили многие из них. Они обнаружили, что чем меньше их размер, тем меньше там растительности. А на самых крошечных утесах площадью всего в несколько десятков квадратных футов были лишь жалкие ее клочки.

И действительно, на этих крошечных островах в отличие от всех других мест на Багамах отсутствовали ящерицы.

Шёнеры решили поставить эксперимент. Казалось, что анолисы не могли выжить на маленьких островах. Но, с другой стороны, а почему нет? Даже сегодня ученым не вполне понятно, каким образом исчезают их популяции. Шёнеры воспринимали эти острова как воз-

возможность изучить процесс исчезновения вида: они решили поместить на них небольшое количество ящериц и понаблюдать за тем, как популяции сойдут на нет.

Но все пошло совсем не так. Шёнеры вели наблюдение за жизнью обитателей островов на протяжении пяти лет. Популяции на крошечных островах размером чуть больше ванны исчезли быстро. Популяции, жившие на островах чуть побольше, продержались немного дольше. Некоторые ящерицы смогли прожить в течение четырех лет. Но на всех островах с растительной зоной больше круга подачи популяции ящериц выжили и даже прекрасно себя чувствовали. Данный результат был неожиданным. Если острова были пригодны для жизни ящериц, то тогда почему они там отсутствовали? Шёнеры предположили, что, возможно, причиной являются периодические природные катаклизмы. А когда говоришь о природных катаклизмах Карибского бассейна, то первой строчкой в списке стоят ураганы.

НАУЧНАЯ ПУБЛИКАЦИЯ ШЁНЕРОВ появилась в 1983 году, но я прочитал ее только несколько лет назад, когда заканчивал работу над докторской диссертацией по теме повторяющейся адаптивной радиации анолисов. Ничего не зная о грозных ураганах, я увидел в этой публикации не историю выживания и исчезновения вида, а историю непреднамеренного эксперимента по эволюционной адаптации.

В моей докторской работе описано, как разные виды анолисов адаптировались к различным средам обитания. Одним из аспектов данной адаптации являлась длина их конечностей: у видов, лазающих по широким поверхностям, были более длинные лапы, а у тех, кто пользовался узкими поверхностями, лапы были короче. Учитывая тот факт, что на островах, куда Шёнеры внедрили ящериц, была разная растительность, их исследование представляло собой экспериментальное тестирование моделей, порожденных миллионами лет эволюционной адаптации.

Если краткосрочная и долгосрочная эволюции происходят одинаково, тогда у популяций анолисов на островах со скудной растительностью должны развиваться более короткие лапы. В то время, как у тех, что были помещены на острова с большим количеством растительности, отдаленно напоминающие ту среду, откуда их забрали, должны сохраняться более длинные конечности.

Я мечтал поставить эволюционные эксперименты с тех самых пор, когда услышал, как Джон Эндлер рассказывает о своем исследовании гуппи. Это был мой шанс. Все, что мне нужно было сделать, это убедить Тома Шёнера, что это хорошая идея.

Удобный случай подвернулся несколько месяцев спустя, на национальной конференции. Я заранее вышел на Шёнера, и мы договорились встретиться во время кофе-брейка. Нервничая, я высказал ему свою точку зрения, что, внедрив ящериц на острова с разными типами растительности, он, по сути, поставил эволюционный эксперимент, проверив влияние условий окружающей среды на адаптацию ящериц. Его реакция была такой, какую я не мог представить себе в самых смелых своих мечтах: он пригласил меня присоединиться к нему в его лаборатории в Калифорнийском университете в Дейвисе, чтобы исследовать, эволюционировали ли популяции так, как я предсказывал. Два года спустя, весной 1991 года я оказался на маленьком острове Стениел-Кей в центре Багамского архипелага.

КОГДА Я РАССКАЗЫВАЮ ЛЮДЯМ, что занимаюсь полевыми исследованиями на Багамах, они пытаются скрыть усмешку, но я всегда вижу ее. Я знаю, что они себе представляют: пляжи, пальмы, гамаки, коктейли «майтай» в стаканах с воткнутыми в них маленькими зонтиками.

Остров Стениел-Кей выглядел совсем иначе. Хотя бы потому, что из развлечений там только тучная негритянка без зонтика.

К тому же, там с трудом можно было найти пляжи, а растительность была представлена в основном редким сухим лесом с небольшим вкраплением пальм. Вместо легендарных курортов и роскошных уединенных вилл наличествовал только яхт-клуб «Стениел-Кей», в котором роскошным было только его название. Но чем этот клуб действительно выделялся, так это своим фирменным блюдом – макаронами с сыром, а еще огромными летающими тараканами. Номера были обшарпанными, а среди постояльцев встречались банкиры, матросы и даже перевозчики наркотиков.

Моя работа заключалась в том, чтобы поймать как можно больше ящериц из четырнадцати островных популяций, основанных Шёнерами более десяти лет назад. Целью было проследить, изменилась ли у ящериц, взятых из одного источника, длина лап в процессе адаптации к разным типам островной растительности.

Ловля коричневых анолисов – один из самых занятных видов полевой работы и может осуществляться самыми разными способами. Самый простой – это выйти на улицу ночью и попытаться схватить их, пока они дремлют. Анолисы спят очень открыто: на листьях и на концах тонких веток. Такие постели позволяют им мирно отдыхать: они знают, что любые вибрации, идущие от приближающегося к ним ночного хищника, выведут их из оцепенения в самый удобный для побега момент. Подобная стратегия выработалась с целью пресечь хищнические поползновения разных змей, крыс и многоножек – всех, кому нужно пройти по ветке, чтобы добраться до ящерицы. Но, к сожалению, она не срабатывает в случае с двуногим хищником с фонариком. В ярком свете ящериц четко видно на фоне зеленой листы. Кто-то из них забирется высоко на деревья, но большинство ящериц находится в пределах досягаемости, и единственная сложность в том, чтобы ухватить их. Я аккуратно зажимаю их между двух ладоней, прежде чем они проснутся, разбуженные светом.

Второй способ охоты на ящериц более спортивный: для самых активных ящериц я использую лассо. Для этого я мастерю маленькую петлю из какого-нибудь волокнистого материала – я предпочитаю брать вощеную нить для зубов, белую, но не мятную зеленую, потому что ее не разглядишь среди листы.

Прикрепив аркан к десятифутовой удочке, я выхожу на охоту. Как только я замечаю ящерицу – в идеале она должна сидеть на дереве в своей выжидающей позе, рассматривая окрестности и чуть приподняв голову, – я медленно подхожу к ней на десяток футов. Некоторые ящерицы не позволят вам подойти так близко, но коричневые анолисы делают это часто. Затем еще более медленно я придвигаю петлю, закрепленную на конце удочки, ближе к ящерице и накидываю ей на голову. Почему ящерица позволяет мне это сделать? Им незнаком этот гибкий кусочек белой нити, но и не опасен. На самом деле, иногда они пытаются поймать его и съесть.

Если все идет хорошо, я накидываю петлю вокруг шеи, а потом быстро тяну ее на себя. Вес тела ящерицы, сопротивляющейся натяжению нити, заставляет петлю затянуться туго. У них сильные шеи, а вес тела небольшой, так что ничего, кроме удивления, они не испытывают: задето бывает только их чувство собственного достоинства. Они, конечно, не испытывают при этом радости, хотя, как подтверждают их раскрытые рты, также не упускают возможности укунить меня, когда я вынимаю их из петли. У ящериц есть зубы, иногда довольно острые. Но у коричневых анолисов размер зубов такой, что они редко могут прокусить ими кожу.

Ах, если бы охота на ящериц была такой простой! На самом деле, судя по этому описанию, процесс поимки кажется легче, чем это есть на самом деле. Эти острова – не самое простое место для работы. Состоящие из пористого известняка утесы на островах подвергаются сильнейшей эрозии, что приводит к образованию на скальной поверхности отверстий, зазубренных краев и фрагментов, которые могут непредсказуемым образом подломиться под ногой.

Растительность там неоднородная: местами густая, а где-то преобладает метопиум ядовитый, неприятный родственник сумаха, способный вращать в дерево.

Да и сами ящерицы могут представлять собой проблему. Если некоторые будут стоять неподвижно и позволят вам накинуть петлю им на шею, то большинство ящериц, как минимум, бывают настороже, отворачивая голову в сторону, когда петля приближается, и даже пятась по ветке назад. Плюс растительность затрудняет перемещение петли, а не вовремя случившийся порыв ветра относит ее в сторону. По этим причинам я сравниваю охоту на ящериц с ловлей рыбы внахлест – это некая первобытная битва человека с примитивным орудием и животного с крошечным мозгом. Я говорил об этом со многими любителями ловли внахлест, но обычно встречал недоверие и скептицизм.



Очевидно, что ловля внахлест это некий райский опыт, не имеющий аналогов на этой бренной земле. Тем не менее я могу сказать, что процесс поимки ящериц – это настоящая битва человека с природой, та, в которой меня зачастую переигрывает ящер, обладающий мозгом размером с горох.

Но есть и еще один способ добыть анолиса: подойти к нему и схватить его руками. В моем случае данный прием никогда не работает: ящерицы чувствуют мои намерения задолго до того, как я подойду к ним, и сматываются. Но один из моих коллег, Мануэль Лил, родившийся и выросший в Пуэрто-Рико среди анолисов, может подкрасться к ним, а затем молниеносным броском руки сорвать ящерицу с дерева. Я так до сих пор и не разобрался в магии этого заклинателя ящериц.

Для данного конкретного исследования сам акт поимки ящериц был лишь частью задачи. Гораздо сложнее было для начала добраться до крошечных экспериментальных островов. От Стениел-Кей острова находятся не так далеко – все они на расстоянии нескольких миль. Но так как я вырос в Сент-Луисе, то практически не владел навыками управления лодкой, не говоря уже о том, чтобы чинить капризные лодочные моторы. Каждый день, когда я выходил в море на судне Boston Whaler, который я арендовал в клубе, было непонятно, вернусь ли я назад или мне придется ждать, пока персонал не поймет, что я пропал, и не пошлет за мной кого-то.

Со временем у меня выработалась привычка брать с собой книгу и читать, пока идет поисковая операция.

Но самым неприятным моментом моего путешествия был тот день, когда мотор судна заглох прямо у крупного острова – он был гораздо крупнее экспериментальных островков, – на котором стоял дом, больше похожий на складское помещение, и имелась взлетная полоса. Островом владел человек, который, по слухам, был замешан в уголовных делах (в тот период на Багамах пышным цветом цвела наркоторговля, так как там находился перевалочный пункт из Южной Америки в США). Мне было сказано, чтобы я любой ценой избегал этого острова и его неблагонадежных обитателей. И теперь я оказался там, дрейфуя прямо у берега с заглохшим двигателем. Испытывая заметный мандраж (вряд ли я когда-то испытывал большой страх), я причалил к берегу, подошел к двери и постучал. Мне ответил дружелюбный мужчина. Я объяснил ему свое затруднительное положение, он связался по радиации с клубом, и пятнадцать

минут спустя я продолжил свой путь. Кто бы мог подумать, что наркомельцы такие милые люди. А может быть, они просто оценили наш достойный эксперимент?

Когда я ловил ящериц, я сразу укладывал их в маленькие пакеты и убирал в холодильник, чтобы они не перегрелись. В конце дня я возвращался в свой клоповник (самый неприятный момент заключался в том, что когда я насыпал в миску мюсли, чтобы позавтракать, из коробки вываливалось с десятков тараканов). Там я вкалывал ящерицам снотворное и быстро измерял длину их конечностей, пока они не придут в себя. На следующий день я возвращал их обратно на острова и отпускал ровно в том же месте, где поймал, целыми и невредимыми, да еще с кучей историй для своих сородичей.

Работа продвигалась гораздо медленнее, чем ожидалось. Стояла сухая ветреная весна – ужасные условия для ловли ящериц. Отсутствие дождей подавляло активность насекомых, а это означало, что им не хватало корма. Да к тому же, одновременное воздействие солнца и ветра способствовало потере влаги. Будучи чувствительными к засухе, ящерицы старались спрятаться подальше в ожидании лучших времен.

В середине дня было хуже всего: активность ящериц сходила на нет. За это время я прочитал всю свою печатную продукцию. Но когда мое путешествие четыре недели спустя подошло к концу, я смог поймать и измерить сто шестьдесят одну ящерицу.

Это происходило в то время, когда еще не было лэптопов. Каждый раз, делая замеры, я записывал их на листочке бумаги. Чтобы иметь всю информацию перед глазами, я пользовался старым проверенным методом и вносил данные в расчерченную вручную таблицу. В моих графиках не просматривались какие-то очевидные модели. И это совпадало с теми выводами, которые я сделал: между ящерицами с разных островов не было заметной разницы. Не могу сказать, что я был удивлен: все-таки популяции были молодые. Пожалуй, было еще рано ждать, что они эволюционируют за столь короткий промежуток времени.

Я вернулся в свой офис в Дейвисе и занялся текущими проектами. Про ящериц я не забывал, просто они перестали быть первостепенной задачей. Я уже знал, что там ничего не менялось, поэтому не торопился вбивать новые данные в компьютер. Но в конечном итоге я выполнил все пункты из списка необходимых дел и занялся вводом данных в статистическую программу на своем компьютере. Наконец-то настало время провести формальный анализ.

Поначалу я неверно истолковал результаты, высветившиеся на экране, посчитав их подтверждением моего предположения, что на островах не произошло ничего заметного. Но затем я снова взглянул на экран, и тут меня осенило. Популяции ящериц не только эволюционировали – все произошло в точности так, как мы и предсказывали. На тех островах, где ящерицы перемещались по тонким веткам, они, как правило, имели очень короткие лапы. А на островах, где животные использовали насесты пошире, их лапы были в целом длиннее. Мы экспериментальным путем продемонстрировали быструю адаптивную эволюцию в природе. (Нет нужды говорить, что это был последний раз, когда я использовал вручную расчерченную таблицу, чтобы увидеть предварительные итоги. В свою защиту могу сказать, что различия в длине лап между популяциями – хоть это и статистически важная информация – были маленькими и, следовательно, незаметными на самодельном графике).

Далее нам понадобилось какое-то время, чтобы осуществить полный и всеобъемлющий анализ и написать монографию.

К тому времени, когда наша публикация вот-вот должна была появиться в британском журнале Nature, мы с Томом Шёнером вернулись на Багамы для очередного полевого исследования (к нам также присоединился наш коллега Дэвид Спиллер). В этот раз мы занимались новым экспериментом на северном острове Багам Абако. Условия размещения заметно отличались от прошлых: номера лучше, еда лучше, меньше тараканов. Но, все равно, в наших номерах не было ни телефонов, ни интернета.

Не подозревая о том, что нас ждет, я до отъезда изменил сообщение, записанное на моем автоответчике в офисе, сказав, что со мной можно связаться, оставив для меня сообщение на стойке регистрации в крошечном мотеле, где я остановлюсь.

А потому мне было невдомек, что пиар-служба журнала Nature выпустила пресс-релиз, в котором сообщалось, что «вероятно, это одна из самых важных работ в области эволюционных исследований со времен, когда Дарвин изучал многообразие выюрок на Галапагосских островах в ходе своего путешествия на «Бигле». Ну, положим, работа была неплохая, но данная похвала – это уже чересчур.

Где-то в середине нашей командировки я вернулся к себе в номер после долгого дня на островах и нашел сообщение от владельца отеля, который также совмещал обязанности дневного менеджера. Он сообщил мне, что звонил репортер из «Нью-Йорк Таймс». На следующий день настала очередь «Бостон Глоуб» и «ЮЭсЭй Тудей». А еще через день «Эй-би-си Ньюс» захотели отправить на Багамы свою съемочную команду, чтобы сделать репортаж.

Владелец отеля был явно в шоке. Проработав в гостиничном бизнесе многие годы, он думал, что видел все. Со стороны, наверно, странно наблюдать, когда человек проделывает такой длинный путь до Багамских островов только для того, чтобы поохотиться здесь на ящериц. Я казался ему довольно безобидным типом, но явно с поехавшей «крышей». А потом неожиданно представители мировых СМИ начинают ломиться к нему в дверь, пытаясь найти меня и попутно блокируя его единственную телефонную линию. Возможно, это совпадение, но вскоре после этих событий он выставил свой отель на продажу.

Мы вернулись с Багамских островов ровно в тот момент, когда вышел материал (Nature выпустил свои пресс-релизы за неделю до публикации нашей работы, но настаивал на запрете объявления о результатах исследования до дня официального опубликования.) Я получил свои пятнадцать минут славы.

Должен признать, что я почувствовал глубокое волнение, увидев свое имя в первом разделе «Нью-Йорк Таймс» и на первой полосе «Бостон Глоуб», не говоря уже о «ЮЭсЭй Тудей» и многих других газетах и журналах. «Эй-би-си Ньюс» показали репортаж, хотя и не с места событий. Я принимал поздравления от друзей и коллег, ближних и дальних. Главная мысль заключалась в том, что мы наглядным образом продемонстрировали удивительно быструю эволюцию, и удалось нам это с помощью эксперимента, проведенного в условиях дикой природы. Даже с учетом исследований Эндлера и Резника это все равно было большим событием.

Так же, как в случае с гуппи, целью нашей работы было изучить предсказуемость эволюции, протестировав наблюдения за природной вариативностью. Находясь в процессе адаптации на протяжении многих миллионов лет, ящерицы анолисы отличаются друг от друга длиной лап в зависимости от диаметра используемых ими поверхностей. Получим ли мы тот же самый результат по прошествии нескольких лет, если поместим изначально похожие популяции на острова с разным типом растительности? Ответом нам было «да». По прошествии десяти лет эволюции четырнадцать наших популяций отличались друг от друга пропорциями конечностей: длина их лап была пропорциональна ширине веток, по которым они лазили. Так же, как в исследованиях, посвященных гуппи, мы могли предсказать, как будут эволюционировать ящерицы: воссоздайте условия, в которых находятся природные популяции, и экспериментальные сообщества будут адаптироваться повторно тем же самым образом.

НО ТАК ЖЕ, КАК В СЛУЧАЕ С ГУППИ, нам пришлось рассмотреть и другую возможность: различия в длине лап между популяциями не были результатом возникших генетических изменений. Когда я проводил беседы по данному исследованию, то в аудитории всегда находился человек – как правило, докучливый ботаник, – который задавал вопрос о фенотипической пластичности. А были ли в действительности различия между популяциями резуль-

татом генетического изменения? Не могло ли случиться так, что у ящериц, рожденных на островах со скудной растительностью, просто выростали более короткие лапы?

Мне казалось немислимым, что на длину лап ящерицы может повлиять диаметр используемых ею поверхностей.

Как может узкий насест, которым ящерица пользуется с раннего возраста, заставить лапы расти меньше? Но мне продолжали задавать этот вопрос, и я знал, что мне придется на него ответить.

Я перелопатил библиотеку, чтобы выяснить, что известно о влиянии диаметра насеста на интенсивность роста конечностей у ящериц. Это не заняло много времени, потому что никто еще не изучал данную проблему. Тем не менее я нашел немало соответствующей литературы на тему влияния двигательной активности на рост конечностей у позвоночных животных. Общей целью данной работы было определить, повлияла ли разного рода двигательная активность на то, как развивались у животного конечности в период его роста. Эти исследования включали ряд самых диковинных экспериментов, о которых я раньше не слышал.

Так, в одном исследовании ученые заставляли молодую лабораторную мышшь бегать по колесу-тренажеру по десять часов в день, в то время как контрольная группа мышшь бездельничала в своих клетках. В другом эксперименте молодых крыс бросали в ванну, наполненную водой, и заставляли их плавать в течение четырех часов. Или вот еще пример: цыплят помещали на беговую дорожку и заставляли их подолгу двигаться.

Результаты этих экспериментов были довольно похожими. У животных, которых подвергали продолжительным физическим нагрузкам, формировались более толстые кости конечностей. В данном случае можно провести параллель с людьми: у тяжелоатлетов более толстые кости рук, чем у других людей. А причина в том, что кость на самом деле – очень подвижная субстанция, она постоянно потребляет или теряет кальций. Когда кость испытывает нагрузку, например, во время спортивных занятий, то в ней увеличивается потребление кальция для придания ей большей силы. Таким образом, ширина кости – это пластичный признак, на который влияет поведение животного.

Но наши результаты не касались *ширины* кости. Мы изучали ее длину. И по большей части в ходе данных исследований мы не обнаружили различий в длине конечностей, обусловленных двигательной активностью. Однако было одно заметное исключение – исследование 1950-х годов, посвященное профессиональным теннисистам мужского пола. Если задуматься, то профессиональные игроки бьют по мячу с раннего детства, подвергая регулярной серьезной нагрузке свои руки на протяжении всего периода роста организма.

Привлекательность данного исследования заключалась в том, что каждый индивидуум мог сам осуществлять над собой собственный контроль, сравнивая нагрузку подающей и неподдающей руки.

И действительно, когда бьешь по теннисному мячу годами, без перерыва, то твоя рука и вправду становится длиннее³⁷. Измерения осуществлялись на рентгеновских снимках, так что были заметны различия в изменении – именно кости, а не связок или мышщ.

Очевидно, использование конечностей тем или иным образом в период их роста может повлиять на их длину. Гипотеза о фенотипической пластичности была не такой уж неправдоподобной. Но между профессиональными теннисистами, бьющими по мячу, и ящерицами, висющими на ветках, все-таки существенная разница. Было понятно, что нам придется заняться изучением пластичности.

Самым очевидным способом было поймать на исследуемых нами островах молодых ящериц (или самку, высиживающую яйца), выращивать их всех в одинаковых лабораторных усло-

³⁷ Конечно же, в теории причинная обусловленность может работать и противоположным образом. Возможно, только люди с асимметричными руками становятся профессиональными теннисистами.

виях и наблюдать, будут ли проявляться различия. Однако в тот момент у нас продолжались исследования, а популяции были маленькими. Мы боялись, что если переместим большое количество ящериц с островов, это повлияет на результаты нашего эксперимента. Так что эксперимент с общей посадкой пришлось исключить.

Мы перешли к плану Б – противоположному варианту. Вместо того, чтобы брать ящериц из разных популяций и выращивать их в одном месте, мы взяли ящериц из одной популяции и выращивали их в разных условиях. Одна группа ящериц росла в террариуме с широкой плоской дощечкой (два на четыре), на которой они сидели. А во второй группе единственным насестом был очень узкий стержень шириной в четверть дюйма. Эксперимент должен был показать, повлияет ли использование таких разных поверхностей в период роста ящериц на то, какой длины у них вырастут лапы. Другими словами, сможет ли фенотипическая пластичность породить различия, сравнимые с теми, что мы наблюдали среди наших природных популяций?

Я осуществил этот эксперимент, только чтобы заткнуть рты надоедливым ботаникам и продемонстрировать, что если растения растут по-разному в различных условиях, вовсе не означает, что лапы у ящериц сделают то же самое. Но потом я был немало удивлен, когда увидел полученные данные, и понял, что ошибался. Чертовы ботаники! Поместите молодую растущую ящерицу на широкую поверхность, и ее лапы станут в итоге длиннее, чем у ящериц, что выросли на узких веточках, даже если учесть различия в общем размере тела.

Тем не менее это исследование также наводило на мысль, что различия, которые мы наблюдали среди популяций на наших экспериментальных островах, были слишком велики, чтобы объяснить их пластичностью. Лабораторный эксперимент предоставлял ящерицам более отличающиеся условия: узкий прут и широкая дощечка, чем различия в диаметре насеста на экспериментальных островах. И все же разница в длине лап среди островных популяций была в три раза больше, чем полученная в лаборатории. Другими словами, даже при совершенно различных условиях фенотипическая пластичность была ответственна лишь за долю вариативности, наблюдаемой на островах. В итоге мы пришли к выводу, что возникшие генетические изменения, вероятней всего, ответственны за большую часть различий в длине конечностей, наблюдаемых среди экспериментальных островных популяций.

Это, конечно же, был не самый верный способ проверить, есть ли генетическая основа для различия в длине конечностей. Но в то время, когда мы выполняли эту работу, невозможно было напрямую исследовать геном и определить гены, отвечающие за длину лап. Даже двадцать лет спустя мы еще не докопались до истины. Но в ближайшие несколько лет ученые наверняка определят соответствующие гены, и мы сможем узнать, какие именно ответственны за вариативность длины конечностей среди популяций.

ПРЕДСТАВЬТЕ СЕБЕ, ЧТО ВЫ – АНОЛИС, живущий на маленьком изолированном острове на Багамах. Вы много времени проводите на земле, ловя насекомых и общаясь со своими сородичами.

А потом в один прекрасный день вдруг из ниоткуда на острове появляется парочка больших нескладных ящериц. Они немного неуклюжи и не умеют лазать по деревьям, но у них большие рты, и они явно дают вам понять, что не прочь слопать вас на ужин. Что вы сделаете?

Ответ очевиден любому, у кого есть хоть капля здравого смысла. Залезть на куст, держаться подальше от земли и остерегаться этих зверюг. Но потом у вас возникает другая проблема: у вас слишком длинные лапы, чтобы с легкостью передвигаться по узким веткам. Вам необходимы определенные эволюционные усовершенствования.

Вот, если вкратце, в чем заключался наш следующий эксперимент. После успеха первого исследования Шёнер, Спиллер и я решили попробовать осуществить еще одно исследование. В этот раз мы проводили его специально для того, чтобы проследить эволюционное изменение. Мы проверяли предсказуемость, основываясь на наблюдениях за природным миром. В про-

пессе своих путешествий по Багамским островам двадцатью годами ранее Шёнер обнаружил, что коричневые анолисы забираются выше на деревья и кусты на тех островах, где обитают более крупные и ведущие преимущественно наземный образ жизни ящерицы.

В этот раз наш прогноз был двойным. Во-первых, в присутствии хищника коричневые анолисы будут подниматься выше от земли, забираясь на кусты. И, во-вторых, впоследствии они адаптируются к этому новому образу жизни, в результате чего их лапы снова станут короче, чтобы было удобнее передвигаться по узким поверхностям.

Общими условиями наше исследование напоминало предыдущее: мы сфокусировали свое внимание на популяциях коричневых анолисов, живущих на крошечных известняковых островах. Но в этот раз мы работали на островах размером чуть больше, где анолисы уже присутствовали. Мы лишь добавили туда крупного наземного поедателя ящериц.

«Плохим парнем» в нашем эксперименте выступала масковая игуана, приземистая ящерица, которая бывает в два раза длиннее и в десять раз тяжелее коричневых анолисов. Если ее потревожить, то рептилия убегает, свернув свой хвост в «баранку». Почему она так делает, неизвестно. Возможно, она посылает сигнал хищнику: «Я вижу тебя. Не трать время, гоняясь за мной». А может быть, она пытается перенаправить атаку на свой бросовый хвост.

Как бы там ни было, довольно комично наблюдать, как неуклюжая ящерица, переваливаясь из стороны в сторону, улепетывает, свернув хвост над телом колечком.

Анолисов, понятное дело, меньше забавляет клоунский облик ящерицы. Масковые игуаны съедят все, что попадет в их огромные пасти, включая других ящериц.

И хотя сама идея нашего эксперимента казалась правильной, мы совсем не были уверены в его исходе. Говорят, что масковые игуаны едят анолисов, но мы понятия не имели, насколько важным в плане экологии являлся фактор наличия подобных хищников. Повлияет ли это заметным образом на популяции анолисов? У нас не было никакой доступной информации, чтобы ответить на этот вопрос. Это можно было выяснить только с помощью эксперимента.

Масковые игуаны встречаются на крупных скалах в районе Абако и периодически колонизируют соседние более мелкие острова. Так что осуществляемые нами перемещения ящериц копировали текущий естественный процесс. Для начала мы наметили двенадцать островов и рассортировали их по размеру и растительному покрову на шесть пар.

Затем, бросив монету, мы выбрали, на какой остров из каждой пары отправятся пять масковых игуан, а какой остров будет контрольным.

«Захват» масковых игуан был осуществлен в апреле 1997 года. Ловить таких ящериц еще сложнее, чем анолисов, потому что приходится пользоваться длинной двадцатифутовой палкой, ведь масковые игуаны более осторожны, и не позволяют подойти к ним близко. В результате, чтобы подвести петлю к голове ящерицы, требовалась хорошая регуляция моторики, особенно в ветреный день И это серьезно затрудняло нам задачу.

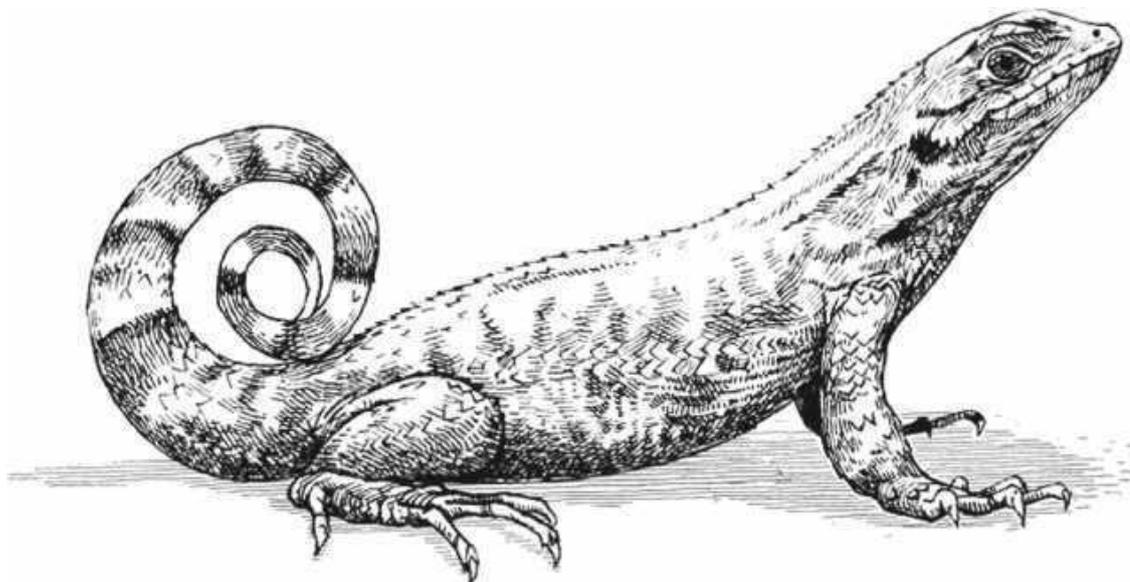
Однако конечный результат был такой же: ящерица свисает с палки, а лассо из зубной нити затянуто вокруг ее шеи. Единственное различие заключалось в том, что нужно было быть предельно аккуратным, чтобы вынуть закрученные хвосты из петли, потому что рты у этих ящериц больше, чем у анолисов, и их укусы, соответственно, больнее.

Для первой проверки мы вернулись на остров три месяца спустя, не зная, чего ожидать. Выжили ли масковые игуаны в своих новых домах? Повлияло ли каким-то образом их присутствие на анолисов? Конечно, у нас были свои предположения, но лишь на уровне догадок.

Результаты нас поразили. Размер популяций анолисов на островах, где жили масковые игуаны, был в два раза меньше, чем размер популяций с контрольных островов. И эта разница сохранялась до конца эксперимента. На контрольных островах анолисы продолжали обитать на земле или рядом с землей, а на островах, где жили масковые игуаны, анолисы перемещались выше, подальше от земли и от своей гибели. По прошествии двух лет эксперимента

анолисы, обитавшие рядом с игуанами, сидели уже в среднем в семь раз выше, чем ящерицы с контрольных островов.

Все оказалось не так, как мы ожидали. Анолисы поднимались выше по кустам и использовали узкие поверхности веток.



Масковая игуана

Просто наблюдая за тем, как ящерицы неуклюже карабкаются по этим узким поверхностям, мы уже могли сказать, как плохо они адаптировались. Мы предполагали, что естественный отбор продемонстрирует свою чудесную силу, и через несколько лет лапы у ящериц станут короче, и они лучше адаптируются к своей новой древесной среде обитания.

К сожалению, этого нам так и не удалось узнать. В сентябре 1999 года ураган «Флойд», монстр четвертой категории, нанес прямой удар по побережью Абако. Наши экспериментальные острова, расположенные всего в нескольких футах над уровнем моря, на несколько часов накрыло штормовой волной. Всех ящериц смыло водой. Эксперимент завершился.

На самом деле, это был уже второй раз за три года, когда наш эксперимент останавливал ураган. Мы перенесли наши действия на Абако после того, как ураган «Лили» прошел прямо над нашими головами в Джорджтауне на Багамах в октябре 1996 года, смыв всех ящериц еще с одной гряды островков. Благодаря этим событиям мы много узнали о силе и последствиях ураганов и поняли правоту Шёнера, который объяснил, почему на маленьких островах не было ящериц. И хотя мы совершенно случайно стали специалистами по ураганам, это далось нам ценой преждевременного прекращения нескольких наших долгосрочных и довольно затратных экспериментов.

Но был в этом и позитивный момент. Теперь, когда мы знали, какое существенное влияние оказывают масковые игуаны на анолисов, мы могли подкорректировать наш следующий эксперимент. И еще один подарок судьбы: «Флойд» прошел раньше по времени, чем предыдущие ураганы, еще до того, как у ящериц закончился сезон размножения. И хотя всех ящериц смыло с островов штормовой волной, отложенные ими яйца сохранились. Месяц спустя мы с огромным удивлением обнаружили, что остров заполнен детенышами ящериц, вылупившимися из яиц, которые выжили после шестичасового нахождения в воде во время вызванного «Флойдом» наводнения.

Но нам все равно пришлось ждать несколько лет, пока на островах не восстановится растительность и популяции ящериц. Однако уже в 2003 году мы вернулись к работе: «Масковые

игуаны. Внедрение. Дубль II». План в целом был тем же: внедрить масковых игуан на конкретные острова. Но в этот раз мы сделали кое-что другое. Нашей целью было не только проследить за эволюцией популяций, но и фактически «измерить» сам естественный отбор.

Если говорить конкретно, то наша гипотеза заключалась в том, что присутствие масковых игуан изменит модели естественного отбора. Наш прогноз состоял из двух частей. Изначально мы думали, что анолисы с длинными лапами – быстрее и, соответственно, смогут лучше ускользнуть от преследующих их на земле игуан, а значит будут лучше выживать. Но со временем мы ожидали, что анолисы сменят свою среду обитания, переместившись с земли на кусты, как они делали в предыдущей версии эксперимента. После того, как ящерицы уйдут с земли подальше от живущих там масковых игуан (которые слишком велики, чтобы лазать по иным кроме толстых деревьев поверхностям), длинные лапы перестанут быть преимуществом. Соответственно, мы решили – как и в нашем эксперименте на острове Стениел-Кей, – что естественный отбор будет способствовать появлению ящериц с более короткими лапами, на которых лучше перемещаться по узким поверхностям.

Естественный отбор поощряет тех особей, которые произведут более жизнеспособное потомство, способное дожить до следующего поколения. Есть несколько способов максимально усилить этот репродуктивный успех: обеспечивая выживаемость особей и продолжительность их жизни, доводя до максимума количество спариваний (так называемый «половой отбор») и доводя до максимума количество рожденного потомства за сезон спаривания. В данном случае мы проверяли, насколько хорошо адаптировались ящерицы к условиям обитания. Поэтому критерием эволюционной выносливости мы выбрали выживаемость.

Чтобы определить, связана ли выживаемость с длиной лап, в самом начале эксперимента нам пришлось поймать анолисов, измерить их и дать каждому индивидуальный идентификатор, чтобы мы могли потом определить, как долго они прожили. Проживут ли ящерицы с более короткими лапами дольше? Чтобы выяснить это, мы, прежде чем внедрять хищников, посетили все острова и выловили максимальное количество анолисов.

Когда орнитологам нужно найти конкретных птиц в популяции, они надевают им на лапы маленькие пластмассовые цветные браслеты. Каждая птица получает уникальную комбинацию цветов на двух лапах. И тогда ученый может определить ее на расстоянии с помощью бинокля (правая лапа: сверху оранжевая, а потом две черных полосы; левая лапа: желтая, оранжевая, желтая – это Фред!)

Но анолисы, к сожалению, слишком малы, чтобы вешать им такие браслеты или вживлять микрочипы, как проделывают это ветеринары с собаками и кошками. Отметки на их коже будут теряться каждый раз, когда ящерица ее сбрасывает. А это происходит неоднократно в течение лета. А потому герпетологи используют метод, разработанный для маркировки лосося, когда под кожу рыбе вводят цветные нетоксичные резиновые нити. Так как кожа ящерицы на обратной стороне лап прозрачная, то неоновые цвета эластомеров – люминесцентный зеленый, желтый, розовый, оранжевый – сразу бросаются в глаза, когда ящерицу ловят повторно. Варьируя цвета и места инъекции на лапах, мы присваивали каждой ящерице свой уникальный цветовой код.

Исходя из своего предыдущего опыта, я посчитал, что удобнее будет обрабатывать ящериц на островах сразу же после поимки, чем перевозить обратно в отель, держа там целую ночь, а на следующий день возвращать домой. Для этого требовалось установить рабочую станцию. В основном острова состоят из колючего известняка, который не годится в качестве рабочей или сидячей поверхности. Тогда я позаимствовал на время пластиковый стул из своего номера и отвез его на моторной лодке к островам.

В определенных смыслах это было идеальное место для лаборатории. Острова были достаточно маленькими, так что я всегда находился всего в нескольких футах от океана. Там

часто можно было увидеть плывущих скатов или морских черепах. Время от времени мимо проплывала стая дельфинов.

С другой стороны, там отсутствовали деревья, под которыми можно было спрятаться: острова подвергались прямому воздействию лучей палящего багамского солнца. В безветренную погоду в полуденное время дышать было нечем. Да к тому же я с ног до головы был одет в солнцезащитный костюм. Зато огромная широкополая шляпа размером с маленькую летающую тарелку давала немного тени, хоть и делала меня объектом насмешек со стороны толпы туристов, проплывавших мимо на лодках. Ветреная погода рождала смешанные чувства: мне определенно становилось прохладнее, но материалы и шляпу могло в любой момент унести ветром.

Весь процесс заключался в том, что я ловил ящерицу, возвращался к своему стулу, садился и измерял ее, делая это предельно аккуратно, чтобы не выронить извивающуюся рептилию, пока я записываю данные в ноутбук. Затем я брал стоявший рядом контейнер-морозильник, в котором лежали четыре шприца. Каждый шприц был заполнен жидкостью разного цвета и охлаждался на льду, чтобы эта жидкость не затвердела раньше времени. Шприц втыкался ящерице прямо под кожу, и туда же вводилась цветная жидкость. Она быстро затвердела, превращаясь в плотную резиновую субстанцию, а ящерицы возвращались ровно в то место, где их поймали. Весь процесс занимал по времени не больше десяти минут.

Все процедуры продолжались примерно около месяца, но в итоге мы выловили почти всех ящериц на двенадцати островах. Теперь каждая из них имела свою уникальную маркировку: мы могли вернуться туда, снова поймать эту ящерицу и узнать ее по цветовому коду. Но самое важное, мы знали все об этой ящерице: какого она размера, какой длины у нее лапы, сколько у нее чешуек на подушечках. Мы могли понять, связана ли ее выживаемость с фенотипом: будут ли ящерицы с короткими лапами выживать лучше, чем ящерицы с длинными лапами? Ключевой аспект нашего эксперимента – изменит ли присутствие масковых игуан ход естественного отбора?

Как только все ящерицы были измерены, мы провели очередную «облаву» на масковых игуан на Абако и внедрили счастливых победителей в их новые роскошные дома на других островах. И снова хищники отправились на шесть из двенадцати островов, а шесть других служили контрольными. Затем мы улетели обратно домой, предоставив ящерицам возможность самим решать свою судьбу.

Шесть месяцев спустя, на выходные, выдавшиеся по случаю Дня благодарения, мы вернулись, чтобы изучить ситуацию на месте. Нашей целью было поймать всех до одного анолисов на каждом острове, чтобы выяснить, кто из них выжил, а кто нет. Прodelать это непросто. Поймать первые восемьдесят – девяносто процентов анолисов не трудно, а вот чтобы добраться до самых последних, требуется особая ловкость, так как всегда какая-нибудь парочка ящериц будет ускользать от тебя, то высывая головы, то снова ныряя в листву и оставаясь там невидимыми и неслышимыми.

Выловив ящериц, мы переворачивали их на спину, чтобы проверить лапы.

Цвета обычно легко распознавались, но на всякий случай мы захватили с собой фонарик, так как под лучами ультрафиолета нити начинают сиять. Закончив осмотр – он занимал не больше минуты, – мы ставили на спине ящерицы крошечную отметку, чтобы знать, что она уже была поймана, после чего выпускали ее в том месте, где выловили.

Наша гипотеза заключалась в том, что естественный отбор воздействует на длину лап. Чтобы проверить эту идею, мы подсчитали так называемый «уклон отбора», который в данном случае представлял собой, по сути, разницу в длине лап выживших и погибших ящериц. Большая положительная величина указывала бы на то, что длинноногие ящерицы выживают лучше, а большая отрицательная величина показывала бы обратное.

На контрольных островах, где отсутствовали масковые игуаны, уклон отбора в основном стремился к нулю: длина конечности не влияла на выживаемость. Но на тех островах, где жили масковые игуаны, история была иная. Все величины были большими и положительными. В присутствии игуан длинноногие ящерицы выживали лучше. Наличие хищников меняло ход естественного отбора в точности так, как мы и предсказывали.

Мы вылавливали ящериц – это происходило в ноябре – и одновременно записывали, где их обнаружили. Так же, как и в предыдущем эксперименте, анолисы перебирались в кусты, чтобы спрятаться от масковых игуан: на контрольных островах ящерицы находились на земле треть всего времени, и лишь в десяти процентах случаев это происходило на островах с игуанами. Более того, на островах, где находились масковые игуаны, анолисы забирались на более высокие насесты и выбирали более узкие ветки. Наблюдая подобное изменение использования среды обитания, мы ожидали, что естественный отбор в конечном итоге изменит свое направление. После того, как ящерицы окажутся вне досягаемости игуан, длинные лапы перестанут быть преимуществом. И мы знали, каким образом анолисы адаптируются к использованию узких поверхностей: для лучшей маневренности у них сформируются более короткие лапы. А потому можно было предположить, что естественный отбор в итоге начнет поощрять появление ящериц с короткими лапами на тех островах, где обитали игуаны.

Для очередной «переписи» мы вернулись на острова на следующий год в мае. И снова выловили всех выживших обитателей. Мы отметили, что различия в образе жизни стали еще более заметными, так как ящерицы на островах с хищниками стали проводить еще меньше времени на земле и использовать еще более узкие насесты. Мы опять подсчитали уклон отбора. Но в этот раз учитывали только тех ящериц, которые оставались с ноября, и сравнивали тех, которые дожили до мая, с теми, которые погибли в предыдущие полгода.

И в очередной раз уклон отбора на контрольных островах приближался к нулю: естественный отбор продолжал игнорировать длину конечностей на этих островах. А на островах с хищниками история изменилась. Естественный отбор продолжал действовать, но на этот раз в противоположном направлении. Ящерицы с короткими лапами теперь выживали лучше: естественный отбор полностью поменял свой ход. Мы ожидали, что это случится, но не так быстро.

Данные результаты фиксировали ход естественного отбора в рамках только одного поколения, а не эволюционное изменение, затрагивающее несколько. На самом деле два эпизода естественного отбора, произошедшие на островах с игуанами, явно противоречили друг другу, так что общие показатели естественного отбора сводились к нулю. Но мы не ожидали, что естественный отбор продолжит и дальше колебаться от положительных величин к отрицательным. Теперь, когда анолисы переместились на кусты, они не собирались спускаться вниз. И масковые игуаны это понимали. Мы спрогнозировали, что естественный отбор будет непрерывно поощрять развитие более коротких лап. Нам было интересно узнать, будут ли коричневые анолисы эволюционировать, став в итоге похожими на виды-специалисты с Больших Антильских островов.

На этот раз не один ураган прервал наш эксперимент. Их было целых два! Ураганы «Фрэнсис» и «Жанна» нанесли свои мощные удары с разницей в три недели в сентябре 2004 года и остановили наш эксперимент прежде, чем там смог начаться процесс эволюции.

Так же как и в случае с прошлыми экспериментами, популяции масковых игуан были уничтожены, но большинство сообществ анолисов выжило, хоть и в значительно уменьшенных количествах.

Растительность на островах была погублена. Нам пришлось ждать четыре года, но в 2008 году мы начали эксперимент заново. Пока я пишу эти строки, эксперимент продолжается – постучу по дереву, чтобы не сглазить, – хоть это было и нелегко из-за еще нескольких случившихся ураганов. Надеемся, что скоро получим результаты.

Однако, как и прежде, был здесь и положительный момент. В ожидании, пока жизнь на островах восстановится, мы решили начать новый эксперимент на некоторых еще более мелких островах размером с просторную гостиную, которые были полностью вычищены от ящериц прошедшими там ураганами³⁸. Данный эксперимент принял несколько иную форму. Мы собирали ящериц с большого, поросшего густым лесом соседнего острова и внедряли их на семь островов с заметно скудной растительностью. Иными словами, популяции, обитавшие на стволах деревьев и широких ветках, переместились на узкие стебли и веточки. По нашему прогнозу, у них должны были сформироваться более короткие лапы.

Так и произошло. На протяжении четырех лет длина конечностей стабильно уменьшалась на всех семи островах. Ящерицы эволюционировали в точности так, как мы предсказывали, и степень изменений была значительно выше, чем получалось при проведении лабораторного эксперимента по определению пластичности. Данное исследование шло особенно хорошо, став в итоге тщательно описанным примером стремительных эволюционных изменений. Популяции пережили даже ураган «Айрин» в 2011 году. Но, как ни печально, случившийся на следующий год ураган «Сэнди» имел иные последствия, стерев с карты пять популяций ящериц. Мы продолжаем отслеживать еще две выжившие. Но когда все семь островов развивались в связке, результаты были гораздо более убедительными.

Честно говоря, я уже немного устал от ураганов.

НЕСМОТЯ НА ОГРОМНЫЙ ИНТЕРЕС, проявляемый научным сообществом к исследованиям гуппи и ящериц, немногие ученые последовали нашему примеру. Сдерживающим фактором была необходимость вложения времени и сил для того, чтобы довести подобную работу до желаемого результата, не говоря уже о возможности вмешательства причудливых погодных – или иных – условий, способных уничтожить многолетний проект. К тому же, хоть наши исследования и показали, что ощутимые результаты могут появиться уже спустя несколько лет, не было никакой гарантии, что и другие организмы будут эволюционировать так же быстро. Что если понадобится несколько десятилетий, а не несколько лет, прежде чем эволюция станет заметной?

Но есть и другой способ экспериментальным путем изучить процесс эволюции – тот, который, как ни парадоксально, не требует вложения многолетних усилий, но при этом позволяет ученым проанализировать результаты нескольких десятилетий эволюции. Несмотря на то, что в 1970-х и 1980-х годах долгосрочные эволюционные эксперименты считались новаторской идеей, продолжительные экологические исследования воспринимались иначе³⁹. На самом деле наше первое исследование, проведенное на острове Стениел-Кей, было экспериментом по тестированию экологического феномена: связана ли выживаемость популяции ящериц с размером острова? Сами того не подозревая, Шёнеры своим экспериментом подготовили для меня почву, чтобы я позднее вернулся на это же место и посмотрел, произошла ли эволюция на экспериментальных островах. В итоге я смог взглянуть на готовый результат десятилетней эволюции, не прикладывая никаких усилий к его осуществлению.

Оказывается, наше исследование было не единственным, которое можно было доработать с целью последующего изучения процесса эволюции. Так, одно экологическое исследование длилось более ста лет и стало столпом среди эволюционных экспериментов.

³⁸ На этом проекте к нам с Шёнером и Спиллером присоединились Джейсон Колби и Мануэль Лил.

³⁹ Для ученых экология – это наука о том, как организмы взаимодействуют с окружающей средой. В 1970-е годы этот термин был экспроприрован природоохранным движением, придавшим ему более широкое значение. И теперь он более или менее синонимичен термину «окружающая среда».

Глава седьмая

От сохи до современной науки

Более ста семидесяти лет назад^[64] в тридцати милях к северо-западу от Лондона начался самый продолжительный в истории науки непрерывный полевой эксперимент. С раннего детства Джон Беннет Лоус был увлечен растениями и процессом их роста. В период учебы в Оксфорде он проявил интерес к выращиванию лекарственных растений на своем участке в родовом имении в Ротамстеде. Но вскоре его внимание переключилось на разработку методов повышения урожайности зерновых культур. Это, в свою очередь, привело к экспериментам^[65] с «искусственным удобрением». И уже к тридцати годам он основал компанию, которая способствовала расцвету производства химических удобрений.

В 1843 году Лоус решил превратить свое поместье в сельскохозяйственную опытную станцию (долгое время она называлась Ротамстедской опытной станцией). Он нанял химика, Джозефа Генри Гилберта, и вместе они составили план, как использовать поля Ротамстеда в качестве экспериментальной площадки^[66] для проверки влияния различных удобрений на рост зерновых культур. В последующие пятнадцать лет они положили начало многим экспериментам, семь из которых непрерывно идут по сей день. Цель этих экспериментов – исследовать эффективность различных удобрений, севооборот и графики сбора урожая на таких культурах, как пшеница, ячмень, репа и картофель.

Значимость этих экспериментов для развития современного сельского хозяйства сложно переоценить. Узнав о смерти Лоуса в 1900 году лондонская «Таймс» писала:

«Чтобы вкратце обрисовать масштаб научных исследований, успешно осуществленных в Ротамстеде, потребовалось бы, по сути, изложить всю историю развития агрохимии на протяжении последних пятидесяти лет... Сэр Джон Лоус был одним из величайших меценатов сельского хозяйства – возможно, самым великим — в мире. Его оригинальные экспериментальные идеи и непреклонность в достижении поставленной цели, помноженная на гениальность мышления, позволили ему обнаружить великие истины, оказавшие глубокое влияние на развитие сельского хозяйства».

Свой последний эксперимент, известный в настоящее время, как «эксперимент с парковой травой», Лоус и Гилберт начали в 1856 году на лугу площадью в семь акров⁴⁰. В отличие от других экспериментов этот не был нацелен на то, чтобы изучить факторы, усиливающие рост и урожайность определенной сельскохозяйственной культуры. Здесь все внимание уделялось максимальной выработке качественного сена. В те дни фермеры, конечно же, в основном кормили скотину сеном, а потому производство большого объема было не менее важно, чем производство зерновых, которые они продавали на рынке.

Если вы такой же типичный горожанин, как я, то, возможно, слово «сено» вызовет в вашей памяти идиллические картины стогов, на которых вы, быть может, сидели, катаясь на тракторе в выходной день на ферме. Но вы можете и не знать, как не знал я, что сено – это любые растения, выросшие в поле, а затем срезанные, высушенные и используемые в качестве корма для скота. Многие разные виды трав помимо люцерны и клевера используются для заготовки из них сена.

В отличие от других ротамстедских экспериментов опыт с парковой травой не предусматривал ежегодную посадку сельскохозяйственных культур.

⁴⁰ 1 акр – 405 м².

Напротив, эксперимент начался с того, что было выбрано длинное и узкое поле, которое на протяжении минимум столетия использовалось для производства сена. На этом поле встречалось много разных видов растений. Лоус и Гилберт поделили площадь на тринадцать полосок, каждая шириной примерно в семьдесят футов, и каждый участок обрабатывали разной смесью удобрений, оставив два участка в качестве контрольных. Периодически (раз в несколько лет) происходило повторное внесение удобрений.

Главной целью эксперимента было оценить эффективность созданных руками человека удобрений в сравнении с традиционным органическим, которое использовали фермеры. Для этого участки поля обрабатывались разными видами подкормок. Большую часть участков обрабатывали смесью разных типов неорганических препаратов (например, аммонием, магнием, калием и натрием). На других участках использовались комбинации компоста, гранулированного птичьего помета и рыбной муки.

Изначально на участках росло огромное многообразие различных видов растений, причем сплошным массивом. Следует отметить важную деталь, что здесь, в отличие от других ротамстедских экспериментов, участки не пересеивались.

Эксперимент с парковой травой не прерывается вот уже полтора века. За это время кое-что было слегка подкорректировано. Участки, разбитые в 1856 году, составляют основу территории, но в течение последующих шестнадцати лет к ним добавились еще семь участков на южной и западной оконечности поля. Таким образом, общее количество участков составило двадцать штук. Были внесены и другие изменения, самое существенное – в 1903 году, когда все участки были поделены пополам. Обе половины каждого участка продолжали обрабатывать теми же самыми смесями удобрений, которые они получали, начиная с 1856 года. Но, кроме того, одна из каждой пары участков начала получать гидроокись кальция, чтобы почва на этих участках стала менее кислой.

Эксперименты в Ротамстеде очень быстро подтвердили идею Лоуса и Гилберта о том, что искусственные удобрения так же эффективны для увеличения объемов сена, как и для повышения урожайности зерна.

Однако эксперимент с парковой травой так же стремительно продемонстрировал то, чего никто не ожидал. Если изначально состав растений на разных участках был одинаковый, то со временем он начал быстро меняться: каждый участок отличался от другого своим составом, так как начали исчезать разные виды растений. И это изменение в составе видов было таким быстрым и заметным, писали Лоус и Гилберт, что менее чем за два года «экспериментальная площадка выглядела так, словно на ней испытывали не только разные удобрения, но и разные семена».

И эти различия настолько сильны даже спустя полтора столетия, что заметны на снимках, сделанных со спутников. Разные участки выглядят как маленькие лоскутки, расположенные друг за другом, но отличающиеся по цвету: темнозеленый, светло-зеленый, одни почти белые, другие с коричневатым оттенком⁴¹.

На земле эти различия заметны еще сильнее. Долгие годы экспериментов привели к сокращению числа видов, растущих на участках. Обработка земли обильным количеством удобрений способствует тому, что быстро растущие виды опережают остальные, выдавливая большинство этих растений с участка. Кроме того, часть удобрений существенно повышает кислотность почвы, уничтожая те виды, которые не могут расти в подобных условиях.

Давайте прогуляемся^[67] по этому экспериментальному полю. Участок № 3 контрольный, его не трогали в течение последних ста пятидесяти лет, а почву не обрабатывали дополнитель-

⁴¹ Вы можете взглянуть на них на Google Earth, набрав в поисковике «Поместье Ротамстед». Благодаря чуду интернета вы быстро окажетесь «парящим» над сельской местностью графства Хартфордшир. Если увеличить снимок, то вы увидите внизу слева от поместья маленькие цифровые стикеры. Поставьте курсор над одним из стикеров, и обнаружите надпись: «Эксперимент с парковой травой». Увеличьте изображение чуть больше, и перед вами предстанут экспериментальные поля.

ными питательными компонентами. Если вы придете сюда в июне, то увидите буйство красок и рисунка – красные, желтые, зеленые; цветы и стебли разных форм и размеров... Овсяница красная – сорт травы – главная звезда. Она доминирует на участке, ее тонкие жесткие стебли венчают пурпурно-красные соцветия. Но вокруг нее растет еще несколько десятков других видов, какие-то из них с крупными и красивыми цветками.



Один из участков экспериментального поля с парковой травой

Это типичный сенокосный луг, и когда-то все поле выглядело именно так. Но большинство других участков теперь уже не могут похвастаться таким многообразием красок. Да, возможно, растения на каких-то участках гуще и выше, но состав трав там намного более однородный. Так, расположенный рядом участок № 1 с момента начала эксперимента получил годовую дозу азота и других минералов. Сейчас на поле растет уже не так много разных растений, как раньше. Доминирует несколько видов трав, которые выше и крупнее овсяницы красной на третьем участке. Цветы встречаются редко.

А вот участок № 9, который на протяжении последних ста пятидесяти лет обрабатывали сульфатом аммония. Получившаяся в итоге кислотная почва выдавила не только большинство видов растений, но также и дождевых червей и других подземных обитателей. Остались только три вида растений. Если взглянуть поверх участка № 9, то увидишь в основном торчащие пучками макушки сладкого душистого колоска – вид, который встречается почти на всех экспериментальных участках.

Применение разных удобрений во многом изменило участки, использовавшиеся для эксперимента с парковой травой: менялся состав почвы, активность роста, а также сочетаемость растущих рядом растений. Еще со времен Лоуса и Гилберта различия, наблюдаемые на разных участках, относили на счет этих экологических явлений: сможет ли конкретный вид выдержать условия жизни на участке и сможет ли он выживать рядом с другими растущими там видами.

На протяжении целого столетия никто не задавался вопросом, играет ли эволюция какую-то роль в появлении различий между участками, и адаптируются ли популяции одного вида, растущие на разных участках, к местным условиям. И если да, то почему? В те времена все еще доминировала дарвиновская идея о ледниковой скорости движения эволюции. А участки располагались рядом друг с другом, разделенные в отдельных случаях всего несколькими дюймами. Стандартные знания эволюционных биологов того времени подсказывали ученым, что

обмен генетическим материалом между популяциями – «генный поток» – будет препятствовать дивергенции. Пыльца, перелетающая с одного участка и опыляющая растение с другого, или унесенные ветром семена будут перемещать генный материал туда-сюда, сохраняя генетическую однородность популяций.

Однако молодой ботаник Рой Снейдон не был в этом так уверен. Когда в конце 1950-х годов он приступал к защите докторской диссертации в Уэльсе, ботаники только начинали задумываться над тем, что растения способны быстро эволюционировать, даже в отсутствие изоляции. Его куратор, Тони Брэдшоу, в тот момент подготовил к публикации свой ставший уже классическим научный труд по теме эволюции устойчивости к тяжелым металлам у растений, растущих на крышах старых брошенных горнорудных шахт. Брэдшоу обнаружил, что в тех местах, где раньше находились шахты по добыче меди, свинца и цинка (некоторые относились еще к временам римлян и даже более ранней эпохе – бронзовому веку), в почве содержались повышенные дозы тяжелых металлов, токсичные для большинства растений. Тем не менее там росло несколько видов. Брэдшоу пришел к выводу, что растения в этих местах адаптировались к жизни в подобных токсичных условиях с того момента, когда там открылись шахты. И это один из первых конкретных примеров стремительной эволюции в природе.

Помимо быстрого эволюционирования, эти растения также смогли адаптироваться в плане генного обмена. Всего в нескольких футах от куч со старым шлаком уровни концентрации металлов резко падали.

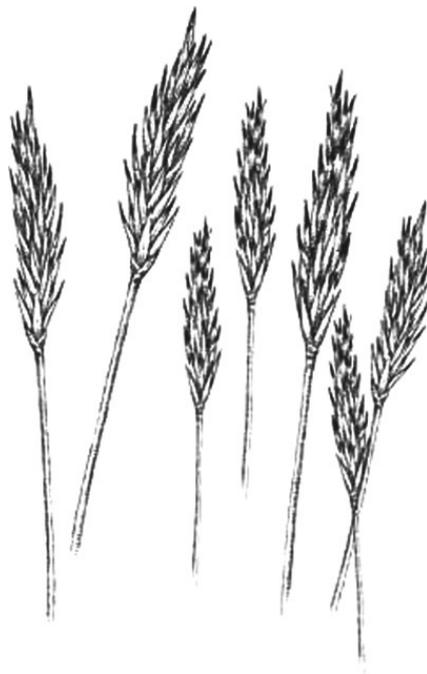
Брэдшоу и его студенты обнаружили, что растения одного вида с соседних чистых территорий не могли расти на зараженной почве. У растений, росших на месте старых шахт, выработалась устойчивость к тяжелым металлам даже несмотря на то, что они были окружены растениями, не переносившими тяжелые металлы, чью пыльцу, семена и генный материал они содержали: ветром их постоянно относило на зараженную территорию. Очевидно, генный поток не являлся настолько однородным, как принято было считать.

В докторской диссертации Снейдона, в которой он следовал по стопам своего наставника, профессора Брэдшоу, описывался процесс адаптации к почвам с разным химическим составом у белого клевера и распространенной травы овсяницы овечьей. Завершив работу над своей диссертацией, Снейдон стал преподавателем университета Рединга. Там он узнал об опытной станции в Ротамстеде, расположенной в пятидесяти милях к северо-востоку. Каждый год он брал туда своих лучших студентов, и они работали, причем довольно успешно. Снейдон увидел в эксперименте с парковой травой возможность экспериментальным путем проверить идею о том, что химический состав почвы способен запустить эволюционную дивергенцию у растений, пусть даже на очень короткие расстояния и короткие периоды времени. Если это так, рассуждал он, тогда, возможно, вариативность, наблюдаемая на экспериментальных участках, может быть частично результатом адаптивной дивергенции представителей одного вида, возникшей как реакция на варьирующиеся условия разных участков.

Но была одна проблема: сотрудники опытной станции воспринимали экспериментальные участки – на тот момент уже столетней давности – как нечто священное. Лишь несколькими избранным сотрудникам дозволялось просто ходить по этим участкам, чтобы ухаживать за ними. Никому не разрешалось собирать материал или проводить на их исследования. Научный сотрудник, следившая за участками, Джоан Терстон и местный комитет с недоверием восприняли предложения Снейдона. Но его просьба прозвучала вовремя. Комитет рассматривал вопрос о приостановке экспериментов, так как его члены не видели, что еще нового можно почерпнуть из этих исследований. А потому, посчитали они, не будет никакого вреда, если разрешить профессору провести небольшую работу на нескольких участках. Снейдона пригласили выступить перед членами комитета и провели допрос с пристрастием.

Наконец, одобрение было получено, хоть и не без труда. И Снейдону было разрешено собрать ограниченное количество семян. Терстон зорко следила за тем, чтобы ученый не вышел за рамки дозволенного.

Чтобы проверить свою идею о том, что растения на разных участках заметно отличались друг от друга, Снейдон сконцентрировал свое внимание на душистом колоске – растении, встречающемся на участках по всему экспериментальному полю. Изначально он выбрал три участка, которые обрабатывали разными смесями удобрений с момента начала эксперимента в 1856 году. Так как гидроокись кальция применялась на южной половине каждого участка на протяжении полувека, то в исследовании рассматривались шесть половинок участков, заметно варьирующихся по своему минеральному составу и кислотности почвы. Снейдон предположил, что за прошедшее столетие популяции трав разошлись эволюционно, чтобы адаптироваться к своим специфическим условиям. Они дивергировали. Снейдон, к которому вскоре присоединился студент-магистрант Стюарт Дэйвис, обнаружил, что растения душистого колоска, растущие на разных половинках участков, очень сильно отличаются друг от друга. Общий вес (или выход) травы на некоторых половинках участков был на пятьдесят процентов больше, чем на других. В целом на всех участках разница в весе была существенной. Чтобы проверить наличие генетических различий, они посадили семена травы, взятые с разных участков, рядышком, один за другим (настоящий эксперимент с общим садом в настоящем общем саду!). Душистый колосок, взятый с разных участков и выросший в идентичных условиях в университетском исследовательском саду, отличался целым рядом признаков, включая вес соцветий, размер листьев и подверженность ложной мучнистой росе. Это продемонстрировало генетическую основу различий растений с разных половинок участков.



Душистый колосок

Но наличие эволюционировавших генетических различий между участками само по себе не доказывало, что эти изменения были адаптивными.

Они могли представлять собой некие случайные генетические отклонения, которые иногда происходят в маленьких популяциях. Чтобы проверить гипотезу адаптации напрямую, Снейдон и Дэйвис посадили растения в разную по составу почву. Как и ожидалось, лучше всего они росли в земле с тем же химическим составом, что и на их родных участках. Но иссле-

дователи решили пойти дальше: взяли растения со своих участков и пересадили их обратно на экспериментальные (к этому моменту научные дивиденды данного исследования были уже настолько очевидны, что комитет стал более либерален, на многое закрывая глаза). И, конечно же, на своих родных участках растения начали расти гораздо лучше, чем на участках с другим составом почвы. Вывод очевиден: за сто лет растения адаптировались к условиям, которые были созданы на их собственных половинках участков.

Снейдон дополнил свое первоначальное исследование новыми задачами, две из которых требуют особого упоминания. Во-первых, Снейдон с Дэйвисом следили за границами между двумя парами участков. Одна из этих пар обрабатывалась разными удобрениями в течение ста двенадцати лет, а другая – в течение шестидесяти лет. На обеих границах они сравнивали растения по обе стороны и всего в нескольких дюймах от тех, которые были посажены в почву с иным химическим составом. Позднее Снейдон с другим студентом, Томом Дэйвисом (не родственником Стюарта), следили за пятью участками, которые всего шестью годами ранее были поделены пополам. Причем одну половинку участка обработали гидроокисью кальция, а вторую оставили нетронутой. Во всех случаях результаты отвечали их первоначальным открытиям. У популяций растений очень быстро возникали различия, причем на очень коротких расстояниях.

Снейдона и Дэйвиса главным образом интересовало, будут ли популяции адаптироваться, и насколько быстро. В результате большая часть данных, которые они собрали и описали, не была напрямую связана с вопросом предсказуемости эволюции. А извлечь сегодня нужную информацию из написанных тридцать – сорок лет назад научных трудов невозможно.

Тем не менее Снейдон и Дэйвис, по крайней мере, в одном аспекте, продемонстрировали, что адаптация растений была не только быстрой, но также очень часто повторяемой.

Из-за различий в составе почвы высота всех растений на разных участках заметно варьировалась. А душистый колосок адаптировался к этим колебаниям: на тех участках, где другие растения были очень высокими, колосок становился выше и прямее – для лучшего доступа к солнцу, – и у него развивалась большая живучесть в затененных условиях, чем у колоска, растущего на участках с низкими растениями.

Когда вы утверждаете, что в конкретном научном труде была впервые предложена новая идея или применен новый подход, вы рискуете ошибиться. Потому что всегда найдется тот, кто быстро укажет вам, что вы проглядели один малоизвестный источник, опередивший разрекламированную работу. Но я все же рискну предположить, что исследования, осуществленные Снейдоном и Дэйвисом, впервые продемонстрировали, что эксперименты можно использовать для изучения долгосрочной эволюции в полевых условиях.

Научные публикации Снейдона и Дэйвиса, посвященные эксперименту с парковой травой, были опубликованы в период с 1970-го по 1982-й год, именно в то время, когда у ученых-экологов возникла потребность в экспериментальных методах, а в области эволюционной биологии оценили значимость стремительной эволюции. И вы могли бы предположить, что данная работа сыграла заметную роль в объединении двух этих концепций, подчеркнув важность полевых эволюционных экспериментов.

Но нет. Научные труды, конечно же, не остались незамеченными, но вплоть до последнего времени о них знал лишь узкий круг специалистов в области эволюции растений. Да я и сам не подозревал об их существовании, пока не начал работу над этой книгой. Когда приводят цитаты из данных научных трудов, то, как правило, упоминая о дивергенции растений в пределах коротких расстояний в ответ на разные воздействия естественного отбора – явление, которое впервые определил куратор Снейдона Тони Брэдшоу. Периодически отмечают уклон данной работы в сторону изучения стремительной эволюции. Но вплоть до недавнего времени это научное исследование лишь изредка приводили примером того, как можно экспериментальным путем изучать процесс эволюции в естественных условиях.

Все изменилось за последнее десятилетие. В 2007 году в одном из авторитетных научных изданий среди прочих экологических экспериментов по изучению процесса эволюции был особо упомянут эксперимент с парковой травой.

В популярных статьях его ставят в один ряд с исследованием Резника, посвященным гуппи. В настоящее время молекулярные биологи изучают популяции душистого колоска с экспериментальных участков опытной станции, чтобы узнать, происходят ли повторно те же самые генетические изменения, по мере того как трава адаптируется к новому составу почвы. Минуло уже четыре десятка лет, но работа, которая до сих пор продолжается в Ротамстеде, уже пополнила увеличивающийся пантеон полевых эволюционных экспериментов.

И ПУСТЬ УЧЕНЫМ ПОНАДОБИЛОСЬ НЕМАЛО ВРЕМЕНИ, чтобы осознать всю значимость работы Снейдона, этого нельзя сказать об исследованиях Эндлера и Резника. Их работа ясно продемонстрировала, что процесс эволюции можно изучать экспериментальным путем в условиях природы. Когда дело касается научных исследований, то зачастую бывает так: появляется новый метод, и сразу же начинается «золотая лихорадка». Толпа ученых тут же спешит воспользоваться данным подходом, используя его применительно к самым разным животрепещущим проблемам отрасли. Эксперименты с гуппи были новаторскими и не остались незамеченными. И тут же появились последователи... правда, очень мало. Наше исследование анолисов, начавшееся, как и у Снейдона, с экологического эксперимента, но затем приведшее к началу совершенно новых экспериментов, было одним из очень немногих полевых эволюционных испытаний, осуществленных в самом конце прошлого века. Но лишь спустя двадцать с лишним лет после появления оригинального исследования Эндлера и три десятилетия после появления исследования Снейдона экспериментальная эволюция наконец-то обрела форму отдельного направления.

Некоторые ученые пошли по стопам Снейдона, проводя другие долгосрочные экологические полевые эксперименты под «микроскопом» эволюции. Самое заметное исследование⁸¹ было осуществлено на территории другого старого поместья, Силвуд Парк, всего в сорока милях к юго-западу от Ротамстеда. Там эколог Мик Кроули на протяжении двадцати с лишним лет защищал от кроликов маленькие участки пастбища.



Отсутствие набегов кроликов на участки произвело осязаемый эффект. Все, что экспериментатору нужно было делать, это следить за происходящим по обеим сторонам забора, отде-

ляющего пространство от контрольного участка, где паслись кролики. Вне ограждения растения были очень низкими, напоминая хорошо ухоженное поле. Цветов было мало, как и семян, которые они сбрасывали. Процесс размножения осуществлялся спорами: растение выпускает отросток, который, прорастая, образует другое растение. Внутри ограждения был другой мир, который выглядел заброшенным. Растения росли свободно, густой стеной. Там было изобилие цветов: семена породили новое поколение растений. Шли годы, а участки, где хозяйничали кролики, сохраняли свой аккуратно подстриженный вид, в то время как огороженные участки становились все более запущенными. Спустя пять лет трава, которая росла группами на кочках, начала забивать остальные растения. В конечном итоге кусты забили часть свободных от кроликов участков. А со временем большинство этих участков превратилось в мини-леса.

Но так же, как и в случае с опытной станцией в Ротамстеде до появления там Снейдона, никто не задумался вопросом, что здесь может происходить процесс эволюции, и растения внутри огороженного пространства начали адаптироваться к своим изменившимся окружающим условиям. Затем к эксперименту подключился Марк Джонсон, канадский эволюционный эколог, работающий в настоящее время преподавателем в университете Торонто. Раз в несколько лет исследователи в поместье Силвуд Парк начинали новые эксперименты, не прекращая при этом старых.

В итоге там появился ряд участков, куда кроликов не пускали в течение разного времени. Джонсон запер калитки этих участков и дал двойной прогноз: растения не только адаптируются к отсутствию грызунов, но степень их адаптации будет увеличиваться пропорционально количеству прошедших в отсутствие кроликов лет. Один из студентов Джонсона, Нэш Терли, взял на себя основную часть работы на первой стадии проекта. Терли обратил внимание на обычный щавель, растение с удлиненными листьями и броскими красными цветками. Его ценят за терпкий вкус, который он придает салатам. Терли высчитал, насколько быстро растения вырастают в теплице, и обнаружил очень заметную тенденцию: чем дольше участок был свободен от набегов кроликов, тем медленнее там росли растения. За четверть века в отсутствие этих животных скорость роста растений стала на тридцать процентов меньше.

Успех данного исследования заставил Джонсона и Терли при участии еще одной яркой студентки, Терезы Дидиано, изучить другие виды растений. Три из четырех видов – все травы – продемонстрировали признаки адаптации. Так, со временем количество листьев у овсяницы красной уменьшилось. Однако несмотря на то, что три вида травы адаптировались к отсутствию на участке кроликов, они сделали это по-разному, задействовав разные свойства. А звездчатка ланцетовидная не обнаружила никаких заметных тенденций ни в одном из своих свойств применительно к возрасту огороженного участка.

То, как вы воспринимаете результаты данных исследований, зависит от того, к какому типу личности вы относитесь: либо для вас стакан наполовину пуст, либо наполовину полон. В экспериментах, проведенных в Силвуд Парк, популяции растений одного вида в основном развиваются предсказуемым образом: чем дольше период их свободы от кроликов, тем больше они адаптируются к такому образу жизни. Но если сравнить с другими видами растений, то способ выживания не был очевидным: разные виды эволюционировали по-разному в ответ на одинаковые условия обитания.

ПРИМЕРНО В ТО ЖЕ САМОЕ ВРЕМЯ, когда Джонсон со своими помощниками занимался усовершенствованием экологических экспериментов, эволюционные биологи наконец-то начали массово проводить полевые исследования, явно нацеленные на изучение процесса эволюции. Эти исследования разнообразны и увлекательны. Например, Марк Джонсон^[69] и его коллеги из Корнеллского университета выращивали примулу вечернюю на

участках, которые обрабатывались инсектицидами против травоядных насекомых. И за три года восемь популяций примул эволюционировали похожим образом: они зацветали раньше и отдавали меньше защитных веществ своим семенам по сравнению с примулами, росшими на участках с насекомыми.

Целью других исследований было изучить^[70], как черви адаптируются к жизни в огороженных участках с теплой почвой (симуляция климатических изменений) или насколько быстро у насекомых разовьется маскировка, если их поместить на маленькие участки с разными типами растительности. Другие исследования находятся в настоящее время в процессе разработки.

Однако именно следующий этап – полевые эволюционные эксперименты на стероидах – особенно увлекателен. Никаких вам больше шныряющих ящериц на маленьких необитаемых островах или сельскохозяйственных полях. Сегодняшние экспериментальные эволюционисты мыслят масштабнее.

Глава восьмая

Эволюция в плавательных бассейнах и экспериментальных средах

Если пролететь над южной оконечностью кампуса университета Британской Колумбии в Ванкувере, то можно увидеть двадцать аквамариновых прямоугольников. Они расположены четырьмя рядами, а голубой цвет выдает их тайну: они наполнены водой, глубже с одного конца и мельче – это заметно по более светлому оттенку голубого – с противоположного. Кто же в них плавает? Даже Гугл не может нам дать ответ. К счастью, ответ знает Дольф Шлутер. Долговязый, всегда ухмыляющийся, но при этом немного робкий канадец, он скорее похож на доброго фермера, чем на блестящего ученого. И тем не менее Шлутер является ведущим эволюционным биологом своего поколения. И это его бассейны^[71], а их обитатели – его питомцы.

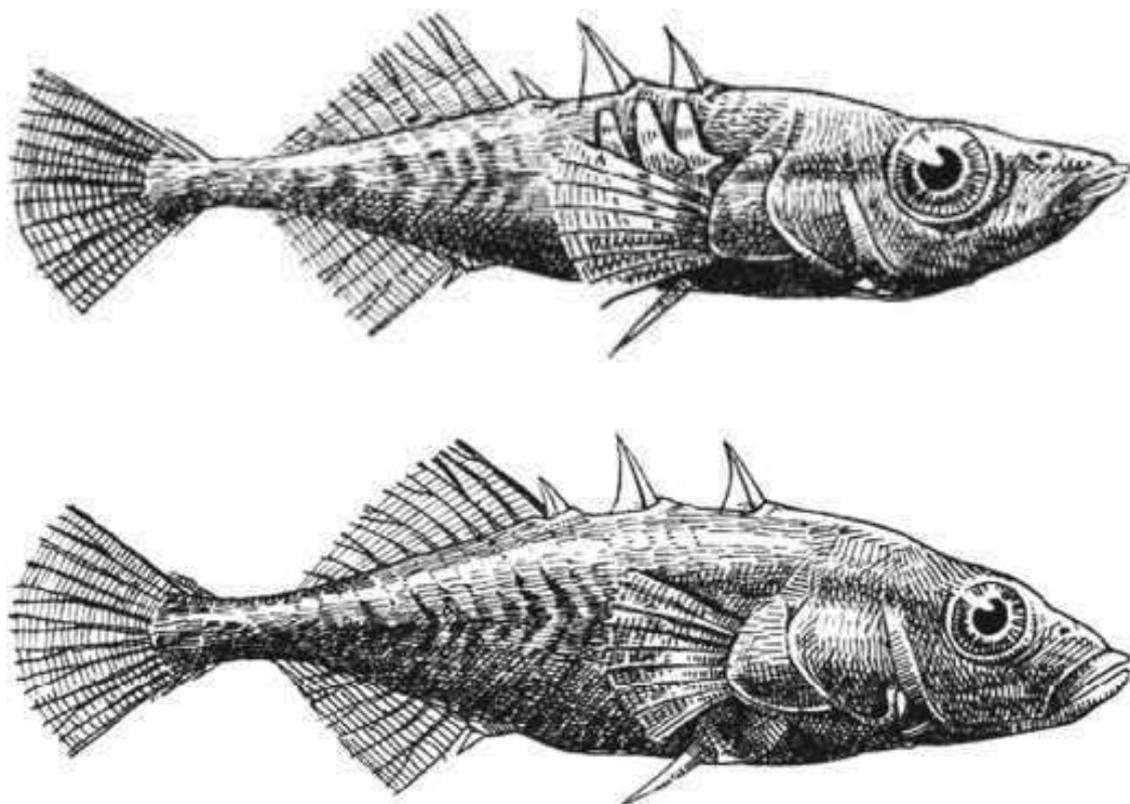
В детстве не было никаких намеков на то, что Шлутер станет владельцем столь роскошного морского комплекса, построенного специально для проведения эволюционных экспериментов. Это уникальное сооружение не имеет аналогов в мире. Шлутер всегда проявлял интерес к природе. Во время учебы в колледже подрабатывал, ассистируя во время полевых экспериментов на канадских каймановых черепахах. К моменту окончания учебы он нашел работу – помогать в осуществлении исследований, посвященных млекопитающим, в канадской провинции Альберта. Но в последнюю минуту услышал блестящую лекцию о среде обитания колибри и понял, что хочет стать ученым. И тогда он поступил в магистратуру.

Шлутер знал, какое направление выберет. Молодой человек начал обучение в университете Мичигана, где его научным консультантом был ни кто иной, как Питер Грант, гуру в области изучения вьюрков. И очень скоро Шлутер оказался на Галапагосских островах, реализуя свои идеи на практике, так как в тот период он изучал, как дарвиновские вьюрки адаптируются к использованию различных ресурсов. В настоящее время его подробнейшие исследования стали классикой^[72]: их можно найти в учебниках, они изменили подход биологов к изучению адаптивной радиации.

Но к тому времени, когда он стал постдоком в Ванкувере, Шлутер искал новый объект для своих исследований. Дарвиновские вьюрки это здорово, но Галапагос находится далеко от Канады. К тому же, что важнее, Шлутер хотел ставить эксперименты: не только выводить гипотезы на основе конкретных примеров, но и замыкать цикл, проверив их экспериментальным путем. Подобные опыты было бы логистически сложно осуществить с участием любого вида птиц. А тем более это невозможно было проделать с дарвиновскими вьюрками из-за строгих правил Галапагосского национального парка.

К счастью, ответ был под рукой. Маленькая трехиглая колюшка была идеальным решением: она демонстрирует интересные эволюционные модели, ее легко изучать и управляться с ней как в поле, так и в лаборатории; а еще она часто встречается в озерах Британской Колумбии. В то время трехиглая колюшка были малоизвестна в кругах эволюционных биологов. Но теперь, в большей степени благодаря работе Шлутера, эта рыба стала модельным организмом для эволюционных исследований.

Колюшка встречается по всему миру на северных территориях. Но в нескольких озерах Британской Колумбии она демонстрирует то, что не делает больше нигде. В большинстве мест вы найдете лишь один вид трехиглой колюшки. Но в пяти озерах Британской Колумбии есть два вида колюшки: один вид с обтекаемым телом и быстро движущийся, который живет в открытой воде у берегов; а второй – с более плотным телом и неторопливо зависающий на дне вблизи берега.



Трехиглая колюшка, обитающая в открытой воде (сверху) и на дне (снизу)

Эти виды различаются фенотипически. У вида, живущего в открытой воде, имеются защитные щитки по бокам и длинные узкие челюсти, которые быстро вытягиваются, чтобы схватить плавающую на поверхности добычу. И наоборот, у обитающего на дне вида нет брони, но есть мощные челюсти, чтобы всасывать добычу из ила и густой растительности.

Проведя сравнения ДНК, коллеги Шлутера из университета Британской Колумбии доказали, что два этих вида эволюционировали независимо друг от друга в каждом из пяти озер – та же самая модель повторяющейся адаптивной радиации, которую продемонстрировали анолисы на Карибских островах. Во всех других озерах один-единственный вид трехиглой колюшки использует обе среды обитания и имеет примерно одинаковую форму тела. И напротив, вид, живущий в открытой воде, и вид, обитающий на дне, никогда не встретишь по отдельности.

Исследование Шлутером процесса роста и поиска рыбой пищи, проведенное как в лаборатории, так и в поле, показало, что рыба из озера, где живет один только вид колюшки, является универсалом: она может жить повсюду, но хорошо чувствует себя далеко не в любой среде. А в озерах, где обитают оба вида колюшки, и те, и другие привыкли жить в своей специфической среде.

Шлутер выдвинул гипотезу, что подобные модели развития возникли в результате соперничества за еду. Когда два вида появляются рядом, то естественный отбор заставляет их расходиться в своем развитии и жить в разных средах обитания, чтобы свести к минимуму соперничество. Но когда присутствует только один вид, тогда естественный отбор будет в пользу промежуточного с точки зрения фенотипа вида, который сможет жить в разных средах.

Все данные соответствовали этой гипотезе, но Шлутеру нужно было нечто большее, чем просто соответствие: он хотел проверить эту идею напрямую, экспериментальным путем. Его план заключался в том, чтобы поместить одного из специалистов среды в пустой водоем. Согласно его гипотезе, в отсутствие другого специалиста данная популяция должна поменять

эволюционный курс на противоположный и развиваться в сторону промежуточного, универсального состояния.

Но где найти водоемы? Сделать это было легко: в Ванкувере полно искусственных водоемов, где нет колюшки. Так почему бы не забросить в них немного рыбы? И тогда началось пробное испытание. Шлутер получил разрешение поместить колюшку в два пруда на полях для гольфа и в муниципальном парке. В ход пошла рыба, жившая в открытой воде. Поначалу все шло хорошо, но через год поле для гольфа осушило одно из озер. Две другие популяции процветают по сей день, но Шлутер почти не занимался ими.

Причина в том, что вскоре после того, как он начал свой эксперимент, ему предложили должность преподавателя в университете Британской Колумбии. И тогда Шлутер пересмотрел вариант с полем для гольфа. А почему бы не соорудить ряд прудов, более или менее идентичных во всех отношениях, прямо на территории кампуса? К ним имелся бы прямой доступ, и они были бы закрыты для посторонних, и вы бы не рисковали получить мячом по голове.

Администрация университета дала разрешение, был нанят подрядчик, и вскоре появились пруды. Тринадцать штук, каждый длиной семьдесят пять футов. В центре водоема глубина воды достигала максимума – десяти футов. Изначально пруды были обсажены растениями, к которым стали прилетать насекомые с соседнего озера, где обитали два вида колюшки. А несколько лет спустя по берегам водоема вырос настоящий лес, куда прилетали птицы, и пруды стали напоминать водоемы природного происхождения.

Временами ты забываешь, что находишься через дорогу от кампуса университета Британской Колумбии...

На протяжении семнадцати лет Шлутер и его лаборатория использовали пруды, чтобы оценить, как воздействует естественный отбор на колюшку, и изучить, какие признаки способствовали лучшей выживаемости, и почему гибриды двух видов находились в невыгодном в селективном плане положении. Работа имела дикий успех, сделав колюшку учебным примером эволюционной дивергенции, инициируемой соперничеством за ресурсы. И все же большая часть работы касалась одного только поколения, Оценивались их выживаемость и репродуктивные циклы, но не прослеживались эволюционные тенденции в масштабах нескольких поколений. Наконец, настало время опробовать эволюционный эксперимент⁴².

Чтобы начать исследование, талантливый студент-магистрант из лаборатории Шлутера Роуан Барретт выловил в ближайшей лагуне морскую колюшку. Озерная колюшка родственна морской. Она оказалась на материковой части суши после того, как земной массив территории Британской Колумбии поднялся после таяния ледников в конце последнего ледникового периода. Морская колюшка, у которой больше защитных щитков и которая адаптировалась к менее экстремальным температурам, имеет, таким образом, схожие родственные свойства с озерными популяциями.

Барретт поместил морскую колюшку в три экспериментальных пруда, чтобы проверить, сможет ли она адаптироваться к пресной воде, живя так, как жили в реальных озерах потомки морской рыбы. Результаты оказались сложными и неоднозначными. Но целью эксперимента было исследовать не только защитную броню рыбы, но и второе ее свойство, более актуальное в наши дни: как быстро колюшка сможет адаптироваться к меняющимся климатическим условиям? Температура воды в пресных озерах более изменчива, чем в океане: горячее летом и холоднее зимой. Станет ли морская колюшка адаптироваться к этим перепадам?

Чтобы выяснить это, Барретт записал измерения термальной биологии – высокие и низкие температуры, при которых рыба теряет способность двигаться координированно. Изучая

⁴² На самом деле это была вторая попытка. Вскоре после того как были построены пруды, Шлутер попробовал поставить эволюционный эксперимент, но потерпел неудачу, и это подвигло его сконцентрироваться на изучении процесса естественного отбора в рамках одного поколения.

морскую и озерную рыбу, Барретт обнаружил, что они одинаково переносят максимальную температуру. По какой-то причине колюшка способна жить при температурах гораздо более высоких, чем в своей родной среде. А вот переносимость низких градусов была разной. Озерная рыба способна выживать в воде на пять градусов по Фаренгейту ниже, чем океанская рыба. Эта разница почти в точности совпадает с разницей низких температур, которую переносит рыба в двух разных средах. В итоге Барретт сконцентрировался на адаптации рыбы к холоду: сможет ли рыба из экспериментального пруда эволюционировать, став более устойчивой к холоду?

Ответ пришел быстро и оказался положительным⁷³¹. Холодные зимы не прошли бесследно, и та рыба, которая не смогла справиться с новыми условиями, погибла. Всего два года спустя у рыб во всех трех прудах развилась способность выдерживать температуры на четыре с половиной градуса ниже, чем могли их морские предки. Таким образом, они демонстрировали морозоустойчивость озерной колюшки из Британской Колумбии.

Такая удивительно быстрая и параллельная адаптация была неожиданной. Барретт, Шлутер и компания с восторгом ждали, что будет дальше. Но, к сожалению, они не смогли спрогнозировать последующие события. Зима 2008–2009 г. была самой холодной за последние четыре десятилетия, и возникшие трудности были чересчур велики, чтобы рыба смогла с ними справиться. Вся рыба погибла, превратив данное исследование в более краткосрочный эксперимент, чем это изначально планировалось. Тем не менее исследование четко продемонстрировало возможность осуществлять эволюционные опыты в экспериментальных прудах.

Все хорошее когда-нибудь заканчивается. Так случилось и с прудами Шлутера. Из-за пористости почвы дно было выстелено пластиковыми пластинами: иначе бы вода просто ушла. Шлутера с самого начала предупреждали, что срок годности пластика двадцать лет, и он уже подходил к концу. Все шло хорошо, но не было ясно, что же будет дальше.

Иногда с хорошими людьми случаются хорошие вещи. Нежданно-негаданно Шлутеру позвонили из администрации кампуса. Университет хотел получить свою землю обратно, чтобы построить на ней новые здания, затем продать их за какую-то астрономическую сумму на рынке недвижимости Ванкувера. Не мог бы Шлутер перенести свои исследования в какое-то другое место при условии, что университет поможет ему построить новые пруды?

Уже в самом этом вопросе содержался ответ. Именно тогда Шлутер и получил свой новый продвинутый озерный комплекс, расположенный буквально в шаге от прежнего места (там, где теперь стоят шикарные многоквартирные дома с пивным пабом, музыкальной школой и ресторанами). Пруды примерно такого же размера, что и были, но теперь они не квадратные, а прямоугольные, и своим уклоном на глубину двадцать футов с одного конца они больше напоминают природные озера.

На строительство прудов ушло несколько лет, но «ускоритель видообразования» (как шутливо называет его Шлутер, намекая на циклотрон из лаборатории физики элементарных частиц, который ускоряет заряженные частицы до высоких скоростей) теперь уже готов и всюю функционирует. Первое исследование нескольких поколений рыбы завершено. Оно было посвящено изучению влияния хищников на эволюцию защитных свойств. В пять прудов выпустили колюшку и хищного лосося Кларка, а в пяти других оставили одну только колюшку. Эксперимент должен был охватывать пять поколений рыбы.

Примерно в то же самое время, когда строился новый водный комплекс, Шлутер вышел на новое исследовательское направление: полевой биолог стал генетиком. Сотрудничая с ведущими экспертами в области изучения генома⁷⁴ из Стэнфорда и других научных центров, Шлутер увлекся работой по секвенированию генома колюшки, чтобы определить гены, ответственные за ключевые признаки, такие как наличие брони и игл.

В результате этих новых знаний эксперимент с прудами получил двойную направленность: эволюция изучалась как на фенотипическом, так и на генетическом уровнях.

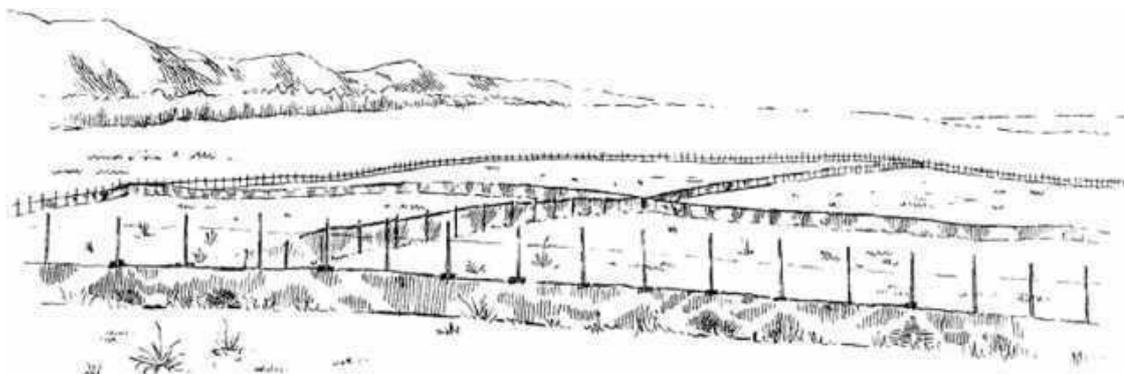
Прогноз был следующим: присутствие хищников станет способствовать развитию соответствующих генетических изменений и появлению у рыб более длинных игл, что мешает хищникам их проглотить.

И каковы же результаты? Студентке магистратуры Диане Реннисон удалось проанализировать данные, полученные только в рамках исследования первых трех поколений. Но результаты были многообещающими. В процессе наблюдения за выживаемостью в масштабах одного поколения стало заметно, что рыба с более длинными спинными иглами в прудах с хищниками выживает лучше. Такой отбор вызвал эволюционную реакцию: теперь у популяций рыбы, живущей в прудах с хищниками, спинные иглы стали длиннее. Изменения на генетическом уровне шли параллельно: вариативность генов у этих популяций способствовала увеличению частоты появления более длинных спинных игл. Как ни странно, но процесс отбора размеров брюшных игл^[75] был более неоднороден: длинные иглы появлялись у рыб не во всех прудах. Причина такой эволюционной неопределенности неизвестна.

И хотя процесс экспериментальной эволюции колюшки пока еще в самом начале, но полученные результаты очень похожи на те, что мы наблюдали в случае с гуппи. Популяции адаптируются к новым условиям в основном одинаково, но с долей непредсказуемости в отдельных признаках. Совпадения особенно убедительны, учитывая разницу в условиях обитания, в которых изучалась рыба. Один вид – в естественных водоемах в горах Тринидада, а другой – в практически идентичных искусственных прудах Ванкувера.

ПОКА ШЛУТЕР ЗАНИМАЛСЯ СВОИМИ ПРУДАМИ, в Америке начиналось еще одно масштабное исследование экспериментальной эволюции. Пейзаж Небраски в настоящее время украшает листовая металл длиной почти в полмили, который блестит на солнце, пылая оранжевым во время заката и напоминая инсталляцию из стали руки Кристо. Американский Запад расчерчен заборами самого разного рода, но этот уникален: прочная металлическая стена в форме квадрата, разделенного на четыре квадратных загона. И не одно, а два таких почти одинаковых сооружения находятся на расстоянии тридцати миль друг от друга на разной по цвету земле.

Волнистые холмы и прерии Небраски славятся своей плодородной почвой: коричневой, землистой, богатой всеми полезными для растений веществами. Это объясняет название футбольной команды местного университета – «Кукурузники». Но не вся земля штата настолько плодородна. Примерно четверть его территории приходится на песчаные дюны области Сэндхиллс^[76]. Почва там светлая и состоит из песчинок кварца, занесенных ветром к востоку от Скалистых гор около восьми тысяч лет назад. Зерновые культуры растут плохо, и большая часть земли никогда не возделывалась.



Но это вовсе не означает, что в Сэндхиллс нет растений. Как раз наоборот, эта местность может похвастаться биологическим разнообразием. Причем она настолько неповторима, что Всемирный фонд дикой природы выделяет ее как отдельный экологический регион. Почва влияет на местную флору и фауну не только своей низкой плодородностью, но также своим светлым оттенком. Маленькие животные во всем мире научились сливаться с окружающей местностью, чтобы их не обнаружили хищники. Так, живя на старых застывших потоках лавы, ящерицы, мыши, кузнечики и другие существа эволюционировали, став темнее, чем они есть на самом деле. А на почве светлого цвета у животных выработался бледный оттенок покрова, чтобы сливаться с песчаной поверхностью. И Небраска в этом смысле не отличается от других мест: популяции многих видов животных, обитающих в Сэндхиллс, светлее представителей того же вида, обитающих на более темной почве.

Меня еще со времен учебы в колледже, когда я прочитал книгу Джона Эндлера о видообразовании, интересует данный феномен. Эндлер называл слияние окраса животного с окружающей средой одним из самых ранних и сильных доказательств того, что естественный отбор способен ослаблять гомогенизирующее действие генетического обмена между популяциями. Граница между черной вулканической породой и сверкающим белым песком довольно отчетлива – в некоторых местах ты одной ногой можешь касаться и того и другого. Мыши, ящерицы и кузнечики легко перемещаются туда-сюда с одной поверхности на другую.

И все же, несмотря на их близость, популяции, живущие на разных поверхностях, зачастую очень сильно отличаются по цвету, так как соответствующим образом подстраиваются под свою среду обитания. Представители двух популяций могут встречаться вблизи границы, но любое потомство, появившееся в результате этих встреч, будет тщательно изучено естественным отбором, и гены «неправильного» окраса будут мгновенно вычищены. Тот факт, что часть этих сред обитания – Сэндхиллс в Небраске и некоторые лавовые потоки – появилась относительно недавно, указывает на то, что процесс адаптации окраса произошел стремительно, дав дополнительное доказательство силы естественного отбора даже в присутствии генного потока. Эти примеры с животными аналогичны примерам с растениями, что растут поверх или вблизи от брошенных старых шахт или на разных участках ротамстедской экспериментальной станции.

Здесь следует отметить очень важное с точки зрения науки исследование, проводившееся на белоногих хомячках. В середине прошлого века натуралисты отмечали множество случаев, когда соседние популяции встречались на разных по цвету поверхностях и, соответственно, имели разный окрас шкуры. Предположительное объяснение этого – маскировка животных: грызунов поедают многие визуально ориентирующиеся хищники, поэтому естественный отбор будет поощрять популяции сливаться с окружающим фоном, меняя свой цвет.

Биолог из университета Мичигана Ли Дайс даже проверил эту идею в лаборатории. В помещении среднего размера Дайс посыпал пол землей и выпустил туда несколько мышей разной расцветки и сову. Он хотел узнать, станет ли сова чаще ловить тех мышей, которые не сливаются с землей.

Половина опытов была проведена на почве светлого цвета, а остальные – на темной. Ответ был однозначным: совы в два раза чаще ловили тех мышей, которые не сливались с землей. Хищные птицы^[77] могут стать сильным фактором естественного отбора, способствуя эволюции маскировки.

И все же это было лабораторное исследование, осуществленное в искусственных условиях. Даже спустя тридцать лет после выхода книги Эндлера действие естественного отбора не демонстрировалось напрямую на окрасе мышей. На самом деле, самое убедительное доказательство было получено не благодаря полевым экспериментам, а с помощью генетических исследований, в ходе которых были обнаружены гены, ответственные за различия в окрасе у мышей. Сравнивая различия ДНК у смежных популяций, живущих на разных по цвету поверх-

ностях, ученые обнаружили, что генетические различия эволюционировали совсем недавно, вероятно, в результате дивергентных воздействий естественного отбора. Но все равно это заключение было сделано на основе полученных генетических различий⁸¹, а не являлось прямой демонстрацией того, как естественный отбор влияет на эволюцию.



Белоногий хомячок из Сэндхиллс

Именно это и привело бородатого и мускулистого канадского горнолыжника в песчаные дюны Небраски. Несмотря на свою страсть к «дикому» лыжному туризму, велосипедному спорту и скалолазанию, Роуан Барретт большую часть времени посвящает изучению процесса эволюции. Сын видного эволюционного биолога из университета Торонто, молодой Барретт проложил свой собственный путь в науку. В тридцать с небольшим лет он уже стал одной из ключевых фигур в области экспериментальной эволюции. Будучи студентом магистратуры в университете Макгилла в Монреале, Барретт проводил экспериментальные исследования на бактериях в лабораторных условиях, изучая процесс их адаптации в условиях многочисленных новых ресурсов. Эта тема также легла в основу докторской диссертации, которую он защищал в университете Британской Колумбии с профессором Шлутером в качестве консультанта. Эти исследования стали невероятно успешными, и за ними последовали ряд научных публикаций в узкоспециализированных журналах и все мыслимые награды, которые может получить выдающийся молодой эволюционный биолог (в частности, он был причислен к «звездной команде» эволюционных биологов, а также получил европейскую и североамериканскую премию «Молодой специалист года»).

Но все это было лишь прелюдией к тому, что обещает стать его самым большим прорывом. Ближе к концу работы над докторской диссертацией в университете Британской Колумбии Барретт узнал о лабораторных генетических исследованиях моего коллеги из Гарварда Хопи Хёкстра, которые показали, что у живущих в Сэндхиллс белоногих хомячков возникла новая мутация, изменившая их окрас на более светлый. Сравнения ДНК этих хомячков с ДНК тех, которые были почти темного цвета, наводили на мысль о том, что мутация произошла относительно недавно и охватила всю популяцию. Вероятно, это стало результатом воздействия естественного отбора, способствовавшего слиянию окраса животных с окружающей средой.

Однако Барретт чувствовал, что данная история не закончена. Если естественный отбор ответственен за эволюцию светлого оттенка, тогда его можно продемонстрировать напрямую. Внутренняя тяга к экспериментам подсказала ему, как действовать: нужно воспользоваться

тем методом, который впервые применил Дайс семьдесятю годами ранее. Поместить темных и светлых хомячков на разные по оттенку поверхности и понаблюдать, кто из них выживет. Но только не делать этого в закрытом помещении, исключительно на природе. И точно так же, как в случае с экспериментами на колюшке, следовало изучать одновременно фенотип и гены, ответственные за выработку того или иного окраса.

В принципе все звучало довольно просто, но как осуществить подобный план на практике?

Преимущество прудов, протоков и островов в том, что это саморегулирующиеся единицы с жесткими границами, своего рода экспериментальные копии, только и ждущие того, чтобы ими воспользовались. В Сэндхиллс не было ничего похожего. Если Барретт хотел осуществить свои эксперименты с белоногими хомячками там, то ему бы пришлось строить клетки, чтобы удержать своих подопечных. Причем огромные клетки, достаточно большие, чтобы содержать там целые популяции этих зверьков.

Ученые пробовали ставить похожие эксперименты и раньше, но меньшего масштаба. Однако всегда терпели неудачу. Несмотря на то что белоногие хомячки живут на земле в норах, они очень шустрые. Поставьте стену, и они перелезут через нее. Хомячки-ниндзя, как иногда называют их. Предыдущие исследования зашли в тупик в связи с побегом подопытных грызунов. Поэтому первоочередной задачей было найти способ удержать хомячков в клетках.

Проведя свое расследование, Барретт обнаружил, что проблема уже решена. Экологи и маммалоги не смогли придумать, как удержать хомячков, а инфекционистам это удалось. Белоногие хомячки – переносчики хантавируса. Это заставило ученых из Нью-Мексико изобретать надежные уличные клетки, в которых хомячки могли бы содержаться на карантине достаточно долго, чтобы быть уверенными, что они переболели и могут быть направлены в лаборатории для исследований. Секрет заключался в использовании оцинкованной стали 26-го калибра, гладкой, как кожа младенца, без всяких шероховатостей, за которые неугомонный зверек мог бы ухватиться когтями и выбраться наружу. Во время испытаний в лаборатории Барретт убедился в том, что тонкий металл срывал коварные планы хомячков. И у него созрел свой план.

Помимо прочего, были еще две трудности: во-первых, получить разрешение на строительство клеток на подходящей для этого земле, а во-вторых, построить их. Объем этих работ становится понятен, когда узнаешь о размере клеток, которые Барретт хотел построить. Он прикинул, что каждая популяция белоногих хомячков должна включать минимум сотню особей. Исходя из уровней плотности обитания в естественных условиях, это составляло чуть более половины акра. Для качественного эксперимента ему нужны были четыре клетки, стоявшие на светлой земле и четыре клетки на темной. В общей сложности требовалось два с половиной акра земли и пятнадцать тысяч фунтов листовой стали на каждый объект.

Но обо всем по порядку. Барретт, пришедший в лабораторию Хёкстра в качестве постдокторанта, отправился в Небраску в компании с Кэтрин Линнен, занимавшейся в той же лаборатории генетическими исследованиями, искать места для проведения экспериментов. Найти такое с подходящей светлой землей было не так уж трудно. И уже скоро было получено разрешение на строительство клеток на территории природного заповедника «Мерритт Резервуар».

Найти место на темной земле было сложнее, ведь это, в конце концов, плодородная почва. Убедить кого-то отдать два с половиной акра хорошей плодородной земли, чтобы построить на ней клетки, где будут содержаться мыши, было не так-то просто.

Барретт ходил от дома к дому, беседуя с владельцами земли. Не забывайте, что это самое сердце Америки, регион, где живут люди с консервативными взглядами на политику и религию, где земля кормит местных жителей, также обеспечивая продовольствием всю остальную страну. А теперь посмотрите на тех, кто стучится в их дома. Пара сопляков, прибывших с либерального северо-востока, да еще из какого-то там элитного декадентского университета

Лиги Плюща. Причем один из них даже не американец и ходит повсюду, нацепив велосипедную кепку, вместо того чтобы носить ковбойскую шляпу.

Барретт быстро понял, что ему не следует упоминать слово на «э» – эволюция, – а больше говорить о тех видах, которым подходят местные условия. Будучи фермерами и ковбоями, местные жители хорошо представляли себе, что такое наследственность, и знали все о хищниках. А маскировка была второй натурой для тех, кто охотился с самого детства. Надо сказать, что Барретт был очень общительным, компанейским парнем, и местные были к нему дружелюбны и даже проявляли заметный интерес⁴³. Они с радостью разрешали Барретту, Линнен и остальной команде собирать мышей на их участках.

Но отдать несколько акров земли – это было уже слишком.

Все это продолжалось вплоть до начала полевого сезона и даже дольше. Времени оставалось мало. Барретт начал уже было отчаиваться, что проект придется временно приостановить. Однажды вечером, находясь в маленьком городке Валентайн, штат Небраска (население – две тысячи семьсот тридцать семь человек), Барретт спустился в бар отеля за пивом. И хозяин отеля познакомил его с Диким Биллом, местной знаменитостью, чьи белые длинные волосы делали его похожим скорее на модного серфингиста, чем на фермера из Небраски. Барретт рассказал Биллу о своем проекте и о поиске подходящего места. К удивлению Барретта, Билл сообщил ему, что выращивает люцерну на загородном участке, и что клетки, вероятно, можно соорудить прямо там. На следующий день они отправились, чтобы осмотреть место, и оказалось, что земля идеально подходит для этих целей. Дикий Билл совершенно спокойно отнесся к тому, что на участке придется что-то строить. А что касается аренды, то упаковка «Миллер Лайт» и приготовление барбекю каждый раз, когда команда Барретта приезжала в город, сделали свое дело.

Конечно, найти подходящее место было только первым шагом. А дальше нужно было еще построить загоны. Барретт – парень из семьи ученых, и у него не было опыта строительства. Но информацию о том, как соорудить «загон для мышей», не найдешь в «Желтых страницах» Небраски. И Барретту пришлось придумывать все самому.

Он изучил варианты постройки загонов, которые делали другие ученые, и выбрал свой. Стены должны быть высотой три фута, чтобы хомячки не смогли выпрыгнуть оттуда. А поверху следовало также натянуть еще три фута проволочной сетки, чтобы не позволить койотам запрыгнуть внутрь.

Кроме того, стену следовало вкопать в землю на два фута, чтобы хомячки не смогли сделать подкоп и убежать.

Немногие эволюционные биологи доставляют свое исследовательское оборудование на место с помощью грузовых платформ. Грузовик из Кимбэлла, штат Небраска, что в двухстах пятидесяти милях от города, привез стальные листы для стен клеток размером пять на десять футов и толщиной в одну пятидесятиую дюйма. Арендованный комплекс Дитч Витч выкопал траншею, в которую поместили листы, и местный оператор обратной лопаты переместил листы с дороги в поле. В землю было вкопано и залито бетоном сто девяносто два столба, которые

⁴³ Это напомнило мне историю, рассказанную Джоном Эндлером о том, как он летел однажды на самолете и читал книгу о видообразовании. Мужчина, сидевший на соседнем кресле, спросил у него, что он читает, и они погрузились в беседу, во время которой Эндлер объяснил ему все о естественном отборе, эволюции и видообразовании, не используя при этом ни один из этих терминов. Мужчина заинтересовался, внимательно слушал его и даже задавал очень хорошие вопросы. Наконец, он попросил Эндлера посоветовать ему дополнительные источники для чтения. И тогда Эндлер начал объяснять тому, что лучше всего начать с Дарвина. Но как только он произнес эту фамилию, мужчина покраснел, отвернулся от него и не произнес ни одного слова до самого окончания полета. В похожем ключе национальный научный фонд США требует, чтобы ученые давали сводную информацию о финансируемых грантах для представления широкой публике. Как-то не так давно эволюционным биологам посоветовали описывать свою работу, не используя слово «эволюция». Очевидно, у многочисленных оппонентов нет проблем с базовыми представлениями о естественном отборе, но они теряются, столкнувшись с неизвестным для них словом «эволюция».

скрепляли листы в местах их соединения. Вся операция заняла две недели. Были задействованы трое местных рабочих, обслуживавших технику. Четыре смотрителя с местного поля для игры в гольф помогли копать траншеи, а семь представителей лаборатории делали все остальное (знаете старую шутку – сколько ученых потребуется, чтобы построить загон для мышей?)

Вероятно, следует отдать должное организаторским способностям Барретта или усердной работе молодых ученых из Гарварда, которые спокойно делали свое дело, будучи вырванными из привычной среды; а может быть, двойной благодарности заслуживают местные рабочие, которые трудились, невзирая на присутствие этих неженков. Но вне зависимости от того, кому достаются все лавры – вероятно, всем, – работа прошла на удивление гладко и быстро. Конечно, временами оператор обратной лопаты готов был сдаться, видя такое огромное количество стальных листов. А иногда резкие порывы ветра заставляли острые, как бритва, пятидесятифунтовые стальные прямоугольники летать над полями. К счастью, никто не пострадал, и две недели спустя загон для хомячков были готовы.

Вот только хомячки к этому не были готовы. Они продолжали жить в своих норах, не подозревая о том, что уготовила им судьба. План Барретта состоял в том, чтобы заселить каждый загон равным количеством светлых и темных хомячков. Но для этого ему и его команде следовало прежде изловить животных.

Самый быстрый способ поймать живых грызунов – выйти в поле ближе к концу дня и установить на земле большое количество металлических ящиков длиной в тридцать сантиметров с одним открытым концом. Внутри ящика находятся приманка: вкусные семена, арахисовое масло или какая-то другая вкусняшка и горизонтальная платформа. Когда мышь (или другое существо, от скорпиона до змеи) ступит (или проскользнет) на платформу, дверь ловушки захлопнется, и животное окажется запертым внутри. Затем вы возвращаетесь туда на следующий день рано утром, собираете ловушки и внимательно смотрите, кого вы поймали.

К моменту окончания постройки загон Барретт и компания уже довольно продолжительное время ловили хомячков на территории штата Небраска, собирая образцы для своих генетических исследований. Учитывая предыдущие успешные результаты, Барретт предполагал, что они смогут быстро поймать нужное им количество.

Но у животных были другие планы, и они начали в массовом порядке обходить ловушки стороной. Однажды вечером команда выставила семьсот ловушек и, вернувшись на следующее утро, обнаружила там всего двух хомячков (стандартное количество выловленных мышей составляет в среднем тридцать пять особей). То, что должно было занять одну – две недели, вылилось в итоге в три месяца. Но в конце концов загон были заполнены, и эксперимент начался.

Барретту оставалось принять последнее решение. Данный эксперимент должен был оценить влияние визуально ориентирующихся хищников на окрас хомячков. Но не все хищники находят свою добычу с помощью зрения. Кто-то определяет ее по запаху или даже по теплу тела. И они будут ловить мышей, не обращая внимания на их окраску. Следовательно, такая охота добавит непредсказуемости результатам исследования и, возможно, затруднит понимание влияния визуальных хищников. Вероятно, их следует исключить, чтобы избежать возможного просчета. С другой стороны, предполагалось, что это будет эксперимент в условиях дикой природы, а эти хищники являются частью данной системы. Барретт сомневался, не зная, какое решение принять.

Особенно его беспокоили змеи. Зеленый гремучник – распространенный вид змей в Сэндхиллс. Достигая в длину почти четырех футов, взрослые змеи охотятся на самых разных млекопитающих вплоть до сусликов. А белоногие хомячки по размеру идеально подходят для их подрастающего потомства.

Сосновые змеи бывают в два раза больше зеленого гремучника и питают особую страсть к грызунам. Барретт решил убрать их – аккуратно – из загонов. Каждую змею поднимали с помощью специальной палки с захватом на конце и выпускали из загона.

Но ученые все продолжали и продолжали находить змей. Сколько же еще их могло жить на поле площадью в два с половиной акра? Когда они, наконец, переловят всех? И тогда они поняли: стены не защищали от змей. Так как у змей отсутствуют ноги, они на удивление хорошо карабкаются по вертикальным поверхностям, а металлическая стена высотой три фута не такая уж большая проблема для крупного зеленого гремучника или сосновой змеи. С какой скоростью Барретт вылавливал и выпускал змей, с той же скоростью (а то и быстрее) змеи забирались обратно в загон. И тогда процесс ловли змей прекратили. В конце концов, это должен был быть эксперимент в естественных условиях.

Как только хомячки были помещены в загоны, все, что оставалось делать Барретту, это сидеть и наблюдать за процессом эволюции. Каждые три месяца он привозил свою команду в Небраску, чтобы произвести учет популяций. В загонах расставили живоловки, чтобы можно было увидеть, кто там остался. Прежде чем поместить хомячка в загон, ему вживляли маленькую бирку наподобие тех, которые вешают собакам и кошкам с индивидуальным штрих-кодом. Надо провести по нему сканером, и если хомячок был из первоначальной партии, его идентификационный номер высвечивался на экране. За десять дней исследователи смогли поймать, отсканировать и выпустить почти всех хомячков в каждом загоне.

Во время повторных визитов Барретт и его команда также встречались со своими многочисленными друзьями из Валентайна, города, жители которого оказались такими же дружелюбными, как и предполагает его название. Одна семья почти каждый вечер приглашала команду к себе на ужин. А одна пожилая пара бесплатно пускала часть команды к себе переночевать да еще разрешила воспользоваться своим гаражом для хранения оборудования. Приезжая туда каждый раз, Барретт закатывал большую вечеринку для всех без исключения.

Хомячки тоже вносили свой вклад в общее дело. В начале эксперимента смертность была очень высокой, что неудивительно. Пока они осматриваются и знакомятся с новым окружением, животные становятся легкой добычей для хищников. Кроме того, как известно, принудительный переезд на новое место – это всегда стресс, что, несомненно, еще больше повысило уровень смертности.

Но самым важным моментом было то, кто из них выживал, а кто нет. В каждом из загонов, расположенных на песчаных дюнах, светлые хомячки выживали лучше, чем их более темные собратья, – в среднем в пропорции два к одному. И наоборот, в загонах, расположенных на темной земле, уже темные хомячки выходили в лидеры, выживая в среднем на треть чаще, чем их светлые сородичи. Изучение генотипов хомячков дало аналогичные результаты. На светлом песке особи с мутациями, дававшими светлый окрас, выживали лучше, в то время как ситуация на темной земле была прямо противоположной. Естественный отбор действовал, причем, как и было предсказано, в разных загонах в разных направлениях.

По прошествии пятнадцати месяцев с начала проекта все хомячки-старожилы погибли. Но популяции процветали: они состояли уже из потомства первых особей. Эксперимент по изучению естественного отбора стал теперь уже долгосрочным эволюционным.

На момент, когда я пишу эти строки, эксперимент продолжается уже пять лет – срок, достаточный для появления примерно десяти поколений белоногих хомячков. Барретт в настоящее время как раз сводит воедино все результаты, завершая генетический анализ. Он пока еще не знает, что покажут результаты, но если в самом начале эксперимента проявилось действие сильного естественного отбора, то, вероятней всего, что популяции эволюционировали в противоположных направлениях. Но все равно природа полна сюрпризов, так что Барретт не спешит с выводами. Научная публикация, вероятно, будет готова к тому моменту, когда

выйдет эта книга. Учитывая значимость эксперимента, ищите сообщения о его результатах в «Нью-Йорк Таймс».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ЭВОЛЮЦИИ в этой отрасли знаний еще только предстоит стать масштабнее, смелее, увлекательнее. Но уже сейчас ставятся небывалые новаторские эксперименты. Так, в рамках одного текущего исследования на большое поле постоянно закачивается углекислый газ, поднимая там уровни выброса в атмосферу до тех, что будут по прогнозам через пятьдесят лет. Станут ли в этих условиях эволюционировать растения, и если да, то как?

Через двадцать лет, а может быть, и раньше нас завалят результатами. Возможно, по мере поступления новых данных ситуация изменится, но из того, что мы уже знаем, общие итоги ясны. Когда ставится эксперимент, при котором многочисленные популяции испытывают одинаковое воздействие окружающей среды, то они, как правило, эволюционируют очень похожим образом. И это работает как в случае с растениями, защищенными от набегов кроликов, так и в случае с ящерицами, вынужденными использовать узкие насесты. Саймон Конвей Моррис этому бы точно порадовался. Эволюция, на самом деле, повторяема.

Но данный результат не такой уж неожиданный. Обсуждая конвергентную эволюцию в первой части книги, я отмечал, что близкородственные популяции или виды эволюционируют в целом одинаково, потому что они похожи генетически. Естественный отбор работает с одним и тем же генетическим материалом, а значит, как правило, выдает одинаковое решение. И наоборот, у дальних родственников, вероятней всего, будут развиваться разные адаптивные реакции на похожие проблемы, которые ставит окружающая среда, начиная с различий в генетическом строении и фенотипах. Полевые эволюционные эксперименты всегда начинаются с очень похожих популяций, обычно с особей из одной исходной. В результате эксперименты склонны обобщать параллельные эволюционные реакции.

Но это вовсе не означает, что эволюционное изменение будет одинаковым у разных экспериментальных сообществ. Как раз наоборот, всегда присутствует некоторая доля вариативности. Так, к примеру, в исследовании Нэша Терли, который выращивал растения, защитив их от кроликов, на участках, разбитых и огороженных в одно и то же время, скорость роста растений часто варьировалась.

Например, на четырех участках шестилетнего возраста у самой быстрорастущей популяции скорость роста была на пятьдесят процентов выше, чем у самой медленнорастущей. Похожее расхождение наблюдалось среди девяти-, тринадцати- и двадцатипятилетней популяций. Несмотря на то что они росли без кроликов одинаковое количество времени, количественно отличались друг от друга своей эволюционной реакцией. Точно так же в корнуэльском эксперименте, где примула вечерняя была защищена от насекомых, растения начали зацвести гораздо раньше, но степень эволюционного сдвига между участками заметно варьировалась: на некоторых участках появлялось в пять раз больше цветов раньше в сезон, чем на других.

Подобная вариативность может указывать на степень неопределенности эволюционной реакции даже у близкородственных популяций, пребывающих в одинаковых избирательных условиях. Подобно большинству научных исследований, изучение экспериментальной эволюции сфокусировано на общих тенденциях, которые анализируются в виде статистических выкладок. А исключения остаются незамеченными. И потому появление отклоняющейся от нормы популяции, адаптирующейся к новым условиям своим способом, может остаться без внимания. В научных публикациях даже не сообщается о такого рода сырых фактах, так что о подобных исключениях из правил, «белых воронах», тех, кто предпочел иной эволюционный

путь, читатели могут даже не узнать. Таким образом, степень расхождения меньшинства популяций с основной массой зачастую неясна.

Более того, в исследованиях часто сравниваются самые разные признаки, но делается акцент только на тех, которые эволюционируют похожим образом. Те, что развиваются по-разному, не продемонстрируют статистически значимые тенденции и, следовательно, будут проигнорированы, даже несмотря на то, что они могут стать доказательством дивергентных моделей адаптации.

Конечно, наличие варьирования в реакциях популяции, подверженной воздействию одинаковых условий окружающей среды, совсем не обязательно свидетельствует об эволюционном непостоянстве. Ведь может быть и так, что условия обитания популяций слегка отличаются друг от друга.

А что если отклонения в свойствах растений отражают адаптацию к мельчайшим различиям участков в составе почвы, количестве улиток или тени от деревьев? Не могут ли различия в длине конечностей ящериц отражать легкие отличия видов кустов на разных экспериментальных островах?

Нам этого не узнать. Большое преимущество полевых экспериментов в том, что они осуществляются на природе и подвержены всем разнородным селективным воздействиям, которые встречаются в реальном мире. Это не экстрагирование природы и не упрощение ее – это реальная демонстрация того, с чем популяции сталкиваются каждый день.

Но у полевых экспериментов есть один большой недостаток – вы не можете проконтролировать все. Природа изменчива даже в пределах коротких расстояний. И эти различия могут помешать толкованию результатов. Вот почему ученых из лабораторий передергивает от одной только мысли провести эксперимент в поле: отсутствие контроля вызывает у них нервную дрожь. Если вы действительно хотите знать, насколько повторяема эволюция и насколько предсказуемо избирательные условия выдадут одинаковый эволюционный результат, тогда проводите свой эксперимент в лаборатории, где условия среды обитания можно четко контролировать. Благодаря своей экспериментальной строгости такие исследования будут соотносимы с реальным миром, но чтобы досконально проверить постулат Гулда, пожалуй, стоит изменить подход.

Часть третья

Эволюция под микроскопом

Глава девятая

Повторное прокручивание пленки

Культовые места изучения процесса эволюции. Галапагосские острова. Ущелье Олдувай. Австралия. Мадагаскар. А Ист-Лансинг, штат Мичиган?

Как ни странно, одно из самых важных исследований процесса эволюции, что проводилось за последние десятилетия, было сделано на основе изучения эволюционного изменения, случившегося в самом центре штата Великих озер.

Кабинет 6140 факультета медико-биологических и естественных наук университета штата Мичиган выглядит как обычная биологическая лаборатория. Два высоких, с черным покрытием стола и полки, идущие по центру лаборатории, образуют три прохода. Сбоку от столов находятся рабочие места, где сидят исследователи, окруженные различным лабораторным инструментарием: бутылки с химическими реактивами на полках, ряды чашек Петри, а еще детали компьютерной и электронной оснастки. Стены увешаны обычным набором открыток, скучноватыми научными карикатурами и фотографиями животных и знаменитых ученых. Какой-то непонятный кусок коры свисает с полки, удерживаемый в горизонтальном положении двумя согнутыми скрепками. Детские игрушки и другие безделушки торчат из разных углов и над компьютерными мониторами. Вдоль одной стены стоит стильный холодильник со стеклянной дверцей, забитый химическими препаратами, и еще несколько крупных аппаратов.

Противоположная стена состоит из больших окон, что тянутся до потолка и выходят во двор кампуса.

Во многих лабораториях есть свои характерные особенности, и эта не исключение. На нескольких окнах наклеены голубые листочки – по одному на каждое стекло – с написанными на них крупным шрифтом цифрами – 000 £6.

По крайней мере, так это выглядит, когда смотришь на надпись снаружи. А если находишься на улице, шестью этажами ниже, то цепочка цифр, прочитанная в зеркальном отражении, выглядит вполне вразумительно. Но мы вернемся к этому позднее.

В лаборатории толпятся ученые, преимущественно молодые, одетые буднично, в джинсы и футболку. Но один молодой человек выделяется среди них своим ярким облачением разных оттенков голубого – на нем нечто среднее между заляпанным лабораторным халатом и мантией волшебника. Мы еще вернемся к нему, но тоже чуть позже.

Центр средоточия лаборатории – ее суть и смысл – массивное оборудование, стоящее у двери. Размером и внешним видом оно напоминает горизонтальные морозильные камеры, стоящие на заправочных станциях, в которых держат мороженое, воду и прочее. Они, конечно, выглядят явно современнее и технически более продвинуто, но все равно не было бы ничего удивительного, если бы вы нашли там упаковку мороженого.

И, наконец, момент, которого я ждал, – мой проводник открыл крышку морозильника, позволив мне заглянуть внутрь. Я наклонился, и мое лицо обдало теплым воздухом. Определенно никакого шоколадного мороженого на палочке в этом металлическом ящике нет. Вместо него в два ряда выстроились семь маленьких стеклянных колб, каждая плотно вставлена в отдельный держатель на металлической пластине. Эта металлическая платформа медленно перемещается вперед-назад, вправо-влево, осторожно взбалтывая маленькое количество жидкости в каждой колбе.

Должен признаться, что я удивился и, возможно, слегка разочаровался. Здесь я присутствовал у самых истоков одного из наиболее важных исследований в области эволюционной биологии за последнюю четверть века. Но все выглядело очень... скромно.



Непримечательно. Не впечатляюще. Просто маленькие контейнеры с прозрачной жидкостью, медленно плещущейся туда-сюда.

ИСТОРИЯ О ТОМ, КАК ТАКИЕ МАЛЕНЬКИЕ КОНТЕЙНЕРЫ обеспечили такой большой всплеск, началась не в лаборатории Мичигана, а почти сорок лет назад в горах Аппалачи Северной Каролины. Там молодой магистрант Рич Ленски установил проверенную временем почвенную ловушку для наблюдения за популяциями жуков. Почвенные ловушки работают очень просто. Ученый выкапывает яму и ждет, когда туда упадут животные. Они бредут себе спокойно и вдруг – хлоп – падают в эту яму и не могут из нее выбраться. Размер ямы зависит от того, кого вы собираетесь поймать. Для жуков подойдет отверстие размером с пластиковый стакан. Но для ящериц и змей нужно выкапывать ямы размером с большое ведро.

Ленски давно проявлял интерес к миру природы. Уроженец Северной Каролины выбрал основным предметом биологию, учась в Оберлине, маленьком колледже в Огайо, знаменитом преимущественно своими музыкальными традициями. Но это также отличное место для обучения разным наукам. Там он вооружился экспериментальным подходом к изучению научных проблем. И если в лабораторных исследованиях это весьма распространенный метод, то для изучения природного мира эксперименты в то время использовались гораздо реже.

Как раз тогда наука экология переживала беспокойные времена. Большинство исследований носили наблюдательный и сравнительный характер: собрать подробнейшие данные во множестве мест, а затем найти общности среди варьирующихся параметров, чтобы объяснить похожести и различия. Допустим, в тех местах, где встречается больше бабочек, также больше и стрекоз. А это может говорить о том, что обилие бабочек определяет то количество стрекоз, которое встречается в этом конкретном месте, и будет иметь смысл при условии, что стрекозы едят бабочек. Но причинная обусловленность может также иметь и противоположную направленность: возможно, обилие стрекоз определяет количество бабочек – стрекозы могут поедать тех насекомых, которые являются хищниками для бабочек, и это одно из возможных объяснений. Таким образом, чем больше стрекоз, тем меньше будет хищников, а значит, больше бабочек. А может быть, здесь нет прямой зависимости, но обилие тех и других определяется третьим переменчивым фактором: возможно, более влажные места благоприятно воздействуют как на бабочек, так и на стрекоз. В этом случае даже если они не влияют друг на друга, между обилием тех и других будет прослеживаться взаимосвязь, потому что и бабочки, и стрекозы реагируют на уровни влажности.

Это давняя проблема – разграничение взаимосвязи и причинной обусловленности. И самый простой способ разобраться в ней – провести эксперимент. Если размер популяции бабочек определяет количество стрекоз, тогда изменение численности первых должно привести к изменению числа последних. Замысел эксперимента очевиден: отправиться в те места и увеличить или уменьшить численность бабочек, чтобы пронаблюдать за тем, как будут реа-

гировать популяции стрекоз. Конечно, любое замеченное вами изменение может оказаться случайностью, спровоцированной, к примеру, погодой или другими внешними факторами. Чтобы исключить эти факторы, вам понадобится контрольное место, где вы будете делать все то же самое за исключением того, что вы не меняете численности бабочек. Если вы получаете реакцию на экспериментальном участке, а не на контрольном, то тогда у вас есть доказательства того, что численность бабочек влияет на изобилие стрекоз. На самом деле, одной пары мест недостаточно: любое различие все равно может быть результатом случайного отклонения. Лучше использовать сразу несколько мест для манипуляций и еще несколько – для контроля, чтобы быть уверенным в том, что определенные тенденции устойчивы.

Конечно, вам придется толковать происходящее на участках в пользу то одного, то другого варианта, чтобы избежать любого отклонения, способного повлиять на результаты.

В конце 1970-х годов штат экологов, включая Мика Кроули из Силвуд Парк, занимался продвижением экспериментального метода, утверждая, что проводившиеся на протяжении десятилетий неэкспериментальные исследования в области экологии заходили в тупик и что требовался более действенный метод. Да, проводить эксперименты в природной среде не так просто, но делать это необходимо, настаивали они. Одним из лидеров этого движения был сэр Нельсон Хейрстон из университета Северной Каролины. И именно в его лабораторию потянуло молодого Ленски, после того как он в двадцать лет окончил колледж.

Хейрстон был человеком широких взглядов и в том, что касается исследуемых проблем, и в отношении используемых им для изучения организмов. Одно лишь было неизменным – главенство экспериментального метода. Интерес Ленски к тому, как функционируют разные экосистемы, был в этом смысле вполне уместен, а жуки Аппалачей представляли собой хороший объект для исследований.

Темой докторской диссертации Ленски было обилие двух распространенных видов жуков в лесах Северной Каролины. Ленски интересовали два вопроса: соперничают ли эти виды за ресурсы и, учитывая его заметный интерес к проблемам окружающей среды, как влияет на популяции жуков массовая вырубка лесов.

Свою работу Ленски разделил на два этапа. Во-первых, он воспользовался классическим сравнительным методом. Он посетил множество разных мест, где собирал жуков. Имея конкретные данные, Ленски мог понять, какие факторы влияли на обилие каждого вида. Далее, чтобы проверить гипотезу, полученную на основе этих данных, он построил большие загоны, чтобы проводить там эксперименты, в процессе которых эти факторы (плотность популяций жуков, сравнения обычных лесных участков с вырубленными) менялись.

На словах все просто, но для этого потребовалось выполнить огромный объем работы.

Каждая почвенная ловушка представляла собой выкопанную в земле ямку глубиной четыре с половиной дюйма, в которую затем помещали пластиковый стакан. Само по себе это нетрудно, если не считать того, что для одного исследования понадобилось выкопать сто девяносто две таких ямки, а для другого – шестьдесят четыре. Каждый день на протяжении двух месяцев Ленски топал в гору к своим экспериментальным местам и переходил от одной ямки к другой, проверяя их содержимое, вынимая, изучая и выпуская кого-то на волю.

Готовить и проводить эксперименты тоже было делом трудоемким. Квадратные загоны – каждая сторона длиной пять футов в одном эксперименте и двадцать футов в другом – возводились путем погружения алюминиевых козырьков в землю. За сидевшими в них жуками регулярно следили с помощью почвенных ловушек. А самых везучих даже кормили с руки каждый раз, когда ловили, чтобы увидеть, влияет ли на их размер и репродуктивный цикл такой фактор, как доступность корма. Одни эксперименты длились две недели, другие – три месяца.

Две части проекта хорошо коррелировали друг с другом: эксперименты в целом подтверждали гипотезу, полученную на основе неэкспериментальных исследований. Результаты показали, что жуки, обитавшие в лесу, чувствовали себя лучше, чем те, что жили на вырубленных

участках, и что соперничество за корм между видами может быть важным фактором, регулирующим их популяции.

Докторская диссертация Ленски имела большой резонанс. За ней последовало шесть научных публикаций – три из них в самых топовых научных журналах, что свидетельствовало не только о том, что это высококлассная работа, но и о том, что Ленски – перспективный молодой ученый. Будущее его было блестящим.

И все же что-то было не так. Ленски уже утратил интерес к своей исследовательской программе. За годы учебы в магистратуре его интересы изменились. Несколько прослушанных им познавательных курсов по эволюции, а также бесчисленные беседы с другими студентами магистратуры во время пятничных посиделок за пивом пробудили в нем желание изучать процесс адаптации организмов к своему окружению. И тогда он решил заняться поисками организма, более подходящего для изучения эволюционных изменений, в частности, пригодного для реализации экспериментального метода, который он так быстро оценил.

Ленски читал о классическом эксперименте в области генетики микроорганизмов, еще учась в магистратуре⁴⁴. «Я посчитал, что поскольку я собираюсь работать с чем-то новым и неизвестным (это может быть чем угодно), то можно остановить свой выбор на микробах, так как они обладали преимуществами модельной системы, которая доказала свою ценность в других областях», – говорил он. Так колеоптеролог стал микробиологом.

ПО СТОПАМ ЛЕНСКИ ПОСЛЕДОВАЛА ДЛИННАЯ ЧЕРЕДА ученых, которые прежде изучали эволюцию в лабораторных популяциях. С начала XX века были проведены тысячи – а, возможно, десятки тысяч – подобных экспериментов. И результаты оказались удивительно схожими. Потому что какой бы организм вы ни поместили в лабораторные условия с целью его выращивания, отбор, влияющий почти на каждый его признак, приведет к стремительной эволюционной реакции в предсказуемом направлении. В этих исследованиях рассматривались не только ожидаемые признаки – размер тела, окрас, количество щетинок на заднем конце туловища плодовой мушки, – но и масса самых разных признаков, таких как склонность плодовых мушек лететь на свет или их невосприимчивость к парам алкоголя (более подробно об этом в одиннадцатой главе). По большому счету, возьмите любой признак, варьирующийся в рамках популяции, подвергните его искусственной селекции, и вы получите эволюционную реакцию.

Тот же самый подход используется для выведения новых пород крупного рогатого скота и сельскохозяйственных культур, знакомых всем нам. Но они мало похожи на своих диких предков. Например, у теосинте, прародителя кукурузы из высокогорных районов Мексики, есть колосовое цветорасположение длиной четыре дюйма с десятком зернышек и плотным внешним покрытием. И это растение отделяет долгий эволюционный путь от тех сотен сочных открытых зернышек в початках кукурузы, которые мы собираем каждое лето.

Фабричные куры способны производить свыше трехсот яиц в год, существенно больше, чем их предки, кустарниковые курицы. Точно так же в результате искусственного отбора появились датский дог и чихуахуа – оба родственники дикого волка.

Искусственный отбор стал благом для науки, сельского хозяйства и жизни человека в целом. Но в качестве полноценного аналога естественному процессу эволюции он не годится. Когда Ленски уже заканчивал работу над докторской диссертацией, он пришел к выводу, что есть два способа, с помощью которых можно приблизить лабораторные исследования к происходящим в природе процессам.

⁴⁴ Опубликованный в 1943 году научный труд «Мутации бактерий: от восприимчивости к вирусам до их сопротивляемости» продемонстрировал, что наследственность у бактерий так же генетически обусловлена, как у растений и животных, и что мутации возникают стихийно. За эту работу Сальвадор Лурия и Макс Дельбрюк получили Нобелевскую премию.

Во-первых, когда мы говорим об эволюции, то представляем себе то, что происходит уже тысячи и миллионы лет. А лабораторные исследования процесса отбора длятся в целом всего несколько десятков поколений – этого достаточно, чтобы увидеть сильную эволюционную реакцию и многое узнать, но все равно слишком мало по меркам природы. И причина очевидна: научные карьеры занимают не столь большой промежуток времени, гораздо меньше того цикла, в ходе которого ученый должен получить результаты и написать научный труд, чтобы затем выиграть очередной грант. Более того, у организмов, используемых в таких исследованиях (плодовых мушек, мышей и прочих), продолжительность жизни генерации составляет от нескольких недель до нескольких месяцев, что ограничивает количество генераций, за которыми можно успеть понаблюдать, прежде чем исследование завершится. Ленски понял, что нужен организм с действительно быстрым жизненным циклом, который бы помог ему изучить сразу несколько поколений, достаточно оперативно накопив изменения, чтобы также узнать их долгосрочные эволюционные последствия.

Второй неестественный – или искусственный – аспект лабораторных и сельскохозяйственных исследований заключается в том, что условия селекции обычно напрямую диктует исследователь или специалист по разведению животных. Хотите получить мясную породу скота? Выберите самых крупных животных и позвольте им размножиться поколение за поколением. Это отличный способ изучить влияние отбора на эволюционные изменения. Но в природе все происходит совсем не так.

Наоборот, в условиях дикой природы естественный отбор редко бывает настолько сильным, что лишь немногие особи с крайними проявлениями фенотипа выживают и размножаются. К тому же действие естественного отбора на какой-то конкретный признак, как правило, гораздо более сдержанное. А многочисленные селективные факторы воздействуют на разные признаки одновременно, иногда довольно противоречиво.

Так, у быстро бегающей мыши, может быть, и будет преимущество, но очень маленькое. У самой быстрой мыши шансы выжить, вероятно, процентов на десять выше, чем у остальных копунов. Но это означает, что по какой-то случайности многие быстрые мыши могут и не выжить, а кто-то медлительный выживет, если ему повезет. Также и у хорошо замаскированных мышей может быть похожее преимущество, но шустрые мышки совсем не обязательно хорошо замаскированы. Так что разные селективные воздействия могут войти в конфликт друг с другом. И в результате процесс отбора зачастую бывает очень слаб и вероятностен, значительно отличаясь от сильного и определенного характера отбора, что осуществляется в условиях лабораторных исследований.

Еще одно отличие лабораторной селекции в том, что в природе естественный отбор может быть непоследовательным. В какой-то год преимущество будет у более мускулистых оленей, а на следующий год могут настать тяжелые времена, когда выживут более стройные животные. В действительности по мере того, как популяции эволюционируют, они могут сами менять избирательные условия: наличие того признака, которому отдавалось предпочтение, когда оно было редким, может перестать быть преимуществом, когда оно распространено. А еще эволюционирующие популяции могут менять свою среду обитания – вспомните о бобровых плотинах как о крайних проявлениях этого явления, – и эти изменения могут повлиять на процесс отбора, отдавая предпочтение новым признакам, которые прежде не выделялись. Опять же это сильно отличается от последовательного селективного давления, оказываемого на одно за другим поколения в лабораторных условиях.

Ленски понял, что есть способ избежать этих проблем – стратегия, которая уже была разработана, но еще не реализовала весь свой потенциал. Этот метод заключался в том, чтобы изучать эволюцию экспериментально, в лаборатории, с помощью микроскопических организмов. У микробов очень короткие генерации, они живут двадцать минут и даже меньше, что дает массу возможностей и времени для осуществления процесса эволюции. И вместо того

чтобы направлять процесс отбора, как это делалось в большинстве предыдущих лабораторных исследований, ученые могли поместить организмы в новую для них среду, в ту, к которой они предположительно недостаточно хорошо адаптированы изначально. В этих условиях процесс селекции, несомненно, начнет подталкивать эволюцию, но в данном случае именно экспериментальная среда, а не исследователь, будет определять, какие организмы выживут и станут размножаться. В точности так, как это происходит в природе.

Некоторые микробиологи, начиная с 1940-х годов, делали это, но не для того, чтобы изучить, как работает эволюция, а, скорее, для того, чтобы понять внутренние механизмы микроорганизмов. Идея заключалась в том, чтобы подвергнуть микробов жестким испытаниям и посмотреть, какие биохимические или физиологические реакции они проявят, чтобы выжить. Есть еще один жесткий, но эффективный подход, когда исследователи используют приемы молекулярной биологии, лишая микробов части их функций и наблюдая за тем, как популяция вырабатывает компенсирующий механизм. Благодаря такому подходу ученые многое узнали о том, как работает ДНК и функционируют клетки. Но в большинстве случаев тех, кто применял данный метод, не интересовал процесс эволюции. Скорее они использовали эволюцию для изучения механизма работы клеток. Такое положение дел начало меняться в начале 1980-х годов.

А ТЕПЕРЬ ПЕРЕНЕСЕМСЯ НА ШЕСТЬ ЛЕТ ВПЕРЕД, в 1988 год. Молодой Ленски только что закончил учебу в магистратуре, работая в университете Массачусетса в лаборатории Брюса Левина, гиганта в области микробиологии и одного из немногих в то время, кто использовал экспериментальные исследования микробов для изучения эволюции⁴⁵. Заняв должность преподавателя в Калифорнийском университете в городе Ирвайн, Ленски приступил к осуществлению собственной исследовательской программы, реализуя свое видение нового подхода к долгосрочным эволюционным экспериментам на основе лабораторных исследований распространенной бактерии *Escherichia coli* (для удобства сократим ее до *E.coli*).

Каждая особь *E.coli* состоит всего из одной крошечной клетки, в длину около одного микрометра (0,00004). И при изобилии пищи эти клетки способны делиться каждые двадцать минут.

Микроскопический размер *E.coli* означает, что даже в маленькой колбе могут содержаться сотни миллионов особей. Чем больше особей в популяции, тем большее число мутаций произойдет. А чем больше мутаций в популяции, тем больше вероятность того, что случайно проявится какая-то особенно полезная – та, которую будет поощрять естественный отбор, и которая позволит популяции лучше адаптироваться к своей среде. Таким образом, можно было ожидать, что *E.coli* эволюционирует быстрее, чем другие лабораторные организмы с более продолжительным жизненным циклом и меньшими размерами популяции.

В силу того что ученые исследовали *E.coli* на протяжении многих десятилетий, они знали, в каких средах она может жить. Вооружившись этими знаниями, Ленски смог создать для них пригодную, но непростую среду, что оставляло место для эволюционных экспериментов.

В качестве отступления я должен отметить, что работать с *E.coli* неопасно. На самом деле о ней периодически вспоминают в новостях в связи с очередными массовыми пищевыми отравлениями. К тому же она способна вызывать некоторые очень серьезные и даже смертельные болезни. Но большинство типов, включая штамм, с которым работает Ленски, безвредны. На самом деле многие люди являются носителями больших популяций полезных штаммов *E.coli*, которые живут в пищеварительном тракте и осуществляют там важную работу, такую как выработка витамина К₂ и борьба с вредными бактериями. Более того, лабораторные

⁴⁵ Были и другие ученые. Помимо Левина, Ленски особо выделяет Лин Чао, Дэна Дикхьюзена и Барри Холла, как первоходцев в этой области.

штаммы адаптировались к жизни в стеклянных колбах и утратили способность жить в человеческом организме. Так что они явно не представляют никакой угрозы. Ленски и сотрудники его лаборатории работают в стандартных лабораторных халатах и даже не надевают перчаток, не говоря уже о защитных костюмах.

24 февраля 1988 года^[79] солнечным и не по сезону теплым для Южной Калифорнии днем Ленски взял обычную лабораторную чашку Петри. *E.coli*, как и другие бактерии, бесполоая. Каждая клетка просто делится на две идентичные дочерние клетки. Когда клетку *E.coli* кладут на поверхность чашки Петри, она начинает безостановочно делиться, производя в конечном итоге маленькую горку из миллионов клеток, каждая из которых является идентичным потомком первой исходной клетки.

Эти горки называются колониями. Дно чашки, которую взял Ленски, было покрыто слоем клейкого полупрозрачного питательного желатина с десятками таких колоний, вырастающих на ее поверхности. Все эти колонии образовались из одиночных клеток *E.coli* лабораторного штамма под названием REL 606⁴⁶. Ленски взял маленькую стерильную металлическую иглу и легонько коснулся ею одной из колоний, собрав на кончике сотни тысяч идентичных клеток. Затем он погрузил кончик иглы в жидкость объемом десять миллилитров в стерильной стеклянной колбе. Вот так зародилась еще одна долгосрочная популяция. Повторив данную процедуру одиннадцать раз, он поместил десяток колб⁴⁷ – каждая меньше чайной чашки – в морозильник при температуре 98,6 градусов по Фаренгейту (температура внутренних органов человека).

В этом эксперименте был еще один важный ингредиент. Исследователи, изучающие *E.coli*, используют широкий выбор «блюд», которыми они потчуют своих микроскопических питомцев. Кто-то кормит их стандартными биохимическими лабораторными питательными веществами, такими как измельченные в порошок кусочки дрожжевых грибов или белок сыворотки. А кто-то прибегает к экзотическим ингредиентам вроде овечьей крови или бульона из свиных мозгов и сердец. Диета, которую выбрал Ленски, была необычна сразу в двух аспектах. Во-первых, единственной пищей, которая присутствовала в их жидких жилищах, была глюкоза, моносахарид, который многие организмы используют для насыщения энергией⁴⁸. Во-вторых, в отличие от стандартных лабораторных приготовлений запасы пищи были очень ограничены, причем ровно настолько, чтобы каждый день в течение шести часов популяция стремительно увеличивалась в размерах до тех пор, пока глюкоза не закончится. В этот момент клетки прекращали делиться и терпеливо ждали.

На следующий день кто-то из членов лаборатории откачивал 0,1 миллилитра жидкости из каждой колбы, что составляет один процент содержимого в колбе и, соответственно, один процент популяции *E.coli* (приблизительно пятьдесят миллионов *E.coli*), а затем впрыскивал в новую колбу с 9,9 миллилитра свежей жидкости с добавленной в нее глюкозой (лабораторные ученые используют термин «среда» для обозначения тех наполненных питательными веществами мест обитания, в которых живут их подопечные). И тогда цикл начинается заново.

Штамм *E.coli*, с помощью которого начался этот эксперимент, был предметом исследований, начиная с 1918 года. Но специфические условия данного эксперимента, в особенности низкие и циклично расходуемые уровни глюкозы, были впервые применены на микробах. Вероятно, данная среда создавала сильные селективные воздействия, с тем чтобы скудные ресурсы расходовались эффективно и быстро. Но в отличие от большинства лабораторных

⁴⁶ REL происходит от инициалов Ленски.

⁴⁷ Тринадцатая колба с жидкостью, но без *E.coli*, служила в качестве контрольной, чтобы определять заселение среды. По непонятным для меня причинам несколько лет спустя в лаборатории появилась четырнадцатая колба, составив, таким образом, два ряда по семь колб, которые я и наблюдал во время визита в лабораторию.

⁴⁸ Включая людей. Когда мы жалуемся на пониженный уровень сахара в крови, мы имеем в виду количество глюкозы, растворенной в нашей крови.

селекционных экспериментов Ленски не диктовал, кто будет победителем, а кто – проигравшим, отбирая тех микробов, которые выживут до следующего поколения. Наоборот, он предоставлял микробам возможность самим определять, кого вытеснить, по-своему решая, какая совокупность признаков наиболее пригодна. По этой причине ученый считал свой проект не экспериментом по отбору, а скорее долгосрочным эволюционным экспериментом (для краткости ДЭЭ).

В начале эксперимента все особи в каждой популяции были генетически одинаковы, все идентичные потомки одной материнской клетки. Более того, так как у разных колоний-прародительниц было недостаточно времени, чтобы накопить мутации, то и основатели этих разных популяций, хоть и взятые из разных колоний, также были генетически идентичными. Это означает, что состав двенадцати экспериментальных колб был, по сути, генетически совершенно однороден – не было никаких генетических расхождений ни внутри, ни между популяциями⁴⁹. Лишь со временем по мере возникновения мутаций стали бы заметны различия между популяциями и их способность дивергировать генетически.

Вот так в своем исследовании Ленски обошел проблему, которая возникала при проведении полевых эволюционных экспериментов. Среды во всех колбах были абсолютно идентичны, по крайней мере, настолько, насколько это мог сделать человек. Более того, сами популяции были изначально точными копиями друг друга, генетически одинаковыми. Это была реализация на практике мысленного эксперимента Гулда. Пленка проигрывалась одновременно двенадцать раз в содержимом двенадцати колб, стоявших бок о бок в морозильном контейнере. Одинаковая исходная точка, одинаковая среда. Приведут ли эти одновременные проигрывания эволюционной пленки к параллельным эволюционным итогам? А вдруг хаотичность мутаций – одна происходит в одной колбе, а совершенно другая в другой – подтолкнут процесс эволюции непредсказуемо в разных направлениях? Детерминизм против случая – что победит?

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОГРАММЫ дают возможность любому почувствовать себя историком. Вы можете вернуться в прошлое и проследить ход исследования, не только отмечая появление результатов, но и наблюдая за тем, как менялись толкование и выводы, сделанные на основе исследования. Такое ретрорасследование подкрепляется описаниями и публикациями, без которых немислима академическая жизнь. Чтобы добиться успеха, ученые должны регулярно сообщать о проделанной работе, а это означает, что долгосрочный эксперимент подробно и последовательно отразится в последующих научных публикациях.

ДЭЭ Ленски в этом смысле не исключение. Пока я сижу и пишу эти строки, данный эксперимент продолжается уже более двадцати восьми лет. Как гласят зеркально отображенные цифры на окнах лаборатории, появилось уже шестьдесят четыре тысячи поколений. Этот рубеж был пройден несколько месяцев назад. А если зайти на веб-страничку Ленски, то там вы найдете список из семидесяти пяти научных публикаций, появившихся с момента начала данного проекта.

Давайте взглянем на вторую публикацию, вышедшую в 1994 году, спустя шесть лет после начала эксперимента, где обобщаются его результаты на основе наблюдений за первыми десятью тысячами популяций. В своей работе для сборника «Труды Национальной Академии наук^[80] США» Ленски и Майкл Травизано, который на тот момент только что завершил работу над докторской диссертацией в лаборатории, сообщают о том, что все двенадцать популяций *E.coli* адаптировались к своей новой среде. Эти выводы они сделали на основании скорости, с

⁴⁹ На самом деле, это не совсем точно. Ленски ввел мутацию в половину популяций просто на тот случай, чтобы одну популяцию можно было отличить от другой с целью определить возможное перекрестное заселение. Мутация не влияла на фенотип, следовательно, не подвергалась воздействию естественного отбора.

которой популяция увеличивалась в размерах после ежедневного переноса ее в свежую среду. Однако степень лучшей адаптации у популяций варьировалась. Отдельные популяции росли на шестьдесят процентов быстрее, чем их предок, в то время как другие были всего на тридцать процентов плодовитее. Клетки *E.coli* также были крупнее своей предковой популяции. Но опять же эта разница варьировалась: какие-то популяции показывали увеличение объема клетки на пятьдесят процентов, другие были ни много ни мало на сто пятьдесят процентов крупнее. Ленски с Травизано сделали вывод, что популяции адаптировались по-разному. И это результат разных мутаций, которые произошли в разных колбах. Как они говорят, «наш эксперимент продемонстрировал важную роль случайных событий (исторических случайностей) в адаптивной эволюции».

Ленски в очередной раз оценил прогресс эксперимента на отметке в двадцать тысяч генераций. Популяции продолжали процветать, живя по принципу «пируй – голодай»: в среднем они вырастали на семьдесят процентов быстрее своей предковой популяции. Но все равно между популяциями оставались различия^[81] в скорости роста. Однако их называли «легким расхождением» и придавали им меньшее значение: в целом все демонстрировали похожую тенденцию к увеличению скорости роста. И хотя новых данных о размерах клетки не сообщалось, но отмечалось параллельное увеличение их размера, а о вариативности среди популяций упоминалось, но этому не уделялось большого внимания.

Кроме того, лаборатория Ленски расширила способы сравнения популяций и сделала много новых многообещающих открытий.

Интересно, что все двенадцать популяций потеряли способность расти в колбах, содержащих другой сахарид, D-рибозу. Это говорило о том, что биохимическая структура клеток, по-видимому, менялась похожим образом. Несколько детальных сравнений различных аспектов генетики выявили, что те же самые изменения происходили во многих или во всех популяциях. В появившихся вскоре научных работах был сделан вывод, что не только популяции одинаково эволюционировали в плане скорости роста и клеточной анатомии, но еще и физиология с генетикой.

В 2011 году Ленски, оценивающий теперь уже пятьдесят тысяч генераций эволюции, еще раз подтвердил свое высказывание, заявив: «К моему удивлению, эволюция была очень повторяема..^[82] И хотя клеточные линии, несомненно, расходились во многих деталях, меня поразили параллельные траектории их эволюции, когда похожие изменения наблюдались в столь многих фенотипических признаках и даже в нуклеотидных последовательностях генов, которые мы изучали».

ПРИМЕРНО В ТО ЖЕ САМОЕ ВРЕМЯ, когда Рич Ленски только начинал свой путь в науке, где-то на противоположной половине земного шара другой молодой человек начинал учебу в колледже. Как и Ленски, Пола Рейни^[83] влекла биология. В университете Кентерберри в Новой Зеландии он сначала изучал лесоводство, а потом ботанику. Но в отличие от Ленски Рейни не пошел в магистратуру по окончании университета. Поработав параллельно с учебой в качестве профессионального джазового музыканта, он отправился в Лондон и начало года провел, путешествуя по Европе, выступая, знакомясь с новыми городами, работая в пабах и пытаясь почувствовать этот мир. Вернувшись в Новую Зеландию, он продолжил зарабатывать на жизнь, играя на саксофоне, но в итоге сдался под давлением родственников своей подруги и стал работать менеджером по продажам в компании по производству молочных продуктов. Он успел проработать три месяца, прежде чем понял, что продажа пакетов с молоком и встреча с управляющими продуктовых магазинов это не та жизнь, о которой он мечтал.

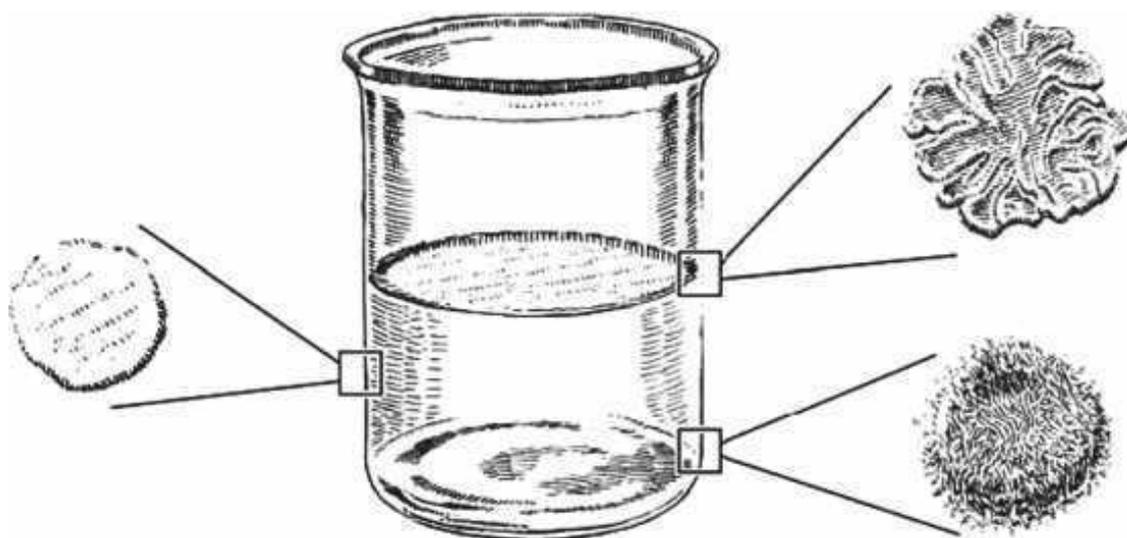
И, как это часто бывает у молодых людей, решил продолжить учебу. Размышляя, какую магистерскую программу выбрать, он обнаружил вакансию для студента, интересующегося исследованиями, связанными с выращиванием грибов в промышленных масштабах.

В рамках этого проекта Рейни узнал о типе колониеобразующих бактерий под названием *Pseudomonas fluorescens*, который не только участвует в процессе размножения грибов, но также красиво переливается всеми цветами радуги. Он начал работать с этими бактериями, выращивая их в чашках Петри. По мере продвижения работы Рейни заметил то, чего он не ожидал: находившиеся в своих маленьких чашках бактерии, похоже, менялись со временем. Одни теряли свою окраску и становились прозрачными, в то же время утрачивая свою токсичность. Другие же делились на множественные типы.

Заинтригованный этим, он продолжал свои исследования, даже несмотря на то, что имел постоянную работу, связанную с производством грибов. Рейни пробовал выращивать бактерии в новых средах и условиях, наблюдая за тем, как они адаптируются к разному окружению. Тем временем степень магистра сменилась докторской степенью, после чего он уехал в Англию, чтобы продолжить свои исследования грибов в качестве постдока сначала в Кембридже, а потом в Оксфорде.

И именно в Оксфорде все, наконец, сошлось. *Pseudomonas fluorescens* – это тип бактерии, которая живет в почве и воде. Одной из задач Рейни было собрать и изучить образец штаммов бактерии, взятых с разных растений-хозяев. Один такой штамм был собран с листьев сахарной свеклы, растущей в местных лесах.

Он принес этот образец в лабораторию и поместил его в аналитический стакан, наполненный существенными питательными веществами. Вернувшись в лабораторию после выходных, он обнаружил, что на поверхности бульона бактерии образовали толстую липкую пленку из клеток. Дальнейшие исследования показали, что, оставаясь какое-то время нетронутыми в этом бульоне, бактерии дивергировали в три разных типа, которые заняли разные части стакана. Наблюдалось довольно интересное явление, когда один-единственный родственный тип породил три, явно адаптировавшихся к разным частям среды, – адаптивная радиация в миниатюре.



В эксперименте Рейни *Pseudomonas fluorescens* дивергировала на три типа с разными формами: гладкий (слева), сморщенный наполнитель (вверху) и ворсистый наполнитель (внизу).

Описание Рейни лабораторной адаптивной радиации стало беспрецедентным событием. Но самое поразительное заключалось в том, что когда Рейни снова и снова повторял эксперимент, помещая свекольную бактерию в бульон и предоставляя ей возможность делать свое дело, каждый раз появлялись те же самые три живущих в разных средах типа. Постоянно.

Когда Рейни в первый раз поместил бактерии в стакан, они были круглыми и глянцевыми и встречались во всем бульоне. Он называл их «гладкими». Однако довольно быстро гладкий тип оказался во внутренней зоне, так как эволюционировали два новых типа. Первый был в виде закругленных клеток с бороздчатыми морщинистыми краями, которыми они сцеплялись друг с другом, образуя ковры на поверхности бульона. Рейни назвал их «сморщенными заполнителями». Другой тип был такой же круглый, как и гладкие, но покрыт плотным слоем волосков, отсюда и его название «ворсистые заполнители». Как и сморщенные, ворсистые тоже сливаются, образуя на поверхности ковер, но они не такие способные, а потому быстро погружаются на дно стаканов, периодически на короткое время вновь колонизируя поверхность, пока вирусы атакуют сморщенных.

Почему происходит это адаптивное расхождение, понятно: кислород – ограниченный ресурс. Когда предковые популяции гладких плавают в бульоне, они расходуют кислород, что приводит к эволюции сморщенных, а затем ворсистых заполнителей, которые способны в полной мере воспользоваться большим объемом кислорода, находящегося на поверхности бульона. Питающиеся насекомыми ящерицы адаптируются к разным средам, чтобы свести к минимуму соперничество за еду; маленькие клетки, пожирающие кислород, делают то же самое.

В своем долгосрочном эволюционном эксперименте Ленски продемонстрировал конвергентную эволюцию в рамках одного-единственного вида. Но Рейни продвинулся на шаг дальше, показав, что та же самая адаптивная радиация происходит повторно. Помести *Pseudomonas fluorescens* в колбу со специфическим набором питательных веществ, оставь их на несколько дней, и – вуаля! – ты получишь смесь гладких, сморщенных и ворсистых. Надо отметить, что при этом не только возникают те же самые три типа бактерии, они делают это в предсказуемой последовательности: сначала доминируют сморщенные и лишь потом за ними следуют ворсистые. Вряд ли найдешь что-то более реплицированное, чем это.

Проведя полгода в качестве постдока в Оксфорде, Рейни, подрабатывая на стороне, разобрался в сути данного процесса. Радостный и гордый, что ему удалось сделать это самостоятельно, он впервые презентовал свою работу на полугодовом собрании институтской лаборатории. Эти собрания проходили в кабинете директора института, выдающегося вирусолога, который подобно многим молекулярным биологам своего поколения презирал любое биологическое исследование, которое не концентрировалось исключительно на понимании механизма работы молекул.

Где-то на середине презентации Рейни директор прервал его, сказав, что работа не имеет никакой ценности, потому что это всего лишь описание происходящего без понимания молекулярных изменений, которые происходят в процессе адаптации разных типов бактерий. Рейни было запрещено проводить дальнейшие исследования подобного рода в стенах института.

Нет нужды говорить, что он был раздавлен. Но все же Рейни был, по его собственному определению, «упрямым сукиным сыном», и эта публичная порка лишь укрепила его решимость довести начатое до конца.

Работа продолжилась, хоть и тайком.

Главным моментом спора на тему «Вероятность против детерминизма» является значимость случайности, то, насколько случайные события способны повлиять на будущее. Конечно же, такие события могут быть одинаково важны как для человеческой истории, так и для эволюции. А в истории Пола Рейни именно случай сыграл свою роль. Спустя недолгое время после

собрания лаборатории Рейни узнал о приехавшем в Оксфорд на год визитере – временно работающем там исследователе Риче Ленски.

Рейни назначил встречу чтобы представиться ему. И за этой встречей последовало много других. В отличие от узкомыслящего начальника Рейни Ленски понял значимость данной работы. Он не только подбодрил его добрым словом и советами, но также написал убедительное письмо в поддержку Рейни, чтобы тот получил престижную должность и продолжил свою работу. В 1994 году Рейни стал профессором и все свободное время смог посвящать изучению *Pseudomonas fluorescens*.

Год спустя Ленски председательствовал на знаменитой Гордоновской конференции, возглавив заседания по теме «Биология микробных популяций», и пригласил Рейни выступить там. Это должно было стать первой публичной презентацией исследования, и Рейни обнаружил все, что ему удалось обнаружить. Лекция произвела фурор, но его исследовательская программа была уникальной в своем роде, а потому чуждой собравшимся там ученым. Не способствовало успеху и то, что Рейни озадачил всех теми кличками, которые он дал трем специалистам среды и которые больше годились для героев детских книжек, чем для важной исследовательской программы. Вероятно, было бы лучше придумать какие-то более скучные специальные термины. В любом случае, новизна исследования, забавные названия типов бактерий и особый стиль презентации Рейни заставили собравшихся от души повеселиться. Но и по сей день Рейни не знает, сколько людей смеялось вместе с ним, а сколько – над ним.

Тем не менее в целом реакция была положительной, и Рейни воспрял духом. На следующий год руководство Оксфордского университета предложило ему должность лектора (то же, что ассистент профессора в Соединенных Штатах). Не испытывая теперь уже недостатка в средствах, Рейни смог сам нанять аспиранта, молодого исследователя, которого он встретил на Гордоновской конференции, – Майкла Травизано, ветерана лаборатории Ленски. Травизано и Рейни завершили работу^[84], опубликовав два года спустя ставшую теперь уже классической научную статью в журнале *Nature*.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ЛЕНСКИ и реплицированная микробная адаптивная радиация Рейни в итоге легли в основу новой подобласти эволюционной биологии. Поначалу работа была ограничена несколькими лабораториями. Но этот этап длился недолго, так как поколения студентов быстро сменяют друг друга – лабораторное «потомство» быстро вырастает, оперяется и создает свои собственные лаборатории. К концу 1990-х годов часть студентов Ленски стали уже преподавателями, продолжив применять долгосрочный экспериментальный эволюционный подход в других учебных заведениях. А кто-то занялся независимыми исследованиями, используя данный метод и расширив не только исследовательскую базу, но также и круг изучаемых организмов. Спустя четверть века после того, как Ленски впрыснул *E.coli* в несколько колб, десятки, а может быть, и сотни других лабораторий проводят экспериментальные эволюционные исследования. И собранных данных вполне достаточно, чтобы целые конференции были посвящены исключительно этой теме.

Большинство таких исследований были относительно краткосрочными: например, эксперименты с *Pseudomonas* заняли всего десять дней. Но в настоящее время все большее количество исследователей копируют метод Ленски, продолжая эксперименты на длительной основе.

ДЭЭ это, конечно же, родоначальник данного типа исследований и основа для понимания процесса осуществления долгосрочного экспериментального эволюционного исследования. Каждый день на протяжении уже двадцати восьми лет кто-то из членов лаборатории Ленски осуществляет переносы, перемещая каждую популяцию из израсходованной среды в свежую, обогащенную глюкозой.

И хотя сам процесс занимает всего несколько минут, впечатляет то, как все организовано и осуществлено. График дежурств в лаборатории установлен строго: день работы, день отдыха,

невзирая на выходные, снежные бури, болезни и семейные торжества. Все члены лаборатории Ленски с особым уважением относятся к ветерану лаборатории менеджеру Ниирдже Хаджела, идейному вдохновителю, благодаря которой проект так долго и столь успешно работает.

За двадцать восемь лет график переносов нарушался всего три раза. Первый раз это произошло в 1991 году, когда лаборатория Ленски переезжала из Калифорнийского университета Ирвин в штат Мичиган. Процесс переезда лаборатории трудоемкий. В этот раз потребовалось прервать проект. Но такой долгий перерыв не стал проблемой. *E.coli*, как и большинство микробов, обладает суперсилой: ее можно замораживать, помещать в анабиоз, как астронавтов в научно-фантастических фильмах, а потом размораживать и оживлять без всякого для нее вреда. Так что ДЭЭ просто поставили на паузу в глубокой заморозке и переместили в другое место страны. Девять месяцев спустя популяции разморозили, и эксперимент продолжился с той же самой точки, на которой был остановлен.

Вторая и третья паузы в проекте были краткими: зимой 2007 и 2010 гг. все члены лаборатории разъехались на каникулы, так что проект был временно приостановлен. Но больше такого не повторялось, и исследования продолжались ежедневно в течение семи лет.

УЧЕНЬЕ, РАБОТАЮЩИЕ В ОБЛАСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ, используют самые разные подходы как в плане осуществления исследования, так и в том, что касается изучаемых проблем. Тем не менее многие авторы этих исследований в целом повторяли подходы Ленски-Рейни и создавали реплицированные популяции в идентичных условиях, пытаясь ответить на вопрос, действительно ли эволюция происходит параллельно во всех популяциях.

Учитывая то, что в процессе своих исследований и Ленски, и Рейни обнаружили, что реплицированные популяции эволюционировали очень похожим образом, можно ли ожидать, что другие эксперименты не дадут такого же результата?

Сформулируем вопрос иначе: если изначально идентичные популяции адаптируются к идентичным условиям, то почему бы им не адаптироваться похожим образом?

Здесь следует учитывать два фактора. Во-первых, чтобы эволюционировать, популяции должны варьироваться генетически. Нет варьирования – нет способности к изменению: в конце концов, естественный отбор работает, поощряя тот или иной вариант. И если не будет варьирования, тогда отбору не с чем будет работать. В силу того, что у популяций изначально отсутствует генетическая вариативность, вся последующая эволюция основана на мутациях, возникших после начала эксперимента. А это, в свою очередь, означает, что на эволюционный процесс может повлиять то, какие мутации возникли в каждом репликате. Эволюционные различия среди популяций могут появляться просто потому, что в разных популяциях происходят разные мутации.

Более того, возникновение мутации в той или иной популяции может зависеть от их порядка появления: изменение может быть нецелесообразным, если в популяции случилась уже другая мутация. И наоборот, может потребоваться, чтобы сначала возникло первоначальное изменение. А потому даже если одинаковые мутации возникают в двух популяциях, разные эволюционные итоги могут происходить из-за различий в очередности мутаций.

Второй фактор, способный повлиять на то, станут ли популяции эволюционировать параллельно, связан с тем, существует ли несколько способов решить проблему, поставленную окружающей средой. В третьей главе мы уже обсуждали, что виды, сталкивающиеся со схожими условиями обитания, могут адаптироваться неконвергентно, если у них разовьются разные фенотипы, выдающие одинаковую функциональную реакцию (так хорошие плавательные способности могут быть результатом наличия мощных хвостов, передних или задних конечностей) или если у них есть множество разных функциональных способов адаптироваться к

избирательным условиям (так в ответ на появление нового хищника эволюционируют длинные лапы, чтобы лучше убегать, или маскировка).

Но мы также наблюдали, что из-за своей генетической похожести близкородственные популяции с большей вероятностью эволюционируют одинаково, чем дальние родственники.

Таким образом, возникает вопрос: чего ожидать от экспериментальных исследований эволюции микробов, учитывая все эти факторы? В экспериментах Ленски и Рейни реплицированные популяции по большей части эволюционировали одинаково. Является ли это общим правилом?

Оценить данное предположение трудно, потому что исследования изучают эволюцию разными способами. Самыми наглядными являются те исследования, в ходе которых изучаются признаки популяций с целью выяснить, эволюционировали ли они повторно похожим образом, как, например, крупные клетки в экспериментах с *E.coli* или три разных типа клетки *Pseudomonas*.

Другой организм, часто участвующий в экспериментах, это знакомый всем дрожжевой грибок *Saccharomyces cerevisiae*, который люди веками использовали для выпечки, в виноделии и пивоварении. А если говорить о более близких временах, то этот грибок сыграл еще одну роль – модельного организма для исследований в области молекулярной биологии. В отличие от других видов микробов, которые мы обсуждали, дрожжевой грибок – эукариот, как и мы, то есть каждая клетка содержит сформированное ядро, в котором заключена ДНК. В этом аспекте их биология схожа с биологией людей и других крупных организмов.

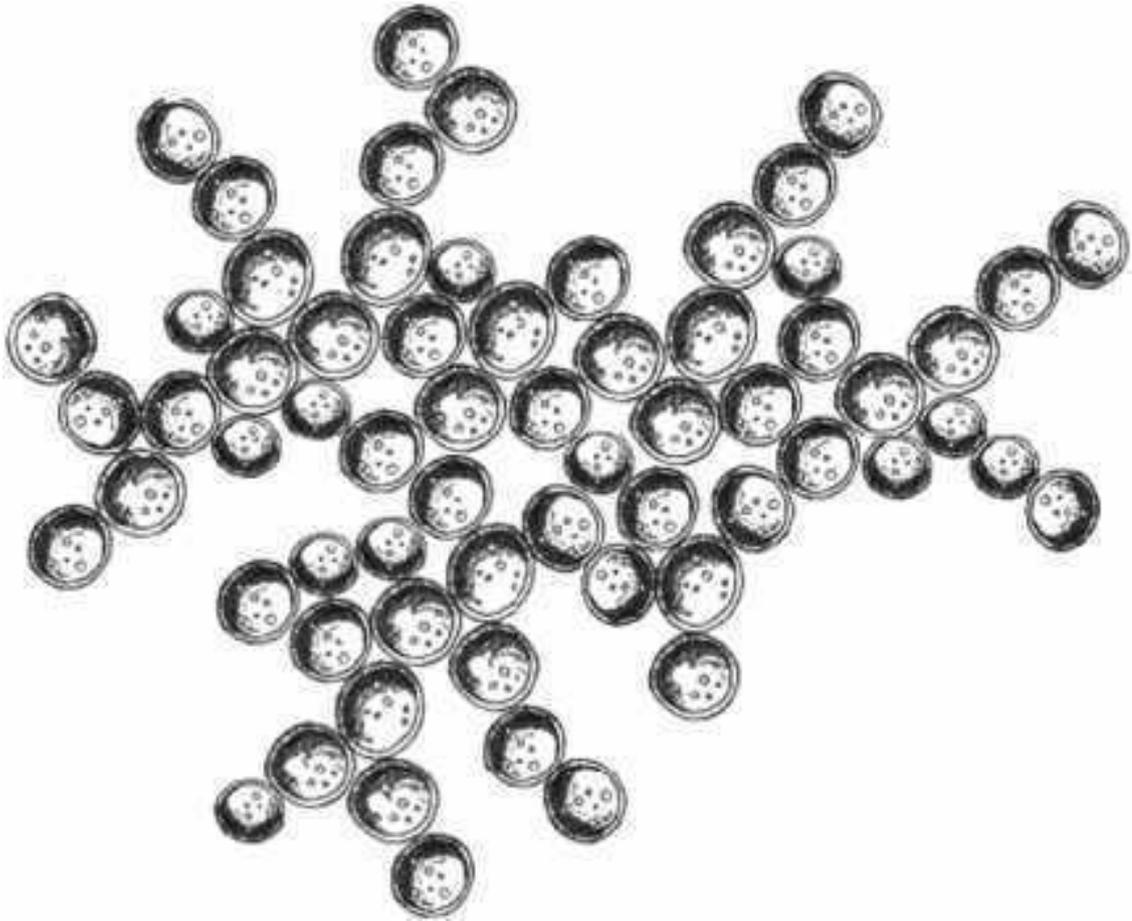
Но несмотря на то что у них есть ядро, каждая грибковая особь состоит всего из одной клетки. По крайней мере, основная масса. Группа ученых под руководством уже знакомого нам Майкла Травизано (теперь он возглавляет свою собственную лабораторию в университете Миннесоты) решила изучить процесс эволюционного перехода от одноклеточного состояния к многоклеточному – важный рубеж в эволюционной истории жизни. Эволюционных биологов особенно интересует вопрос о том, как произошло данное изменение, потому что это означает, что отдельные организмы теряют свою автономию и начинают совместное развитие для общего блага. Почему вдруг изначально независимые друг от друга клетки сходятся вместе, образуя многоклеточный организм, в котором лишь часть клеток получает возможность размножаться? Возьмем для примера человеческое тело. Из клеток состоит наш мозг, наши глаза, наши ноги, все наше тело.

Но лишь малое количество клеток – яйцеклеток или сперматозоидов – участвуют в процессе репродукции и передают свою ДНК следующему поколению. А зачем тогда все остальные клетки? Это давнишняя проблема, и Травизано хотел разобраться в ней, изучив процесс эволюции в лаборатории.

Но как заставить одноклеточные организмы работать сообща? Ученые предположили, что, произведя отбор клеток более крупного размера, они активизируют эволюцию клеток, группирующихся вместе и образующих более крупную массу. Более ранние подобные попытки закончились ничем. Но команда Травизано справилась со своим успешным планом.

Посчитав, что более тяжелые массы будут быстрее погружаться на дно наполненной жидкостью пробирки, они установили центрифугу, в которой вращали клетки в течение десяти секунд. Тех, которые падали на дно быстрее других, извлекали и помещали в пробирку для последующего размножения в течение двадцати четырех часов. После чего их снова подвергали циклу вращения – процесс, который повторялся ежедневно на протяжении двух месяцев. Такой отбор по принципу быстрого погружения работал в точности так, как и ожидалось, приводя к увеличению размера во всех десяти популяциях.

Клетки ожидаемо сцеплялись, образуя многоклеточные, похожие на снежинки скопления. Более того, механизм амальгамирования был одинаковым во всех десяти популяциях.



Похожие на снежинки скопления клеток дрожжевых грибов из эксперимента Травизано.

Но происходило все не так, как в процессе варения пива, когда отдельные клетки дрожжевого грибка сходятся вместе. В данном случае в ходе репродуктивного процесса многоклеточные скопления эволюционировали, изменяясь. Обычно дрожжевые грибки размножаются так же, как *E.coli*, когда одна клетка делится на две, которые затем идут каждая своим путем. Однако у «снежинок»^[85] процесс деления начинался, но не завершался. Одна клетка делилась на две, но дочерние клетки оставались соединенными друг с другом. В результате структура росла, так как клетки продолжали делиться.

Данный эксперимент отличается от исследований команд Ленски и Рейни тем, что ученые напрямую подвергали организмы селекции, вместо того чтобы просто поместить их в новую среду и предоставить природе действовать самой. По словам Ленски, это был селекционный, а не долгосрочный эволюционный эксперимент. Тем не менее общие выводы, полученные благодаря исследованиям Травизано, очень сильно похожи на те, к которым пришли Ленски и Рейни: сталкиваясь с одинаковой селективной средой, популяции независимо друг от друга эволюционируют похожим образом.

В отличие от работы Травизано Ленски и Рейни в большинстве долгосрочных лабораторных эволюционных экспериментов не оценивают фенотипические признаки. Причина проста: это очень сложно. Микробы малы, и, как правило, это трудоемкая и затратная по времени задача: выполнить точные измерения их анатомии или физиологии. А потому в этих исследованиях обычно не оценивается та граница, до которой фенотипы эволюционируют одинаково.

Скорее в большинстве исследований применяются один или оба из двух дополняющих друг друга подхода для изучения эволюционной повторяемости. Один метод заключается в

том, чтобы сравнить скорость роста популяции с тем, как росла предковая популяция. Со временем они, как правило, лучше адаптируются к новой среде, а значит, их размер – количество отдельных клеток – увеличивается быстрее. Многие исследования показали, что количественное повышение адаптации происходит очень похоже у каждой последующей экспериментальной популяции.

Если вы помните, в эксперименте Ленски скорость роста популяции составляла в среднем около семидесяти процентов с легким колебанием между ними.

В ходе исследования *E.coli*, которое проводила другая команда ученых^[86], были получены схожие результаты. Ученые создали сто четырнадцать популяций и подвергали их воздействию очень высоких температур на протяжении двух тысяч генераций. Предположительно это привело к селекции физиологических адаптаций при жизни в горячей ванной. Но саму физиологию не изучали. В результате ученые сообщили об устойчивом увеличении скорости роста примерно на сорок процентов по сравнению с предковым штаммом.

Этот общий вывод о том, что экспериментальные популяции повышают свою приспособляемость на одном уровне, указывает на то, что они одинаково лучше адаптировались, но не говорит о том, как они этого добились. Возможно, их усилившаяся адаптивность стала результатом возникших схожих признаков. Но это также могло произойти в процессе эволюции разных признаков, которые просто оказались одинаково пригодными.

Второй метод определения повторяемой эволюции заключается в сравнении генетических изменений, которые возникли у экспериментальных репликонов. В наши дни можно дешево и быстро секвенировать целые геномы многочисленных особей. В подобных исследованиях, как правило, обнаруживается, что генетические изменения возникают в первую очередь у одинаковых генов в масштабах экспериментальных популяций. Так, к примеру, в эксперименте с горячей ванной мутации появились в одном конкретном гене в шестидесяти пяти из ста четырнадцати экспериментальных популяций. Более того, даже когда мутации случались в разных генах, это происходило в связанных друг с другом генах, обладавших очень похожими функциями, – результат, который также достигался в исследованиях Ленски.

Но говоря о генетических сравнениях экспериментальных популяций, следует помнить вот о чем. Во-первых, почти всегда эти популяции приобретают мутации одного и того же гена чаще, чем это происходит по воле случая. Но совсем иначе обстоит дело с популяциями, которые идентичны в своей генетической эволюции.

Так, к примеру, у любых двух популяций *E.coli* из горячей ванны лишь двадцать процентов генов, которые мутировали в одной популяции и также приобрели мутацию в другой. Так что в статистическом плане экспериментальные популяции, как правило, генетически эволюционируют похожим образом, но при этом между ними возникает множество различий.

Более того, даже когда две популяции приобретают мутацию одного и того же гена, обычно сами мутации неодинаковы, скорее они демонстрируют изменения в разных позициях ДНК внутри гена. Разумно будет предположить, что подобные мутации порождают похожие фенотипические изменения. Однако всегда существует вероятность того, что разные мутации в одном и том же гене могут иметь отчетливо различные влияния на функционирование гена, а значит, могут привести к разным фенотипическим исходам. Не имея данных по фенотипу, мы не можем сказать об этом с уверенностью.

Но несмотря на все эти оговорки, справедливо будет утверждать, что в эволюционных экспериментах с микробами наблюдается повторяемость. Эксперименты Ленски и Рейни самые известные, но если брать в целом, то и другие опыты заключают в себе похожее послание: популяции адаптируются примерно с одинаковой скоростью и делают это, насколько мы понимаем, преимущественно за счет развития схожих адаптаций. Они, как правило, используют одинаковые наборы генов, чтобы добиться этих параллельных итогов. Данные результаты говорят нам о том, что эволюция раз за разом идет одним и тем же путем, по крайней мере, на

макроскопическом уровне: идентичные популяции, подверженные идентичным селективным воздействиям, обычно эволюционируют очень похожими способами.

С одним заметным исключением.

Глава десятая

Прорыв в бутылке

Порядок проведения ДЭЭ требовал, чтобы колбы менялись ежедневно на протяжении года, включая выходные и праздники. Большинство членов лаборатории попеременно исполняли данные обязанности. Ниирдже Хаджела, менеджер лаборатории, подробно инструктировала новичков по поводу того, как правильно переносить *E.coli* из пробирок с закончившейся глюкозой в новые свежие жилища и поначалу зорко наблюдала за тем, как они это делают. Каждый месяц Хаджела составляла график, назначая дежурства в выходные или праздники.

Морозным субботним днем в конце января 2003 года член лаборатории Ленски Тим Купер дежурил, следя за ходом ДЭЭ. Это задание он выполнял уже множество раз. Но в тот холодный ветреный снежный день он бы, вероятно, предпочел остаться дома. Тем не менее долг обязывал, и Тим отправился в лабораторию.

На самом деле Куперу нравилась эта часть работы. Эксперимент шел уже четырнадцать лет и помог сделать существенные научные открытия. Переноса бактерий из старых жилищ в новые, с пополненными ресурсами, он чувствовал, что делает важное для науки дело, поддерживая ход эксперимента, который уже вошел в анналы эволюционной биологии.

Но вряд ли он догадывался, пробиваясь сквозь снежную бурю, что вскоре сам станет частью этой истории.

Прибыв в лабораторию в то утро, он сразу же приступил к работе. Он отправился в кабинет, где хранилась стерильная лабораторная посуда, и взял там новые колбы. Каждая была накрыта маленьким перевернутым аналитическим стаканом, который защищал отверстие колбы от попадания внутрь любых находившихся в воздухе бактерий. Наклеив на колбы бирки, Купер взял бутылку с уже приготовленной средой и аккуратно впрыснул пипеткой 9,9 миллилитра в каждую новую колбу.

Теперь настало время для важных переносов. Проголодавшиеся микробы сидели тихо и ждали уже почти целый день. И лишь немногие счастливчики будут приглашены на новый банкет, где они продолжат питаться, делиться и завоевывать новые пространства. Купер направился к термостату и достал оттуда колбы с бактериями. Он поместил их на поднос, чтобы затем отнести на лабораторный стол. Там он откачает из старой колбы 0,1 миллилитра среды и поместит ее в соответствующую новую колбу, инициировав дальнейший рост популяции в течение суток. Купер обычно брал сразу две колбы, быстро смотрел на них, а затем ставил на поднос. Некая внутренняя эксцентричность заставила его превратить эту обычную рутину в трудную задачу. А целью было минимизировать время переноса микробов из старых домов в новые жилища.

Следует отметить, что по мере того, как количество клеток *E.coli* в пробирке увеличивается, жидкость становится чуть менее прозрачной: сначала она чистая, но уже на следующий день слегка мутнеет. Прежде чем осуществить переносы, Куперу нужно было убедиться, что жидкость в каждой колбе была соответствующей степени мутности. Слишком прозрачная указывала бы на то, что что-то в предыдущий день пошло не так и что в колбе отсутствуют бактерии; а совсем непроницаемая означала бы взрыв бактериальной популяции – результат заселения колбы каким-то другим видом бактерий. Процедура была формальной: за три года работы в лаборатории Купер ни разу не видел, чтобы колба не была чуть затуманенной.

Купер вынул две первые колбы из держателей на металлической платформе, придерживая стаканы так, чтобы они плотно накрывали их сверху. Бросив быстрый взгляд, он убедился в том, что все в порядке. Второй комплект колб выглядел так же. Дальше шли колбы с популяциями Ага-3 и Ага+3 (не буду здесь объяснять, почему они так называются). Когда он достал эти колбы, то испытал... ну, наверно, «самый большой шок в своей жизни» – это слишком уж

мелодраматично, но то, что он увидел, точно стало для него большим сюрпризом. Жидкость в колбе Ага-3 была непрозрачной и затуманенной. Эта непрозрачность свидетельствовала о бурном росте популяции бактерий: о том, чего не должно было произойти, учитывая ограниченное количество питательных веществ, которые давали *E.coli* каждый день.

Подобные вспышки случались несколько раз за четырнадцать лет эксперимента и были результатом оплошностей, которые позволили другому типу микробов воспользоваться этим и проскользнуть в колбу. Подобный промах был ожидаемой проблемой, и лаборатория Ленски была к ней готова. Каждый день после того, как популяцию переносили в новую колбу (назовем ее F1), старую (F0) ставили в морозильник на день для подстраховки. Если на следующий день новая колба (F1) становилась мутной и, возможно, заселенной, то ее содержимое выбраковывалось, а во взятую в тот день новую колбу (F2) засеивалось содержимое предыдущей (F0) из морозильника. По сути, эксперимент пропускал один день – день, когда, вероятно, произошло заселение, – возвращаясь к старой колбе предыдущего дня, содержимое которой переходило в новую текущего дня. Следуя лабораторному протоколу, Купер четко выполнил все эти действия, используя пятничную колбу с Ага-3 из морозильника, чтобы заселить новую с Ага-3.

Дежурство в лаборатории Ленски в выходные включало два дня, поэтому Купер вернулся туда в воскресенье. К его удивлению, Ага-3 снова оказалась мутной. Испытывая еще большее любопытство, Купер извлек из колбы маленький образец и рассмотрел его под микроскопом.

Он ожидал увидеть маленькое количество клеток *E.coli* и большое количество клеток какого-то другого типа бактерии. Но все клетки были похожи на клетки *E.coli*. Надо признать, что большинство бактерий под микроскопом напоминают *E.coli*, так что данное наблюдение не было показательным. Но все равно Купер был взволнован, чувствуя, что это могло быть чем-то значительным.

В лаборатории также существовал протокол для устойчивого заселения, которое продолжалось даже тогда, когда пустела колба, оставшаяся с предыдущего дня. Как понять, когда контаминанты попали внутрь колбы? Возможно, они находились там в течение нескольких дней, но им потребовалось время, чтобы нарастить свою численность. У лаборатории не было возможности хранить все ежедневные образцы исключительно для подобного случая – место в морозильнике ограничено. А потому если возврат на один день назад не решал проблему неожиданного заселения, то следующим шагом был переход к плану Б.

Согласно лабораторным процедурам поворачивать время вспять можно было чуть дальше. В данном случае примерно на три недели назад. А возможным это становилось благодаря криогенным способностям *E.coli*. Способность микроба выживать в состоянии анабиоза, а потом размораживаться позволяет приостанавливать эксперимент на определенные промежутки времени. А кроме того, это позволяет исследователям в случае необходимости сохранять образцы в живом состоянии с предыдущих этапов эксперимента.

Через каждые пять сотен поколений (примерно семьдесят пять дней) члены лаборатории Ленски аккуратно переносили неиспользованные девяносто девять процентов популяции в стеклянные бутылочки с тщательно наклеенными на них бирками и помещали их в ультратонкую морозильную камеру при температуре минус сто двенадцать градусов по Фаренгейту. Когда экспериментальные сбои случались в прошлом, ученые просто подходили к морозильнику – к «замороженным окаменелостям», как они их называют, – извлекали оттуда последний по времени архивированный образец и возобновляли эксперимент с этой точки.

Морозильник, в котором хранятся архивированные образцы, называется Авалон, а копии образцов держат в резервных морозильных камерах с названиями Кифхойзер, Вальгалла и Шешнаг.

Знаете, что означают эти названия? Я лично не знал. По словам Зака Блаунта (с которым мы вскоре познакомимся поближе), запасные морозильники «названы в честь тех мест из мифов и легенд^[87], где спят великие герои в ожидании, когда они понадобятся снова». Во всех

случаях предполагаемого заселения, когда лаборатория перезапускала эксперимент с помощью образцов из Авалона, проблема исчезала: возрожденные популяции вели себя нормально, и пробирки снова становились прозрачными.

Но не в этот раз. Прошло несколько недель, и опять возникло помутнение. Дальнейшее исследование подтвердило, что причина этого не в заселении. Напротив, именно законные обитатели пробирки заварили всю эту кашу. *E.coli* из популяции Ага-3 эволюционировали способом, который позволил им вырастать до десяти раз больше своего обычного размера.

Размер популяции Ага-3 был слишком велик, и им не хватало того минимального количества глюкозы, который давали ежедневно. Очевидно, микробы в этой популяции развили способность питаться чем-то еще в этом бульоне, тем, что всегда там было, но что ни одна из других популяций никогда не могла использовать. Вероятным кандидатом была молекула цитрат, остаток лимонной кислоты, которая придает лимону его кислый вкус, заставляя нас морщиться.

Теоретически цитрат подходит в качестве источника энергии для *E.coli*. На самом деле в случае отсутствия кислорода *E.coli* способна поглощать цитрат из окружающей среды и питаться ею. Но при наличии кислорода *E.coli* не ест цитрат. Причина в том, что работа по доставке цитрата в клетку *E.coli* выпадает на долю белка-переносчика, который высовывается из стенки клетки, цепляет молекулы цитрата и втягивает их внутрь, где они перевариваются. Этот белок производит ген *citT*, который активизируется только в тех средах, где нет кислорода. Почему возник такой порядок, неизвестно.

Неспособность *E.coli* использовать цитрат при наличии кислорода настолько устойчива и абсолютна, что считается диагностическим лабораторным инструментом для определения, является ли данная бактерия *E.coli* или нет.

По словам автора научных публикаций Карла Циммера, *E.coli* это «самый тщательно изучаемый вид на Земле»^[88]. Но несмотря на бесчисленное количество осуществленных за прошедшее столетие экспериментов с этим организмом, описан всего один случай возникшей у лабораторной *E.coli* способности потреблять цитрат при наличии кислорода, и было это еще в 1982 году.

Появление цитрата в экспериментальной среде стало счастливой случайностью. Предыдущие исследователи включали цитрат в эксперименты с *E.coli*. Так как это работало в прошлом, Ленски придерживался этого надежного и проверенного метода. Зная об исследовании 1982 года, он задавался вопросом, неужели популяция может адаптироваться к использованию цитрата. Но эта идея увяла, потому что ни одна генерация *E.coli* не смогла расколоть «орешек» цитрат.

Пока не наступил черед генерации 33,127. Как только было исключено заселение, следующей вероятной гипотезой стало потребление цитрата. Первые тесты оказались положительными: когда образцы Ага-3 поместили в колбу с цитратом, но без глюкозы, они смогли выжить и прекрасно росли.

На этом этапе работа по определению процессов, происходящих в Ага-3, была передана другому постдоку Кристине Борланд, специалисту по молекулярной генетике, получившей докторскую степень в Йельском университете. У нее была непростая задача провести данный эксперимент безукоризненно. Сначала она исключила возможность того, что популяцию заселил контаминант, которого не определишь обычными методами и который мог питаться цитратом. Далее ей следовало установить, что цитрат потребляла именно популяция Ага-3: возможно, популяцию каким-то образом заселил другой штамм *E.coli*, который разобрался в том, как использовать цитрат. Проведенный ею анализ ДНК показал, что в популяции присутствовали особые мутации, которые уже давно были свойственны Ага-3.

А это означало только одно: единственная популяция, прожившая в колбах в лаборатории Ленски в течение четырнадцати лет, совершила существенный эволюционный скачок.

Каким-то образом благодаря правильной комбинации мутаций и естественного отбора у популяции развилась адаптация, на которую, насколько это известно, данный вид не был способен на протяжении миллионов лет своего существования в естественных условиях⁵⁰. Эволюционная значимость этой адаптивной трансформации так велика, что Ленски озвучил мнение, что, вероятно, данный штамм находится в процессе превращения в новый вид. И теперь, спустя тринадцать лет, данная гипотеза вскоре воплотится в научную работу. Но произошло это лишь в одной из двенадцати популяций. Даже сейчас, по прошествии тридцати тысяч поколений и десяти с лишним лет, данная способность не эволюционировала больше ни у одной из оставшихся популяций. Вот вам и предсказуемость, и параллельная эволюция!

СТИВЕН ДЖЕЙ ГУЛД представлял свою идею «прокручивания пленки» как мыслительный эксперимент, который, как он считал, невозможно осуществить. «Плохая новость в том^[89], что вряд ли нам удастся осуществить этот эксперимент», – писал он. Но на самом деле это можно проделать с микробами. Наличие возможности заморозить и оживить микробов означает, что мы способны повернуть время вспять, прокрутить пленку истории. Замороженные образцы предковых популяций можно снова возродить и встроить в процесс эволюции, а потом пронаблюдать, будет ли итог таким же, как в первый раз. Это важнейшее преимущество работы с микробами, которое, по словам Ленски, он недооценивал, когда начинал свой эксперимент. Он полагал, что готовит реплицированный аналог метафоре Гулда – параллельную эволюцию двенадцати популяций, – но возможность возрождать популяции замороженных микробов означала, что он действительно способен прокрутить пленку, вернуться назад во времени и начать все заново.

Итак, зимой 2004 года шанс нажать на «повтор» выпал двадцатисемилетнему аспиранту Заку Блаунту, недавно прибывшему в лабораторию Ленски.

Блаунт, мягкий и учтивый уроженец южного штата Джорджия, испытывающий, как ни странно, любовь к суровым северным зимам, приехал в Мичиган не для того, чтобы работать с Ленски. Но в той лаборатории, куда он собирался, у него что-то не сложилось, и он начал искать другие варианты. Блаунту понравился основанный на гипотезах подход, применявшийся в лаборатории Ленски, а Ленски увидел в Блаунте молодого человека, «серьезного и умного^[90], спокойного, склонного заниматься наукой из любопытства и тяге к знаниям».

Блаунт оказался в лаборатории в правильное время: Борланд только что установила, что у популяции Ага-3 развилась способность использовать цитрат. Это влекло за собой массу других вопросов. Изначально Блаунт работал над частью проекта, возглавляемого Борланд. Но после того как она в том же году переехала с мужем в Китай, Ленски перепоручил ему весь проект. И вряд ли кто-то из них догадывался, что он вылетится в итоге в десятилетний труд и что за этим последует не только докторская степень Блаунта, но и многие годы исследований, и его международное признание.

Облаченный в свой «фирменный» окрасившийся лабораторный халат (изначально зеленый, а теперь голубой), Блаунт приступил к работе. К тому моменту уже триллионы *E.coli* прожили и умерли в ходе эксперимента (двенадцать популяций, тридцать тысяч поколений, десятки миллионов клеток с переносимым объемом в день, считайте). А потому казалось маловероятным, что способность переваривать цитрат («Cit+» на языке лаборатории Ленски⁵¹) была результатом одной-единственной мутации: если единственное генетическое изменение могло

⁵⁰ Несколько популяций *E.coli*, обитающих в природе, способны питаться цитратом в аэробной среде. Но во всех случаях это происходит потому, что они могут воровать необходимые гены у других видов микробов, а не развивать эту способность самостоятельно.

⁵¹ Блаунт допускает, что по стандартному определению она должна обозначаться «cit+», но к тому времени, когда они обнаружили свою ошибку, они уже так привыкли к заглавной С, что продолжили и дальше придерживаться такого написания.

породить данную способность, учитывая миллиарды мутаций, которые, вероятно, происходили в ходе эксперимента, то наверняка Cit+ эволюционировала довольно быстро или во множестве популяций.

Более вероятной альтернативой было то, что понадобилось несколько генетических изменений, случившихся одно за другим, чтобы в итоге появилась Cit+. Различия между двумя этим популяциями – одна или несколько мутаций, ответственных за эволюцию Cit+ – очевидны, по крайней мере в теории.

Блаунт вернулся к замороженным окаменелостям Авалона, на этот раз чтобы посмотреть, можно ли получить Cit+, чтобы она повторно эволюционировала из предковой популяции Ага-3, которая потеряла способность переваривать цитрат (Cit-).

Если включение определенных первичных мутаций было необходимо для эволюции цитрата, тогда лишь в относительно недавних популяциях могла развиваться Cit+, потому что только эти популяции, а не более ранние, обладали предрасполагающими мутациями. И наоборот, если понадобилась только одна мутация, тогда способность становиться Cit+ должна быть одинаково возможна применительно к любой из предковых популяций, возрожденных на любом этапе эксперимента.

Однако понять что-то вовсе не означает быстро решить проблему. Блаунт извлек образцы Ага-3, заархивированные по отдельности двенадцать раз в разное время в течение эксперимента, от начального предка в 1988 году до недавно замороженных популяций. Из каждого отдельного образца он извлек клетки и использовал их, чтобы создать шесть реплицированных популяций – всего получилось семьдесят две, – и позволил им эволюционировать в течение двух с половиной лет. У четырех из семидесяти двух популяций эволюционировала способность переваривать цитрат, все четыре были порождены относительно недавними предками. Данные результаты подтвердили, что только недавние популяции Ага-3 смогли выработать способность к перевариванию цитрата.

Блаунту уже наскучило ждать результатов данного эксперимента, а потому параллельно он опробовал еще один метод, более чувствительный к малейшим проявлениям эволюционной способности Cit+. Данный метод заключался в том, чтобы взять клетки из образцов популяции, которые были заморожены в разное время, и вырастить их для производства множества популяций, состоящих из более чем десяти миллиардов клеток каждая. Затем эти популяции помещали в чашки Петри, где в качестве пищи присутствовал исключительно цитрат, которого хватало на период до трех недель. В этих условиях лишь редкий мутант Cit+ мог вырасти до размеров колонии. Из трех тысяч двухсот популяций, которые изучал Блаунт, лишь тринадцать – примерно треть процента – эволюционировали, став Cit+. И опять же, большинство популяций были относительно недавними, самая ранняя – из предковой популяции, замороженной на отметке в двадцать тысяч генераций.

В ходе этих «прокручиваний пленки» стали очевидными два факта^[91]. Во-первых, эволюция Cit+ случается лишь изредка даже среди популяций, выдерживаемых в идентичных условиях. Во-вторых, способность переваривать цитрат обеспечивает не одна-единственная мутация, а несколько. Причем все они, по-видимому, случаются довольно редко. Вероятней всего, незадолго до наступления отметки в двадцать тысяч генераций у популяции развилось некое свойство, которое подготовило почву для последующей эволюции способности Cit+. Эта заданная комбинация очень редких событий объясняет, почему потребовалось появление свыше тридцати тысяч генераций, чтобы у одной популяции возникла подобная способность, и почему она больше не появлялась снова ни у одной из оставшихся одиннадцати.

Описание проекта Зака Блаунта не передаст всего того объема работы, который потребовался, чтобы получить эти результаты. Блаунт стал известен в кругах эволюционных биологов благодаря снимкам, где он сидит в позе лотоса – ноги скрещены, глаза закрыты, указательный и большой пальцы образуют круг, одну из мудр в медитации, – в своей яркой робе перед гигант-

ской башней из сложенных в стопку тринадцати тысяч чашек Петри, которые использовались в ходе только одного из этих экспериментов.

ПЯТЬ ЛЕТ И СОРОК ТРИЛЛИОНОВ КЛЕТОК E.COLI понадобилось за то время, что минуло с момента начала работы Блаунта над проектом и до момента выхода первой его научной публикации с результатами исследования. К тому времени, когда она появилась летом 2008 года, он был уже готов приступить к следующей стадии проекта, цель которого – выявить, какие именно мутации произошли.

Одно из преимуществ долгосрочного эксперимента в том, что появляются новые технологические возможности. Это позволяет осуществить на более поздних стадиях то, о чем лишь мечталось в самом начале. В данном случае речь идет о возможности легко и дешево секвенировать геном целых организмов. Когда секвенирование генома впервые стало возможным в последние годы XX века, получение всей последовательности оснований ДНК одного организма могло стоить миллионы долларов и занять долгие годы.

Но к 2008 году цена составляла уже семь тысяч долларов, а ожидание длилось всего месяц⁵². Вооружившись этими возможностями, Блаунт и его коллеги приступили к секвенированию Cit+ и Cit- клеток E.coli с целью установить генетические изменения, ответственные за эволюцию способности переваривать цитрат.

Я не стану здесь вдаваться в биотехнологические детали того, как это все происходило. Но потребовалось еще четыре года, и за это время Блаунт получил докторскую степень и работал в лаборатории Ленски уже в качестве постдока. Применяв свою молекулярную магию^[92], он смог разобраться в том, что произошло.

Для этого Блаунт секвенировал геномы двадцати девяти клеток E.coli из всех популяций, существовавших на протяжении всей истории эксперимента. У всех популяций Cit+ была мутация, которая не встречалась среди популяций Cit-. Как вы помните, E.coli естественным образом способна поглощать цитрат в отсутствие кислорода, включая ген citT, который заставляет клетку вырабатывать белок-переносчик, высывающийся из стенки клетки и цепляющийся ближайшим к нему молекулы цитрата. Дело в том, что в клетках E.coli Cit+ появлялся второй экземпляр этого гена. Так происходит всегда у большинства организмов: когда производятся новые клетки, то ДНК копирует сама себя, и иногда ошибка в копировании приводит к созданию двух копий гена, когда один ген прикрепляется к концу второго.

В норме ген citT, который производит цепляющийся цитрат белок-переносчик, активируется, когда уровень кислорода снижается. И наоборот, ген rnk, который появляется в хромосоме рядом с citT, включается, если уровень кислорода высокий. И когда случайно создалась вторая копия гена citT, он произвольным образом оказался в итоге рядом с активатором гена rnk. Это перенастроило копию citT, которая включилась вместе с rnk, когда еще был в наличии кислород. В результате подобного случайного ошибочного молекулярного копирования E.coli Cit+ получила способность поглощать цитрат даже при наличии кислорода.

Благодаря работе Блаунта теперь мы имеем хорошее представление о том, почему Cit+, несмотря на всю ее полезность, так редко развивалась в экспериментальных популяциях ДЭЭ. Должно было произойти несколько маловероятных событий. Ключевым генетическим изменением, сделавшим возможным использование цитрата, стало копирование, при котором часть целого гена была еще раз скопирована в геном. Более того, должно было произойти не только копирование citT, но еще эта копия должна была оказаться в нужном месте, чтобы активироваться в аэробной среде. Эксперименты Блаунта показывают, что в правильном генетическом окружении подобные мутации возможны, но случаются крайне редко.

⁵² К 2013 году стоимость упала более чем на девяносто девять процентов от уровня 2007 года. А качество при этом стало намного выше.

Однако подобная редкость не в полной мере подчеркивает маловероятность эволюции Cit+. В данном случае ген citT не только должен продублировать себя, а его копия оказаться в нужном месте. Подобное дублирование ведет к эволюции Cit+ только в том случае, если оно происходит в уже подготовленных популяциях. Чтобы появление Cit+ стало возможным, прежде должно было эволюционировать что-то еще. И это что-то не возникало в колбе с Ага-3 на протяжении первых двадцати тысяч поколений.

Обнаружить «потенцирующие мутации»⁵³, или просто мутации, которые делают возможным последующую эволюцию Cit+, – сложная задача. Спустя еще три года коллеги Блаунта из Техасского университета в Остине, наконец, определили одну потенцирующую мутацию и вычислили, почему ее изначально поощрял естественный отбор. (Помните, что естественный отбор не обладает даром предвидения: он не станет отдавать предпочтение определенной мутации на том основании, что она будет полезна в будущем. Следовательно, либо эта потенцирующая мутация обладала каким-то полезным свойством, не связанным с потреблением цитрата, либо она эволюционировала случайно, что маловероятно в больших популяциях.) Даже сейчас работа не полностью завершена: похоже, что здесь имеет место и вторая мутация^[93], ответственная за эволюцию Cit+.

И есть еще кое-что. Помимо потенции и мутации, которая обеспечила Cit+ изначальную способность всасывать пищу, была еще третья фаза эволюции способности Cit+.

Когда произошло дублирование гена, Ага-3 смогла поглощать цитрат, но в очень малых количествах. Мутация не дала особого преимущества, и потому ее не сильно поощрял естественный отбор. В действительности, на протяжении тысячи поколений с лишним генераций мутация присутствовала в популяции, но с низкой частотой. И лишь когда случилась еще одна мутация – дальнейшее удвоение мутации Cit+, так что у особей появились множественные копии аэробно активируемого гена, – потребление цитрата улучшилось настолько, что данный признак быстро распространился по всей популяции. Проведенные Блаунтом анализы указывают на то, что это третье событие не было столь редким, как первые два, но все равно потребовалось какое-то время, чтобы оно полностью реализовалось.

История с Cit+ имеет важные предпосылки для понимания эволюционного процесса. С одной стороны, она иллюстрирует, как происходят крупные эволюционные подвижки. Обычно любой сложный признак – глаз, почка – не является результатом одной-единственной мутации, которая создает новую структуру с чистого листа. Напротив, подобные новообразования обычно происходят поэтапно и последовательно.

Более того, история с Cit+ говорит о том, что эволюция далеко не всегда предсказуема, и повторное прокручивание пленки не обязательно приведет к тому же самому результату: Cit+ эволюционировала всего в одной из двенадцати популяций Ленски, да к тому же продемонстрировала крайне низкий процент при повторях, осуществленных Блаунтом. Вывод очевиден: ряд мутаций, возникающих в правильном порядке, может оказать заметное влияние, направив ход эволюции в другом, еще не повторявшемся направлении.

«ПРОТИВОСТОЯНИЕ СЛУЧАЙНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ»^[94]. Вот как Рич Ленски описывает ключевую проблему, лежащую в основе его тридцатилетней исследовательской программы с *E.coli*. На самом деле ДЭЗ помог невероятно успешно справиться с решением данной проблемы, выдавая одно удивительное открытие за другим.

Но значимость этих научных открытий выходила за рамки одного исследовательского проекта. ДЭЗ вкупе с достижениями других первопроходцев в данной области породил целую исследовательскую отрасль, где осуществляются похожие эксперименты, в которых реплици-

⁵³ Термин придумал Блаунт.

рованные популяции, основанные идентичными предками, разнообразно эволюционируют в схожих условиях.

И хотя большинство экспериментов в настоящее время находится в стадии разработки, проделано уже вполне достаточно для того, чтобы объемы стали очевидными. И ситуация гораздо более конкретизирована, чем мог предсказать Ленски в 1988 году: он явно был сторонником идеи случайности и ожидал, что итоги, подобные Cit+, станут нормой. Но все как раз наоборот – необходимость, целесообразность, как правило, побеждает. Экспериментальные популяции, сталкивающиеся с похожим давлением естественного отбора, обычно адаптируются одинаково, демонстрируя примерно одинаковое увеличение своей приспособляемости.

Несмотря на эту похожесть, при ближайшем рассмотрении оказывается, что эволюционные пути неидентичны. Зачастую бывает так, что адаптации похожи, но варьируются. Сморщенные заполнители из разных популяций отличаются друг от друга мельчайшими деталями формы и структуры. Снежинки дрожжевого грибка хотя и служат увеличению скорости оседания на дно, могут значительно отличаться по размеру и конфигурации.

Есть различия и на генетическом уровне. Фенотипические сходства в разных популяциях обычно являются результатом мутаций в одних и тех же генах. Но не всегда. Иногда мутации в разных генах дают похожий фенотипический итог. Так, к примеру, недавно проведенная работа в лаборатории Пола Рейни^[95] показала, что существуют шестнадцать разных генетических путей, которые способны породить фенотип сморщенных заполнителей. И даже когда мутации происходят в одних и тех же генах в разных популяциях, конкретные изменения редко бывают одинаковыми. Как мы увидим в одиннадцатой главе, данная генетическая неопределенность, лежащая в основе фенотипической конвергенции, может иметь важное значение для последующей эволюции. И все равно результаты подобных исследований обычно сводятся к степени параллельной эволюции.

Необходимость перевешивает случайность. Как правило.

Радикально отличные эволюционные реакции в этих экспериментах редки, но история с Cit+ не единственный пример. В исследовании E.coli другая группа экспериментаторов[^] обнаружила, что половина популяций E.coli разделилась на два типа, где один тип использовал цитрат более эффективно, чем второй. Похожая дивергенция также возникала в одной из популяций ДЭЭ. Еще в одном исследовании у части экспериментальных вирусных популяций развился совершенно новый способ атаковать E.coli. Все эти примеры – поразительная демонстрация того, что эволюционные повторы при идентичных условиях все равно каждый раз могут выдавать разные результаты. Это не распространенное явление, но такое случается.

Талант в осуществлении эволюционных экспериментов на микробах заключается в том, чтобы продемонстрировать максимальную эволюцию в короткий промежуток времени, по крайней мере, по человеческим меркам. Эксперимент с плодовыми мушками на шестьдесят тысяч генераций продлился бы тысячу лет, а на мышах – в десять раз дольше.

И все равно эти эксперименты, быть может, и не такие уж продолжительные. Шестьдесят тысяч генераций, с точки зрения геологии, равносильны морганию глаза. Виды существуют миллионы лет. Возможно, эти эксперименты все равно недостаточно долгие, хоть они и стали значительно длиннее и информативнее прежних. Рич Ленски допускает такую возможность.

Интересно, а что бы мы могли обнаружить, если бы научные последователи Ленски продлили ДЭЭ еще на несколько десятилетий? Конечно, чем дольше идет эксперимент, тем больше вероятность того, что проявится редкая, но полезная комбинация мутаций, которая приведет к большему числу случаев

Cit+. Возможно, через триста лет в шестисоттысячной генерации все двенадцать популяций в ДЭЭ станут Cit+. То, что кажется непредсказуемым в достаточно короткий промежуток времени, может стать неизбежным в более продолжительный временной отрезок.

В 2002 году, еще до того, как популяция Ага-3 пошла своим эволюционным путем, начав потреблять цитрат, ДЭЭ казался ярким подтверждением предсказуемости эволюции, мощным контраргументом столь популярной контингентности Гулда. Однако теперь ключевые выводы этих исследований, какими бы поразительными они не были, не кажутся уже столь очевидными. Действительно ли те одиннадцать популяций Cit-, дружно шагающих в ногу, демонстрируют, что эволюция обычно повторяема? Или Ага+ доказывает, что Гулд был прав, и эволюция непредсказуема? Ответ: и да, и нет.

В интервью^[97], опубликованном как раз в то время, когда я заканчивал работу над этой книгой, Ленски вспомнил о своих первоначальных взглядах, которых он придерживался три десятилетия назад. Отметив, что в двенадцати экспериментальных популяциях происходило много параллельных изменений, он также указал на различия – не только на Cit+, но и на некоторые другие, которые проявились лишь в одной или нескольких популяциях. «Несмотря на общее параллельное движение или повторяемость, чем дальше идет ДЭЭ, тем больше мы замечаем, что каждая популяция в действительности следует своим собственным путем», – сказал он. «И обе эти силы – случайные и предсказуемые – вместе создают то, что мы называем историей».

Глава одиннадцатая

Мельчайшие частицы и пьяные плодовые мушки

Давайте еще раз вспомним, что говорил Гулд: «Я называю этот эксперимент^[98] «прокручиванием пленки жизни». Вы нажимаете на кнопку «перемотка» и, убедившись, что тщательно стерли все, что реально произошло, возвращаетесь в любое время и оказываетесь в прошлом. . . Затем вы снова прокручиваете пленку и смотрите, похож ли повтор на оригинал».

Это в точности то, что делал Зак Блаунт. С помощью магии микробиологии и мощных морозильных камер лаборатории Ленски Блаунт смог повторно прокрутить пленку, чтобы воссоздать те условия, которые существовали в прошлом, а потом позволить эволюции еще раз пройти своим курсом.

Но это ли в действительности имел в виду Гулд? В конце концов, название книги Гулда отсылает нас к ключевой сцене фильма «Эта удивительная жизнь», в которой ангел-хранитель Джорджа Бейли показывает ему, насколько иной была бы жизнь в Бедфорд Фоллс, если бы не было Джорджа.

Прием, который использовал ангел Одбоди, заключался не просто в перемотке пленки и нажатии кнопки «плей». Изменилась ключевая деталь – присутствие Джорджа Бейли. В результате история «Этой прекрасной жизни» не является равноценной эксперименту Блаунта. Клэрэнс Одбоди не говорил: «Давай вернемся в прошлое, начнем все сначала в точности, как было, и посмотрим, будет ли история города той же, что и прежде».

В данном случае он задает вопрос: «Сложится ли жизнь города иначе, если обстоятельства слегка изменятся, в частности, если тебя там не будет?»

Гулд сделал вывод на основе данной картины, который отличался от его предыдущего описания экспериментов с прокручиванием пленки: «Эта великолепная десятиминутная сцена^[99] является одновременно ярким образцом мирового кинематографа и лучшей, на мой взгляд, иллюстрацией базового принципа контингентности. Прокручивание пленки выдает совершенно разный, но одинаково возможный результат, когда маленькие и очевидно несущественные изменения – и отсутствие Джорджа в их числе – приводят к последующему постепенному накоплению различий». Применив данный вывод к эволюции, Гулд внес важную оговорку в свой более ранний сценарий: «Любое прокручивание пленки^[100], на которое в самом начале хоть на йоту повлияла кажущаяся незначительной мельчайшая частица I, выдаст одинаково возможный осязаемый итог, но в совершенно иной форме».

Блаунт описывал свое исследование как прямое воплощение того, что предлагал Гулд. Если говорить в целом, то весь проект ДЭЭ замыслился как прямая аналогия с той лишь разницей, что прокручивания происходили одновременно во множестве колб, а не последовательно во времени. Ошибались ли Ленски и его соратники, утверждая о своей приверженности принципам Гулда?⁵⁴

ДЖОН БИТТИ – МИЛЕЙШИЙ ЧЕЛОВЕК. Он производит впечатление сердечного и дружелюбного и даже по-отечески заботливого мужчины. У него черные с проседью усы, волевой подбородок и небольшая залысина. Он носит потертую кожаную куртку или кардиган и чувствует себя одинаково комфортно и в том, и в другом.

⁵⁴ Верность идеям Гулда, заложенная в ДЭЭ, стала очевидной в примечании первой научной публикации Блаунта, в которой авторы подчеркнули, что повтор эксперимента с Ага-3 начался в третью годовщину смерти Гулда и закончился в день его шестидесятишестилетия.

Уроженец Техаса – возможно, это все и объясняет, – Битти в настоящее время является доктором философии в университете Британской Колумбии в Ванкувере.

Доктора философии интересуются тем, как работает наука, а не ее узкие отрасли знаний, где изучается определенный вид ящерицы или нейтрино, сам процесс науки – то, как ученые подходят к исследованию природных явлений, как они предлагают идеи, проверяют гипотезы, отвергают одни, дорабатывают другие.

Эволюционная биология – это особенно сложная отрасль. Она не соответствует ни одному стандартному представлению о науке, где ключевой эксперимент лишь окончательно формулирует вопрос. Эволюционная биология теснее завязана на истории, выясняя, что случилось в прошлом, ставя вопросы, недоступные экспериментальному методу (как эксперимент может объяснить эволюцию жирафа?) Я уже говорил о том, что изучение эволюции напоминает иногда детективное расследование, в котором используемые методы очень похожи на те, что применяются не только в истории, но и в других науках. Одной из многочисленных интересующих Битти проблем является различие между историей и наукой и «те аспекты, в которых эволюционная биология настолько же похожа на первую, насколько она похожа на вторую», как он написал на своем сайте.

А давнишний интерес его касается роли случая в эволюционной биологии. И потому он вполне естественно обратил свое внимание на опубликованную Гулдом книгу «Эта прекрасная жизнь», где подчеркивается роль истории и контингентности в эволюции.

Шли годы, идеи Гулда внимательно изучались учеными, и Битти еще раз перечитал книгу «Эта прекрасная жизнь». И еще раз. И тут он понял то, чего не заметили остальные. Спустя семнадцать лет после выхода книги Гулда Битти опубликовал статью, в которой указывал на то, что Гулд имел в виду под термином «контингентность».

Битти отметил, что слово имеет два разных значения, которые одинаково часто используются. Первое значение – «непредсказуемость»: «Мы должны подготовиться к любому проявлению контингентности». Что означает непредсказуемость в контексте его прокручивания пленки?

Это вовсе не значит, что в окружающей среде должно произойти нечто непредсказуемое типа наводнения или удара молнии, что заставило бы эволюцию пойти иным путем. Это не идет в расчет, потому что посыл метафоры с повторным прокручиванием пленки заключается в том, что все одинаково: не только окружающая среда, но и те же самые внешние толчки и импульсы.

А если окружение одинаково при повторном проигрывании, то откуда тогда взяться непредсказуемости? Битти указывает на очевидный вариант: различия в мутациях. Биологи в целом считают мутации непредсказуемыми. Нам известно, что в отдельных частях генома мутации случаются чаще, чем в других, и что определенные обстоятельства, такие как подверженность космическому излучению или воздействию некоторых химических веществ, могут повлиять на ее скорость. Но мы не можем предсказать, в каком месте ДНК возникнет мутация, и еще меньше, какая она будет. И каковы бы ни были намерения и цели, разумно было бы считать мутацию непредсказуемым, случайным инцидентом⁵⁵. В итоге мы вправе ожидать, что проигранные повторно популяции столкнутся с разными мутациями.

⁵⁵ Кто-то может предположить, что если мы отматываем пленку к какой-то конкретной точке, где все было полностью идентичным, то и история мутаций тоже будет идентичной. Это означает, что должна быть какая-то причина физического или химического характера. И, следовательно, если обстоятельства действительно полностью идентичны, тогда результат должен быть таким же. Подобная точка зрения, имеющая свою интеллектуальную историю и отсылающая нас еще к французскому математику Пьер-Симону Лапласу, означает, что, по определению, повторное прокручивание пленки приводит к одинаковому результату. Но в данном случае игнорируется тот факт, что в квантовой механике существует понятие квантовой неопределенности. Таким образом, есть вероятность, что неопределенность проходит от субатомного до молекулярного уровня. В любом случае в рамках нашего обсуждения я буду считать мутации непредсказуемым явлением, потенциальным источником непараллельной эволюции в реплицированных популяциях.

Вопрос в том, сможет ли такая непредсказуемость привести к эволюционной непредсказуемости. Эволюция требует генетического варьирования, а значит, популяции с разными отклонениями могут эволюционировать разными способами. Рассмотрим популяцию, в которой у всех особей голубые глаза. С этого момента в популяции не может эволюционировать другой цвет глаз: ни у одной особи нет генетического отклонения в сторону какого-то другого цвета. Но если в одной популяции произойдет мутация, которая обеспечивает карий цвет глаз, тогда, возможно, у этой популяции эволюционирует карий цвет глаз.

И все же в другой популяции мутация, дающая карий цвет глаз, может и не произойти, а произойдет мутация, дающая зеленый цвет глаз, позволив популяции эволюционировать иным способом. Если мутации непредсказуемы и возникновение определенных мутаций влияет на направление, в котором идет процесс эволюции, тогда эволюционная перемотка может привести к иному результату.

Именно эту гипотезу и должен был проверить ДЭЭ. И ответ, по крайней мере, в данном случае, ясен: эволюция в значительной степени предсказуема, даже если история мутаций непредсказуема. Начните с идентичных обстоятельств и – скорее всего, но не всегда! – вы получите очень похожий результат.

НО «НЕПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ» – это лишь одно значение термина «контингентность». Как догадался Битти, существует и другое значение. Это второе определение относится к так называемой «причинной зависимости», когда возникновение какого-то события предсказывается по тому, что произошло раньше: возникновение события В продиктовано возникновением события А. Ваше существование является результатом цепочки событий, начиная со встречи ваших родителей, за которой последовал период ухода, и до момента их близости в определенный момент, что привело к вашему зачатию. Измените любое из этих событий, и вас бы здесь не было. Кто-то другой, к примеру, результат иного состава спермы вашего отца, мог быть на вашем месте, но не вы. Ваше существование продиктовано всеми этими событиями, произошедшими именно так, а не иначе.

Гулд в своей книге «Эта прекрасная жизнь» сформулировал эту мысль более ярко:

Исторические объяснения принимают форму^[101] повествования: Е, феномен, который нужно объяснить, возник, потому что сначала появилось D, которому предшествовали C, B и A. Если бы не случилось любого из этих более ранних событий или они проявились бы иным образом, тогда бы E не существовало (или оно присутствовало бы в существенно измененной форме «E», требующей другого объяснения).

Таким образом E обретает смысл и может быть кратко и точно описано как результат события A, случившегося через D.

Я говорю не о случайности... а о центральном принципе всей истории – вероятности (контингентности). Историческое объяснение полагается... на непредсказуемую последовательность предшествующих состояний, где любое крупное изменение любого шага поменяет конечный результат. Таким образом, этот конечный результат зависим или продиктован всем тем, что предшествовало – нестираемый и определяющий почерк истории.

Вот что имел в виду Гулд, говоря о «мельчайших частицах». Измени хоть на йоту В, и ты не получишь Е. Поменяй мельчайшую частичку в С, и ты не доберешься до Е.

Различия между этими двумя значениями «контингентности» могут показаться предметом чистой семантики. Но Битти настаивал, что это не просто оттенки значения, и что разные определения имеют важный смысл применительно к тому, как мы рассматриваем эволюцион-

ный детерминизм. С одной стороны, понимание контингентности как непредсказуемого явления предполагает, что эволюция изначально неопределенна: начни с тех же самых условий, испытай те же самые изменения в окружении, и все равно итог может быть иным. С другой стороны, взгляд на контингентность как на причинную зависимость означает, что ученые смотрят не на начало, а на конечный результат. Детерминисты, такие как Конвей Моррис, станут утверждать, что итог предопределен и что существует несколько адаптивных решений, которые станут повторно эволюционировать вне зависимости от того, откуда начинает свое развитие популяция и что происходит по ходу. На что Гулд возражает, говоря, что конечный результат принципиально зависит от определенных событий, которые произошли ранее.

ТОЧНО ТАК ЖЕ, КАК ДОЛГОСРОЧНЫЙ ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ Ленски породил активную деятельность в области эволюционной биологии и вдохновил на подобные исследования массу других ученых, так и научная публикация Битти произвела похожий эффект на его коллег.

В последующее десятилетие в этой сфере стали активно обсуждаться семантические нюансы слова «контингентность» и давались еще более подробные, а в отдельных случаях надуманные объяснения того, что имел в виду Гулд.

Тем не менее допущенная Гулдом двусмысленность важна, потому что ее значения выходят за рамки университетских философских факультетов. В частности, Гулд утверждал, что повторное прокручивание пленки жизни – всего лишь мысленный эксперимент, но микробиологи-эволюционисты доказывают обратное: ДЭЭ и большая часть последующих за ним исследований были явно задуманы как способ осуществить эволюционные опыты, которые Гулд считал невозможными. И все же, как продемонстрировал Битти, Гулд фактически объединил разные идеи по поводу контингентности и детерминизма под общей вывеской «повторное прокручивание пленки». И как Битти показал, ученые использовали различные значения термина «контингентность», создавая, таким образом, фундаментально разные исследовательские программы.

Все работы, которые я обсуждал в предыдущих двух главах, в целом повторяют замысел ДЭЭ: начинать с идентичных популяций, поместить их в идентичные условия и изучать то, насколько идентичными эволюционными путями они последуют. Это явно проверка непредсказуемости эволюции и буквальное понимание того, что имел в виду Гулд, когда говорил о том, что нужно проиграть пленку сначала, и все популяции прошли через одинаковые условия обитания, поколение за поколением, чтобы увидеть, будет ли итог предсказуемо одинаков.

А как насчет причинной зависимости, второго значения контингентности, идеи о том, что эволюционные итоги принципиально зависят от конкретного хода истории? Установка Гулда здесь очевидна: «Измените любое предшествующее событие^[102] самым незначительным и явно несущественным на тот момент способом, и эволюция примет в корне иное направление. Это... демонстрирует суть истории, не больше и не меньше. И имя этому явлению – контингентность».

Вот где на сцену выходят все те упомянутые Гулдом йоты и мельчайшие частицы. Он говорит о том, что мы не просто возвращаемся к какой-то точке в прошлом и начинаем все снова с тех же самых условий. Скорее мы возвращаемся назад, но при этом меняем что-то либо в начальных условиях, либо происходящее по ходу. Как отметил один биолог, идею Гулда можно сформулировать иначе: «Вернитесь в прошлое^[103] на пятьсот миллионов лет назад, переместите одного трилобита на два фута влево, и посмотрите, пойдет ли эволюция тем же самым путем».

Способ осуществления подобного эксперимента кажется очевидным. Просто поместите ряд популяций в идентичные условия, а потом подвергните их разнообразным незначительным изменениям, и посмотрите, станут ли они эволюционировать параллельно.

Но какую форму должны принять эти мельчайшие изменения (частицы и йоты)? Возьмем для примера ДЭЭ. Что может сделать исследователь, чтобы проверить устойчивость эволюционного результата к изменяемым обстоятельствам? Вот несколько идей, которые пришли мне на ум. (Но помните о том, что не все популяции подвергаются одинаковым воздействиям, ведь цель этих экспериментов – проверить, меняют ли данные воздействия ход эволюции в сравнении с популяцией, которая не испытывает этих воздействий). Итак, вместо того чтобы убирать колбу обратно в термостат, оставьте ее при комнатной температуре на месяц; засейте колбу 0,001 миллилитра среды вместо стандартных 0,1 миллилитра; поместите колбу в термостат с включенным внутри светом; положите в бульон в три раза больше стандартной дозы глюкозы на двое суток; добавьте в бульон розовый краситель. Это лишь то, что сразу пришло мне на ум и что мог бы предложить человек, далекий от микробиологии. Конечно же, сами микробиологи могли бы предложить гораздо более интересные варианты экспериментальных воздействий.

Я не слышал об экспериментальных исследованиях подобного рода и могу понять, почему. Данные исследования требуют больших усилий для их подготовки и осуществления. А всех тех предложенных воздействий, в конце концов, слишком мало. Вероятней всего, эти эксперименты не будут иметь долгосрочных результатов. Следовательно, это напоминает эксперимент с низкой вероятностью получения многообещающего результата и высокой вероятностью получения результата ожидаемого.

Результаты подобного рода обычно не привлекают к себе большого внимания, и их даже бывает сложно опубликовать. А потому такие исследования могут быть непривлекательными, особенно для молодых ученых, которым нужны научные публикации для продвижения карьеры.

И ХОТЯ НИКТО НАПРЯМУЮ НЕ ПРОВЕРИЛ то, что можно назвать гулдовской гипотезой «сопротивляемости изменяемым условиям», некоторые исследователи находятся уже на полпути к осуществлению данной задачи, начав с популяций, генетически отличающихся друг от друга. Почему они разные, мы не знаем, так как у нас нет описания всех их различных йот и частиц, И все же у них разные истории. И эти исследования нацелены на то, чтобы узнать, влияют ли исторически обусловленные различия на будущую эволюцию. Или, если сформулировать вопрос иначе, станут ли генетически разные популяции эволюционировать одинаково, оказавшись в схожих условиях?

В качестве крайнего случая рассмотрим, к примеру, две популяции собак. Одна состоит из маленьких собачек типа шнауцеров и чихуахуа, а вторая – из крупных пород: борзых или немецких овчарок. Предположим, что они обитают в том месте, где появился новый тип крупного хищника, скажем, тигр (возможно, они жили на острове, а тигр пришел туда с материка).

Две собачьи популяции будут, возможно, адаптироваться к появлению хищника разными способами. Маленькие собачки могут воспользоваться маскировкой и стать незаметными; а у крупных собак появятся длинные лапы, чтобы быстрее убегать. Конечно, нетрудно представить, что разный генетический состав у двух этих популяций будет склонять их к тому, чтобы адаптироваться к новой угрозе разными способами.

Влияние генетических различий на эволюцию популяций, испытывающих одинаковое давление естественного отбора, было впервые изучено в ходе лабораторного эксперимента на плодовых мушках в середине 1980-х годов. Всем известно, что если оставить на столе чуть перезрелый банан, то вокруг гниющего фрукта соберутся мелкие плодовые мушки.

В процессе гниения фрукт вырабатывает фермент, содержащий алкоголь. В результате мухи живут в атмосфере, наполненной алкогольными испарениями. Это все равно, что провести всю жизнь на пивоварне. А что происходит, если муха переборщит с этим, впитав слишком большую дозу алкоголя? Она опьянеет, так же как мы с вами (ну, по крайней мере, как я).

Сначала она будет в возбуждении летать вокруг, врезаясь в предметы. Затем начнет пробуксовывать, завалится на бок и упадет. В конечном итоге она падает на спину и не встает. Да и похмелье ничем не лучше. Муха встает и снова падает. Она все делает медленно. Вероятно, на какое-то время она дает себе зарок не вдыхать больше алкоголь. Но лишь до тех пор, пока очередной гниющий банан не окажется слишком уж манящим.

Люди отличаются своей восприимчивостью к алкоголю. И, по крайней мере, частично, это отличие заложено генетически. Предположив, что подобное верно и в отношении плодовых мушек, Фред Коэн (в то время он был постдоком в Калифорнийском университете в Дэйвисе, а сейчас он профессор в Уэслианском университете) задался вопросом, смогут ли плодовые мушки стать более терпимыми к алкоголю. Если быть точнее^[104], он хотел узнать, станут ли популяции из разных мест эволюционировать одинаково или же генетические изменения, возникшие в популяциях по разным причинам, заставят их адаптироваться по-разному.

Учась в Гарварде, Коэн изучал биологию плодовых мушек, исследуя, насколько популяции одного вида отличаются генетически. Работая в университете Новой Англии, Коэн получил задание заняться изучением лабораторных мух.

Но переезд в Калифорнию открыл для него новые перспективы. Если парень собирается провести всю свою жизнь, разглядывая плодовых мушек в маленьких склянках, то самое меньшее, что он может сделать, это выйти из лаборатории и собрать этих мух самостоятельно. Особенно на Западном побережье, где для того, чтобы собрать мух, требуется поехать в живописную местность. К тому же он только что женился на педагоге-дефектологе, которая не только мирилась с его энтомологическими пристрастиями, но и сама наслаждалась этими экспедициями.

Так что вскоре после прибытия в Дэйвис летом 1982 года Коэны запрыгнули в машину и отправились на север через Орегон и напрямик в штат Вашингтон. Их целью было собрать плодовых мушек в местах, расположенных вдоль Западного побережья. В итоге эти коллекции будут использованы в ходе эксперимента по естественному отбору с целью выяснить, одинаково ли адаптируются популяции, взятые из разных мест, к схожему давлению отбора. Но сначала Коэнам предстояло поймать мух.

Куда вы пойдете, если вам нужно поймать плодовых мушек? Они любят забродившие фрукты. А потому нужно найти место, где гниют фрукты. Я слышал, что ученые собирают образцы из мусорных баков, стоящих позади ресторанов быстрого питания. Но у Коэна была идея получше: он отправится к источнику самих фруктов. И вот они с женой плутали по проселочным дорогам, высматривая фруктовые фермы. Не забывайте, что это было время еще до наступления эры интернета. Они не могли залезть в компьютер и поискать с помощью карт Гугл ближайшую ферму. Все, что им оставалось, это искать фруктовый сад.

Фермеры на удивление благосклонно воспринимали просьбу молодой пары, которой нужно было побродить по территории сада и наловить мух. На самом деле они были заинтригованы тем, что вызывающие раздражение мелкие насекомые могут представлять какую-то ценность и что они способны помочь нам узнать нечто важное. Коэну было приятно сообщить им, что плодовые мушки не приносят никакого вреда.

Так как же поймать плодовых мушек? Когда я впервые задумался об этом, я представлял себе, как бегаю вокруг зигзагами с сачком для ловли бабочек, пытаюсь выхватить их прямо в воздухе. Я проделывал подобное с бабочками, и это очень весело. Но не с плодовыми мушками. Вместо этого вы ставите ведро, наполненное их деликатесами, и ждете наступления сумерек – любимое их время. Это все равно что выставить креветки с каджунским соусом на коктейльной вечеринке в 5.30 за тем лишь исключением, что в данном случае закуской служит масса из перезрелых бананов с добавлением дрожжей и виноградного сока. Надо только дать дрожжам подойти, чтобы добиться нужного аромата.

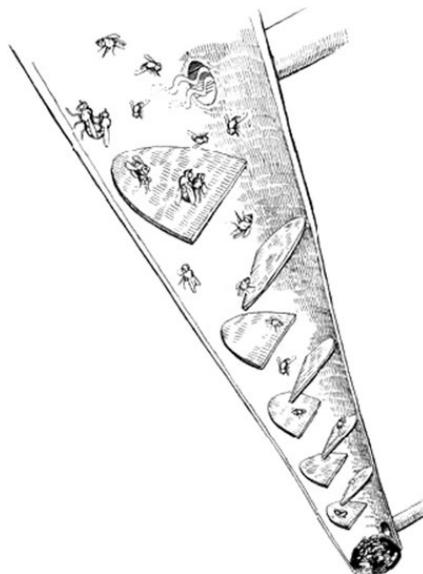
Плодовые мушки не устоят перед этим. А потом все, что вам остается сделать, это натянуть над ведром сетку, шлепнуть по ведру рукой, чтобы заставить мушек подняться вверх к сетке, и сделать рукой вращательное движение, завязав сетку в узел, – и мушки пойманы. За считанные мгновения вы набрали несколько склянок плодовых мушек.

За две поездки в поля Коэны посетили множество ферм и фруктовых садов, создав в конечном итоге лабораторные популяции, собранные в девяти местах, расположенных вдоль Западного побережья от Сан-Диего до Ванкувера (канадские образцы предоставил коллега). Вернувшись в Дэйвис, Коэн подверг каждую популяцию отбору на переносимость алкоголя, позволив размножаться лишь самым нечувствительным особям в каждом поколении.

Подход может показаться довольно прямолинейным, но как еще оценить влияние алкоголя на плодовых мушек? С людьми проще: там вы можете предложить группе людей выпить пару крепких алкогольных напитков, а потом оценить их способность ходить по прямой, говорить связно и прочее. Так, как делают копы, останавливая кого-то за вождение в нетрезвом виде. Вы могли бы проделать то же самое с плодовыми мушками (за исключением проверки речи), подвергнув их воздействию паров алкоголя и проверив реакцию. Но проблема в том, что данный подход слишком трудоемкий. В подобном эксперименте по отбору обычно задействованы сотни, если не тысячи особей популяции. И чтобы пронаблюдать за полетом такого большого количества мух и собрать соответствующую информацию, потребуется огромное количество времени.

К счастью, Кен Вебер, предприимчивый студент из Гарварда и приятель Коэна, предложил решение проблемы – инебриметр! Работает он следующим образом. В стеклянную трубку длиной четыре фута, запечатанную с одного конца, выпускается тысяча плодовых мушек. Мухам нравится взлетать высоко, поэтому они поднимаются вверх, летая и ползая вокруг. В верхнюю часть трубки вставляется резиновый шланг, через него подаются алкогольные пары, которые выходят из нижнего конца трубки. Со временем мухи хмелеют, одни больше, другие меньше. Когда они пьянеют, то теряют способность летать и начинают падать. Внутри трубки имеется ряд наклонных выступов, дающих возможность кувыркающейся мухе обрести равновесие.

В результате слегка захмелевшие мухи могут тут же начать падать, но обычно они способны зацепиться за один из выступов. Но как только они становятся по-настоящему пьяными, они уже настолько недееспособны что скатываются то с одного, то с другого выступа и в конце концов падают на самое дно трубки. Там они попадают на сетку, которую можно достать. В конечном итоге остаются лишь наиболее устойчивые к алкоголю мухи. Это счастливые победители, которым разрешается спариваться друг с другом и производить потомство.



Инебриометр

В начале эксперимента наблюдалось варьирование степени переносимости алкоголя: часть мух были мертвецки пьяными и оказывались на дне трубки в считанные секунды, в то время как другие продолжали летать еще в течение получаса. В среднем полет^[105] длился на протяжении примерно двенадцати минут, и мухи из северных популяций держались чуть дольше «южан».

Двадцать четыре генерации спустя у всех популяций развилась заметная переносимость алкоголя.

Но степень этой переносимости отличалась среди популяций: мухи из Британской Колумбии жужжали в среднем почти пятьдесят минут, прежде чем вырубиться, в то время как мухи из Южной Калифорнии с трудом могли продержаться сорок минут. Другими словами, подвергаемые воздействию одинаковых селективных факторов северные популяции адаптировались в гораздо большей степени, чем южные.

То, что начиналось как едва заметное расхождение среди популяций, в ходе селекции привело к гораздо большему различию. Генетически различные популяции реагировали по-разному на одинаковое давление отбора.

Похожий эксперимент^[106] был проведен недавно на дрожжевом грибке. Ученые взяли штаммы почкующихся дрожжей из шести очень разных сред, включая дубы, кактусы, имбирное пиво и женскую вагину. Затем три образца каждого штамма поместили в лабораторные колбы, содержащие в качестве источника пищи глюкозу (лабораторным ученым нравится кормить своих подопечных глюкозой!). Станут ли популяции, по-разному эволюционировавшие в своих многообразных средах, адаптироваться схожим образом к своей новой глюкозной диете? Пять месяцев и триста грибковых генераций спустя исследователи оценили набор признаков каждой популяции, включая скорость роста, размер популяции, размер клетки, скорость потребления глюкозы и быстроту, с которой переваренная глюкоза трансформировалась в новые грибковые клетки. Несмотря на существенное эволюционное изменение всех признаков, популяции продолжали демонстрировать значительное варьирование: они не только не сошлись в значениях определенных признаков, но в некоторых случаях стали еще более непохожими, по-разному адаптируясь к одинаковой среде.

Ключевое различие между двумя этими исследованиями и теми, что мы обсуждали ранее, в том, что в экспериментах, подобных ДЭЭ из десятой главы, популяции изначально были идентичными. А в этих исследованиях экспериментальные популяции с самого начала

были разными, эволюционировав независимо друг от друга в течение какого-то неопределенного времени, вследствие чего исходные популяции накопили генетические и фенотипические различия. И результат очевиден.

Когда популяции изначально идентичны, то, как правило, они реагируют на отбор одинаково. А когда популяции с самого начала отличаются, то эволюционные реакции могут заметно расходиться. Очко в пользу Гулда: измени условия в самом начале, и эволюция может пойти иным курсом.

Но данные результаты не вполне удовлетворяют, так как мы не знаем, что произошло, что заставило популяции изначально разойтись.

Что представляют собой те йоты и мельчайшие частицы, которые готовят почву для последующей дивергенции? Один из возможных и очевидных вариантов это то, что определенного рода селективное давление влияет на одну лишь популяцию, не затрагивая другой. Эволюционная реакция на подобный отбор приводит к генетическому изменению. А дальше этот измененный генный пул может влиять на дальнейший ход эволюции.

Проверить этот еще более специфический сценарий в лабораторных условиях – задача несложная, но требующая много времени. Помещайте изначально идентичные популяции в разные условия на протяжении многих поколений. Затем, как только они адаптируются к разным условиям, подвергните их всех схожим новым селективным условиям и наблюдайте, станут ли они адаптироваться одинаково или же их эволюционировавшие различия заставят их приспособливаться по-разному.

Следует отметить, что было проведено на удивление мало подобных исследований, и результаты оказались разнородными. В одних исследованиях популяции, несмотря на свои исходные различия, стали со временем очень похожи, и прежние различия стерлись. Но в других экспериментах популяции не конвергировали, несмотря на то, что пребывали в одинаковых условиях. Другими словами, они демонстрируют фирменный знак контингентности: то, что произошло в прошлом, влияет на то, что случится в будущем. И несложно применить выводы данных исследований к гулдовским мельчайшим частицам: эволюционная адаптация, реагирующая на прошлые события, может повлиять на последующий курс эволюции.

Но для того чтобы дивергировать генетически, двум популяциям необязательно оказываться в разном окружении. Даже те популяции, которые испытывают похожие селективные воздействия, могут адаптироваться не совсем одинаково. Как мы уже обсуждали с вами в десятой главе, эволюционные эксперименты в области микробиологии показывают, что даже несмотря на то, что генетические изменения зачастую довольно похожи (там часто задействован один ген), конкретные изменения на уровне ДНК обычно отличаются от популяции к популяции. Возможно ли, что подобные крошечные генетические различия могут предрасположить популяции эволюционировать в будущем по-разному?

ЧЕРЕЗ ДВЕ ТЫСЯЧИ ГЕНЕРАЦИЙ, появившихся за время ДЭЭ, двенадцать популяций усилили свою выносливость примерно в равной степени. Сообщив об этом результате^[107] в первой с начала эксперимента научной публикации, Ленски предположил, что все популяции эволюционировали одинаково. Тем не менее он признавал, что возможно и другое объяснение, а именно, что популяции искали разные пути адаптации к новым условиям, и скорость этой адаптации оказалась примерно одинаковой у всех.

Эти два возможных варианта породили разные прогнозы относительно генетики популяций. Гипотеза параллельной адаптации предполагает, что генетические изменения, возникшие в популяциях, были очень похожими, в то время как гипотеза о разрозненных адаптациях с сопоставимым влиянием на адаптивную способность указывает на то, что популяции претер-

пели очень разные генетические изменения. Но так обстояли дела в начале 1990-х годов, когда исследование генов и геномов было по большей части неосуществимой мечтой. И как различать два этих возможных варианта, было непонятно.

Решить эту головоломку выпало тому самому Майклу Травизано. Исследовательская карьера Травизано началась в лаборатории Ленски (в девятой главе я уже упоминал об одной научной публикации из его докторской работы). Изначально Травизано пришел в лабораторию в качестве специалиста в области цитологии, занимавшегося до этого изучением овариальных клеток хомяков и причин, почему они становятся злокачественными. Теперь, оглядываясь назад, он понимает, что занимался исследованиями экспериментальной эволюции, но тогда их представляли совсем иначе. Скорее ученые пытались разобраться в том, что заставляет клетку становиться метастатической, выискивая повторяемые реакции на определенные экспериментальные манипуляции.

Имея за плечами подобный опыт и приступив вместе со всеми к долгосрочному эволюционному эксперименту, Травизано размышлял над тем, как оценивать степень повторяемости эволюции.

Работая с Ленски, он задумал оригинальный эксперимент, чтобы выяснить, одинаково ли адаптируются все двенадцать популяций ДЭЭ. Секрет, как они поняли, заключался в том, чтобы поместить популяции в другую среду и наблюдать за тем, как они там будут себя вести. Если все популяции эволюционировали генетически одинаково, адаптируясь к условиям ДЭЭ, то тогда, будучи генетически похожими, они все должны одинаково хорошо чувствовать себя в новом окружении. Если же у популяций выработались разные генетические адаптации к условиям ДЭЭ, тогда степень их адаптации к новым условиям может варьироваться.

Чтобы проверить эту идею^[108], Травизано взял образцы из двенадцати популяций *E.coli* из 2000-й генерации и поместил их в разную среду. Вместо того чтобы дать им глюкозу в качестве источника энергии, он добавил в среду другой вид сахара – мальтозу.

За первые две тысячи генераций ДЭЭ все популяции стали гораздо продуктивнее использовать глюкозу и, соответственно, росли намного быстрее своего предка. А как эта адаптация к глюкозе повлияет на их способность использовать мальтозу? Чтобы сравнить их с изначальным состоянием, Травизано залез в замороженные архивы, возродил предковую популяцию ДЭЭ и оценил, насколько хорошо она растет на мальтозе.

В среднем способность потреблять мальтозу не изменилась вовсе. Но эта средняя величина скрывала огромное количество варьирования от одной популяции к другой. Пять из них фактически стали использовать мальтозу хуже (иногда гораздо хуже), чем их предок. У этих популяций адаптация к использованию глюкозы далась ценой уменьшения способности потреблять мальтозу. И не забывайте, что в ходе долгосрочного эволюционного эксперимента популяциям фактически никогда не давали мальтозу: уменьшенная способность ее использовать была всего лишь случайным побочным следствием изменений, случившихся в процессе адаптации к повышенному потреблению глюкозы.

И наоборот, другие семь популяций проявили себя лучше в своей способности потреблять мальтозу.

Это означает, что к 2000-й генерации двенадцать популяций ДЭЭ заметно варьировались генетически. Даже несмотря на то что скорость их роста на глюкозе была приблизительно одинаковой среди популяций, под этим единообразием скрывалась неоднородность генетических различий, которые развивались у популяций.

С тех пор, как Травизано опубликовал свое исследование, был осуществлен ряд концептуально схожих проектов с очень похожими результатами. Несмотря на то что, оказавшись под воздействием схожих избирательных условий, реплицированные популяции внешне адаптировались одинаково, после того, как их поместили в совершенно новое окружение, выявилось скрытое генетическое расхождение, приводящее к неоднородности реакций на новые усло-

вия. Другими словами, внешность может быть обманчива: эволюция в идентичном окружении, начавшаяся с одинаковой исходной точки, не настолько детерминирована, как это может показаться!

А потому мы сразу же перейдем к следующему вопросу. Предположим, что популяции на протяжении многих поколений эволюционировали в одном окружении. Станут ли различия, приобретенные за это время, влиять не только на то, как они будут изначально выживать в новом окружении, но и на то, как они впоследствии адаптируются к новым условиям? Некоторые исследования проверяли данный вопрос, но все равно эталоном является работа Травизано.

Обнаружив неоднородность исходной реакции двенадцати популяций, помещенных в среду с мальтозой, Травизано позволил популяциям адаптироваться к этому новому ресурсу.

Данный эксперимент проводился в точности так, как ДЭЭ, за тем лишь исключением, что в качестве питательного вещества использовалась не глюкоза, а мальтоза. И так же, как в ДЭЭ, популяции со временем адаптировались: тысячу поколений спустя все популяции лучше приспособились к потреблению мальтозы, чем их изначальный предок. Более того, степень адаптации была связана с изначальной приспособляемостью каждой популяции: те, кто сначала плохо использовал мальтозу, продемонстрировали гораздо большую степень увеличения адаптации в сравнении с теми популяциями, которые сначала справлялись с этой задачей хорошо.

В действительности этот эффект был настолько велик, что к концу эксперимента все популяции почти одинаково адаптировались к мальтозе – изначальные различия в их приспособляемости существенно сократились.

Но некоторая разница была: те популяции, которые лучше всего использовали мальтозу в начале эксперимента, продолжали расти примерно на десять процентов быстрее, чем те, которые изначально хуже всех потребляли мальтозу. Результаты по размерам клеток оказались похожими. Присутствовало некое подобие общей тенденции: две популяции, у которых в начале были самые маленькие клетки, пережили наибольший рост, а популяции с самыми крупными клетками – наибольшее уменьшение размера. Но также появилось много противоречий, когда отдельные популяции, изначально имевшие одинаковый размер клетки, эволюционировали по-разному.

Другими словами, изначальное расхождение популяций в степени адаптации к использованию мальтозы, которое развилось случайно, пока популяции ДЭЭ эволюционировали на глюкозе, имело долгосрочные последствия. Тысячи поколений, адаптирующихся к мальтозе, не смогли стереть импульс генетической дифференциации.

Если оценивать его с позиции Гулда, то данный результат значителен. Даже когда популяции эволюционируют параллельно, скрытые различия, приобретаемые в процессе эволюции, могут развести их по разным направлениям, если они окажутся в совершенно новых условиях.

КНИГА «ЭТА УДИВИТЕЛЬНАЯ ЖИЗНЬ» имела громадное для науки значение. Несмотря на то что она была предназначена для широкой публики, цитаты из нее приводятся почти в четырех тысячах научных публикаций. Это огромное количество. Обычно ученые довольны, когда их работа собирает пятьдесят или сотню цитирований. Фраза «прокручивание пленки жизни» вошла в лексикон. И в данном случае не требуется пояснений, так как каждый знает, что она означает.

И хотя Джон Битти слишком деликатен, чтобы сказать это напрямую⁵⁶, Гулд и вправду запутал всех своей метафорой^[109]. Указания Гулда «нажать кнопку перемотки... вернуться

⁵⁶ Я с полным правом могу говорить на данную тему, потому что сам испытал на себе деликатность высказываний Битти. В своей работе, посвященной взглядам Гулда на контингентность, он использовал мою публикацию по теме эволюции ящериц на Карибских островах в качестве примера (другим примером случайно стала работа Травизано-Ленски по мальтозе). Так, Битти отмечает, что я написал нечто, не поддающееся логике. Однако вместо того чтобы пояснить свою фразу, он пишет,

в прошлое... а затем проиграть пленку повторно» вполне понятны. Но это совсем не то, что имел в виду Гулд. Или, по крайней мере, Гулд имел в виду нечто большее.

Две исследовательские программы, независимые друг от друга, должны были проверить идею Гулда. Восприняв его слова буквально, исследователи, проводившие ДЭЭ и другие похожие эксперименты, прокручивали пленку либо в буквальном смысле, возрождая предковые популяции, либо осуществляя повторы в стоящих рядом колбах.

Альтернативный метод помог сделать то, что предлагал сделать Гулд, даже если это не совпадало с его хитрой метафорой. В этих исследованиях популяции подвергали воздействию разных условий, чтобы увидеть, насколько эволюция устойчива к подобным влияниям. И всегда ли эволюция придет к той же конечной точке или же результаты зависят от начальных условий и от того, что происходит по ходу?

И нет ничего удивительного в том, что эти два подхода дают в среднем разные результаты. Если популяции начинают одинаково и находятся в одинаковом окружении, то обычно они эволюционируют более или менее похоже. В том, какая мутация возникнет, присутствует доля случайности, и эта случайность заставляет популяции дивергировать – иногда заметно, но в основном слегка, при условии, что они остаются в том окружении, к которому адаптировались.

И наоборот, если они начинают по-разному или переживают разные события, то популяции, вероятней всего, станут дивергировать. На удивление мало исследований^[110] изучало этот сценарий – тот сценарий, на котором и акцентировал внимание Гулд своей фразой. Но данные исследования демонстрируют, что эволюционный итог будет совершенно иным.

Битти завершил свой анализ, предположив, что два этих подхода дополняют друг друга. Первый исследует, будут ли похожие на старте популяции впоследствии дивергировать. А второй помогает понять, станут ли популяции, отличавшиеся друг от друга на старте или пережившие различные события, конвергировать, подходя к одинаковому эволюционному итогу.

Как вариант мы могли бы рассматривать первую группу экспериментов как дополняющую вторую. Даже те популяции, которые стартуют идентично, в конечном итоге разойдутся из-за различий в возникновении мутаций. Эти различия – такой же результат истории, как и изменения, спровоцированные внешними событиями. Вопрос следующий: если возникают подобные генетические различия, будут ли они способствовать дальнейшей дивергенции популяций или же популяции все равно продолжают адаптироваться общим способом?

Однако более масштабная проблема касается того, какие вопросы мы хотим задать. Философу было бы интересно узнать, будут ли популяции, которые стартуют одинаково и обладают идентичным опытом, эволюционировать идентично. Но для натуралистов, астробиологов и – рискну предположить – Стивена Джей Гулда вопрос стоит иначе. В природе популяции никогда не начинают развитие в точности одинаково и никогда не переживают одинаковой последовательности исторических событий. Следовательно, возникает вопрос: когда подобные популяции появляются в одинаковом окружении, будет ли достаточно воздействия всемогущего – как полагают Конвей

Моррис и другие исследователи – естественного отбора, чтобы преодолеть различия в генетическом составе и историях жизни? Или же естественный отбор ограничен рамками описанного исторического периода и на него частично влияет то, что происходило ранее? И значит, вероятней всего, каждый раз он будет выдавать разный результат, как утверждал Гулд?

Лабораторные эволюционные эксперименты помогли ученым проделать блестящую работу, проясняя данные вопросы и демонстрируя нам целый ряд различных эволюционных возможностей. Но их главное преимущество одновременно является их большим изъяном: они ограничены искусственными рамками лаборатории.

что впоследствии я объяснил ему, что я имел в виду, и что, в конце концов, все логично, несмотря на то, что в моей работе все очевидно.

Лабораторные эксперименты задуманы таким образом, что они прекрасно контролируются. Внешние воздействия максимально исключены, позволяя исследователям концентрироваться на изучаемых факторах. Все это прекрасно и замечательно и важно для хорошо идущего эксперимента.

Но как мы уже убедились, природа шумна и неконтролируема. И сама идея об абсолютно идентичном окружении просто смешна: ветер подул, насекомых отнесло в сторону, пролетающая птица выкакала семя, которое проросло. Хаотично, конечно, и вопиюще для лабораторных ученых, привыкших контролировать все. Но это природа.

И это всего лишь часть тех йот и частиц, о которых говорил Гулд: одно прокручивание пленки будет отличаться от другого из-за какого-то события или условия – семя, буря, астероид. Если бы мы могли воспользоваться силой экспериментов в области микробиологии и гармонично соединить ее со случайностью природного мира, тогда бы точно проверили роль непредвиденных факторов времени и места. Оказывается, мы способны сделать именно это и в то же время узнать, как эволюция микробов влияет на человеческое благополучие.

Глава двенадцатая Человеческая среда

Pseudomonas aeruginosa – это проницаемая бактерия, широко распространенная в окружающей среде и обладающая высокой степенью адаптивности: она способна выживать в нефтяных пятнах и внутри космического корабля. Она заражает растения, нематод, плодовых мушек, рыбу и большинство млекопитающих. У людей она ответственна за заражение ожогов, ран, мочевыводящих путей и глаз.

Особенно данная бактерия любит влажность, и это делает человеческие легкие привлекательным для нее местом. Для большинства людей это не проблема: мы просто выкашливаем их и выплевываем. Но совсем иначе обстоит дело у тех, кто страдает от муковисцидоза. У людей с этим заболеванием очень густая слизь, что затрудняет очищение легких. *P. aeruginosa* и другие бактерии используют сгустки слизи, образуя так называемую «биопленку», которая проникает в самые укромные уголки и складочки, и ее потом трудно вывести. Результатом этого становятся инфекции, пневмония, поражение легких и часто летальный исход – *P. aeruginosa* является причиной смерти восьмидесяти процентов больных муковисцидозом.

Примерно в 2000 году врачи пришли к выводу, что в этом процессе участвует не только *P. aeruginosa*, колонизирующая организмы больных и окапывающаяся в легочных путях.

На самом деле летальный исход частично обусловлен эволюцией бактерии, начавшейся уже после ее колонизации организма, когда она адаптируется к своей новой воздухоносной среде таким образом, что ее сложно уничтожить. И это увеличивает ее губительное воздействие на организм.

Данное открытие изменило способ лечения больных муко-висцидозом. В прошлые времена людей с таким заболеванием собирали вместе, часто отправляя в специально выделенные для этой цели летние лагеря и больничные палаты. Теперь мы понимаем, что это самый худший из возможных вариантов, так как подобные скопления людей способствовали передаче заметно эволюционировавших, смертельно опасных штаммов *P. aeruginosa* от одного человека к другому. В наши дни контакт между людьми с муковисцидозом максимально ограничен, особенно в больницах.

А потому сегодня большинство людей с муковисцидозом заражаются *P. aeruginosa* не от других больных, а из окружающей среды. С точки зрения микроба, каждый человек с этим заболеванием – это возможность, а каждая колонизация *P. Aeruginosa* – это эволюционно независимое событие. Что, конечно, приводит к теперь уже знакомому нам вопросу: эволюционируют ли штаммы *P. aeruginosa* похожим образом, когда адаптируются к одинаковым, но не идентичным средам, в данном случае к человеческим легким?

Теоретически ответ на этот вопрос можно получить в лаборатории, подобно многим экспериментальным эволюционным исследованиям в области микробиологии, которые мы обсуждали в последних трех главах. На самом деле такой эксперимент был проведен^[111]. Несколько предприимчивых канадских ученых создали искусственные человеческие легкие, изготовив вязкую липкую субстанцию, похожую на слизь в легких у больного муковисцидозом. Затем они поместили *P. aeruginosa* в чашки Петри, наполненные этой вязкой массой, и стали наблюдать за тем, как бактерии станут адаптироваться.

Как и в большинстве эволюционных экспериментов с микробами, копии популяций *P. aeruginosa* продемонстрировали схожесть в адаптации к новому окружению. Но все популяции были получены из микробов одинаковой культурной среды в чашках Петри – все они изначально были генетически похожи. А штаммы *P. aeruginosa* у пациентов с муковисцидозом, вероятно, существенно отличаются друг от друга.

В большинстве случаев возникновения инфекции муковисцидоза мы не знаем природного источника *P. aeruginosa*.

Очень возможно, что путь колонизации случаен: к примеру, один человек заражается через воду из водопроводного крана, а другой – во время охоты на болотах. Эти штаммы *P. aeruginosa* теоретически могут быть адаптированы к самым разным средам и, вероятней всего, различаются генетически. И как мы знаем по предыдущим исследованиям, когда эксперимент начинается с популяций с неоднородной эволюционной и экологической историей, популяции могут адаптироваться своими особенными способами. Так что не стоит ждать того, что разнообразные штаммы будут приспосабливаться к разным людям одинаково.

Но одно очевидно: бактерия, заселяющая дыхательные пути больного муковисцидозом, встретит там условия, отличные от условий внешнего мира. Там ей будут противостоять активная иммунная система, борющаяся с захватчиками, и антибиотики, пытающиеся обезвредить ее. Но *P. aeruginosa* также должна отразить нападки других соперничающих с нею видов бактерий и справиться с липким слоем слизи. Давление естественного отбора в данном случае будет очень сильным.

Кроме того, в дыхательной системе человека много разных сред, от придаточной пазухи носа до бронхиол и альвеол. Как следствие, доступно множество разных ниш, отличающихся друг от друга воздушным потоком, влажностью, содержанием кислорода, поверхностной структурой, обилием слизи и концентрацией антибиотиков. Такое варьирование, а также индивидуальные различия людей могут привести к тому, что разные штаммы *P. aeruginosa* адаптируются по-разному не только у разных людей, но и внутри отдельного организма.

Как – это, конечно, не теоретический вопрос. Большинство тестирований эволюционной повторяемости в лабораторных условиях проводится из чистого любопытства. Станут ли грибок, взятый с дуба, и вагинальный грибок адаптироваться похожим образом, живя в чашке Петри, наполненной глюкозой, – это может вызвать интерес эволюционных биологов. А вот ответ на вопрос, будут ли бактерии адаптироваться одинаково в легких у людей с муковисцидозом, актуален и имеет важные последствия для нашего мира. Чем более повторяема эволюция бактерий, тем, возможно, легче будет разработать новые препараты и методы терапевтического лечения.

В мире, где отсутствует понятие об этике, ученые намеренно бы стали заражать людей муковисцидозом разными штаммами *P. aeruginosa* и внимательно отслеживали бы эволюцию бактерии. В реальном мире, конечно же, даже мысль о том, чтобы задумать подобный эксперимент, была бы противоестественной. Но по сути тот же самый цикл происходит, когда больных муковисцидозом атакует *P. aeruginosa*.

Именно такой природный эксперимент изучали ученые в копенгагенском центре исследования муковисцидоза в начале этого века. В рамках протокола лечения больные приходят в центр ежемесячно, чтобы сдать образцы мокроты, которые затем исследуются на наличие в ней *P. aeruginosa*. Тем, у кого результат положительный, немедленно назначают курс лечения, который иногда эффективно помогает избавиться от бактерий.

И хотя данные процедуры созданы специально с терапевтическими целями, они также помогли провести плодотворное эволюционное исследование. Работающие в центре врачи-клиницисты определяли инфекцию *P. aeruginosa* почти сразу после ее возникновения, а затем наблюдали и повторно брали у пациентов образцы на протяжении продолжительного времени вплоть до десяти лет. Сравнивая образцы, взятые у одного пациента в разное время, персонал мог проследить эволюционное развитие бактерии.

Датские исследователи^[112] секвенировали полный геном из более чем четырехсот образцов *P. aeruginosa*, взятых у тридцати четырех детей и подростков. В нескольких случаях штаммы у разных людей были очень похожими, и это говорило о том, что бактерия перехо-

дила от одного пациента к другому, несмотря на максимальные усилия врачей предотвратить подобную передачу⁵⁷.

Однако огромное количество геномов бактерий очень сильно отличались друг от друга, указывая на то, что пациенты заразились *P.aeruginosa* от разных природных штаммов.

И тогда возник вопрос, насколько похожими были эволюционные пути развития разных бактерий.

Сравнивая ДНК *P.aeruginosa* у определенного пациента в разные периоды времени, исследователи получили хронологию генетических изменений, произошедших после того, как бактерия колонизировала организм этого человека. Всего они обнаружили свыше двенадцати тысяч мутаций, что составляет в среднем более трех сотен на колонизирующий штамм.

Проблема заключалась в том, как разобраться в этом объеме информации. Какие изменения представляли адаптацию к новому окружению – человеческим легким, – а какие были случайными, не имеющими адаптивной значимости?⁵⁸ Геном *P.aeruginosa* содержит более пяти тысяч генов и шести миллионов участков ДНК. И хотя прогресс в изучении бактерии значительный, у нас все равно очень ограниченное понимание того, как работает геном бактерии. Следовательно, у датских ученых было смутное представление о последствиях практически всех обнаруженных ими двенадцати тысяч генетических изменений.

Столкнувшись с этой дилеммой, исследователи испытали приступ вдохновения. Они сделали вывод, что конвергентная эволюция популяций, обитающих в похожем окружении, является ярким свидетельством адаптивной эволюции. Более того, известно, что микробы конвергентно используют одни и те же гены, чтобы адаптироваться к похожим условиям. И если мы хотим определить гены, участвующие в адаптации *P.aeruginosa* к жизни внутри организма человека, почему бы не попробовать поискать те, которые повторно мутируют у разных больных муковисцидозом?

Ученые составили список всех мутаций, сведя воедино количество штаммов, у которых наблюдались мутации в одном и том же гене. Всего мутации возникли почти в четырех тысячах генов, в трети они происходили во множестве штаммов.

Конечно, два штамма могут приобрести мутации в одном и том же гене совершенно случайно.

Статистический анализ устанавливает порог на пяти: крайне маловероятно, что мутации в одном и том же гене в столь многих штаммах происходили случайно⁵⁹.

Пятьдесят два гена приобрели мутации в пяти и более штаммах. Рекорд поставил один ген, в котором двадцать штаммов – более половины от общего количества – претерпели генетическое изменение. Ученые рассматривали эти пятьдесят два гена в качестве возможных генов-кандидатов на конвергентную адаптацию – «кандидатные патоадаптивные гены, в которых мутации оптимизируют патогенную активность», говоря их языком.

Один из способов проверить эффективность данного метода – посмотреть, поможет ли он определить гены, уже участвовавшие в процессе адаптации *P.aeruginosa*. И действительно, половина обнаруженных ими генов были теми, которые уже определялись, в особенности гены, участвовавшие в эволюции сопротивляемости антибиотикам и формировании биопленки. Опираясь на конвергенцию, действительно можно установить гены, задействованные в патогенной адаптации.

Многообещающий итог данного исследования в том, что оно помогло определить ряд генов, которые, как считалось ранее, не участвовали в процессе адаптации к муковисцидозу.

⁵⁷ В поддержку этой версии следует отметить, что записи посещений показывали, что эти пациенты находились в клинике в одно и то же время до того, как один из пациентов заразился.

⁵⁸ Многие мутации не влияют на фенотип и не имеют последствий.

⁵⁹ В данном случае это несколько упрощенное представление, так как реальная граница варьировалась в зависимости от размера гена.

Биохимическое функционирование^[113] семи этих генов уже известно, так что теперь исследование сконцентрировано на том, как изменение данных функций путем мутации может позволить *P.aeruginosa* адаптироваться к организмам больных муковисцидозом. Кроме того, девятнадцать конвергентных генов были «terra incognita», их функционирование оставалось тайной (что неудивительно, ведь мы не знаем, как работает почти половина генов *P.aeruginosa*). Понятно, что если мы не в курсе, что делает ген, мы не имеем представления о том, каким образом изменения в этом гене приведут к адаптации к окружению в виде человеческих легких. Выяснить, как работают эти гены, несомненно, является главным приоритетом.

Как бы я хотел завершить этот рассказ заголовком «Конвергентная эволюция спасает пациентов с муковисцидозом»... Но говорить об этом пока еще рано. Тем не менее ясно, что изучение конвергентной эволюции – предмет интереса не одной только науки: эти знания могут помочь нам разобраться, как патогенные (вызывающие заболевания) организмы атакуют людей, и, возможно, понять, какие терапевтические меры нам предпринять, чтобы бороться с ними.

В то же время результаты данного исследования касаются вопроса эволюционной предсказуемости и контингентности. Большинство идентифицированных генов претерпели мутации меньше, чем у половины из тридцати четырех пациентов. Более того, делая анализ на основе конвергенции, не смогли определить адаптивные мутации, произошедшие только у одного или нескольких пациентов. Общая повторяемость, с помощью которой *P.aeruginosa* адаптируется к организмам больных муковисцидозом, сравнительно низкая. Предстоит выяснить, является ли эта неповторяемость результатом случайного характера мутаций, различного генетического состава разных инфицирующих штаммов, биологических различий среди пациентов или адаптации к разным частям легких.

Еще одно исследование дало^[114] очень похожие результаты. *Burkholderia dolosa* был неизвестным для науки микробом, когда он поразил пациентов с диагнозом муковисцидоз из бостонской больницы в начале 1990-х, заразив в конечном итоге тридцать девять человек. Точно так же, как в случае с исследованием *P.aeruginosa* в Дании, повторные взятия образцов у одних и тех же пациентов позволили исследователям проследить генетические изменения микроба внутри каждого организма.

И так же как в исследовании *P.aeruginosa*, там было большое количество мутаций. Учитывая то, что бактерия плохо изучена, вычислить последствия большинства изменений было сложно. А потому команда, возглавляемая Тами Либерман из Гарвардской медицинской школы, стала искать гены, повторно мутировавшие у большинства пациентов с муковисцидозом. Те семнадцать генов, которые они определили, включали одиннадцать генов, которые связаны с сопротивляемостью антибиотикам и развитием заболевания. Но о действии трех из множества мутировавших генов ничего не было известно, а другие три гена никогда прежде не ассоциировались с развитием легочных болезней.

Если бы не было этой информации, то никто бы и не подумал о том, что они причастны к заражению *Burkholderia*. В настоящее время исследуются несколько мутаций с целью понять, как они становятся патологическими.

И так же как в исследовании *P.aeruginosa*, даже у половины пациентов мутировало относительно мало генов, и, следовательно, в целом процент предсказуемости был снова низким. Исследование концентрировалось на генах, конвергентно мутировавших у множества пациентов, и оно не смогло определить адаптивные изменения, которые произошли только у одного или нескольких пациентов.

Оба этих исследования проводились на пациентах с диагнозом муковисцидоз, потому что они более подвержены инфекциям. Стандартный мониторинг обеспечивает исследователей образцами на ранних стадиях заражения, что позволяет им изучать, как бактерия адаптируется со временем. Однако получить множественные образцы от каждого пациента для боль-

шинства заболеваний невозможно. В большинстве случаев такие образцы даже не пригодятся, так как многие бактерии поступают в организм своей самой последней жертвы с уже эволюционировавшими ранее патогенными адаптациями.

Альтернативный метод определения конвергентных генетических изменений заключается в том, чтобы следовать примеру эволюционных биологов и выстраивать филогенез с целью изучить эволюцию признака. Сравнивая опасные штаммы с их безвредными родственниками, врачи-микробиологи ищут похожие изменения, эволюционировавшие множество раз в патогенных штаммах.

Наиболее часто ученые применяли данный подход, чтобы изучить генетическую основу сопротивляемости лекарственным препаратам. К примеру, *Mycobacterium tuberculosis*, бактерия, ответственная за туберкулез, много раз вырабатывала устойчивость к антибиотикам. Международной команде ученых^[115] удалось секвенировать геном из ста двадцати трех штаммов *M. tuberculosis*, сорок семь из которых демонстрировали сопротивляемость антибиотикам, используемым для лечения туберкулеза. Как и ожидалось, филогенез подтвердил, что не все антибиотикорезистентные штаммы были близкородственными. Скорее сопротивляемость антибиотикам эволюционировала конвергентно много раз.

В одном лишь образце исследователи определили почти двадцать пять тысяч позиций ДНК, в которых происходила мутация как минимум одного штамма. Далее ученые сконцентрировали свое внимание на мутациях, которые эволюционировали множество раз, причем исключительно в тех штаммах, которые были резистентны. Крайним проявлением была мутация, которая эволюционировала независимо в восьми резистентных и ни в одном нерезистентном штаммах.

Исследование имело бешеный успех. Было обнаружено, что в одиннадцати областях генома *M.tuberculosis* – либо в генах, либо в ДНК между генами – ранее происходили мутации, породившие сопротивляемость антибиотикам. В процессе исследования были установлены все одиннадцать областей. Но, кроме того, обнаружилось еще тридцать девять областей, которые прежде не ассоциировались с возникновением туберкулеза. Одиннадцать находились в тех генах, чья функция уже известна. Несколько этих генов участвуют в определении проницаемости стенок клеток бактерии. Это говорит о том, что подобные изменения могут каким-то образом иметь отношение к резистентности антибиотикам: возможно, они затрудняют антибиотику вход в клетку бактерии. Остальные двадцать восемь изменений происходили в генах с неизвестным функционированием. В настоящее время данное исследование продолжается: его цель – лучше разобраться в том, как эти изменения приводят к сопротивляемости антибиотикам и, в конечном итоге, как можно предотвратить или противодействовать подобной эволюции.

СТЕПЕНЬ КОНВЕРГЕНЦИИ в этих исследованиях была далеко не всеохватной. Даже в самых исключительных случаях конвергенции было задействовано едва ли более половины штаммов; большинство конвергентно мутировавших генов встречались лишь у явного меньшинства штаммов. На самом деле большинство генов мутировали только в одном штамме. В споре конвергенция против контингентности эти данные, похоже, безоговорочно в пользу Гулда. Для практикующих врачей биомедицинского направления в данном споре упускается главное: доля предсказуемости все-таки лучше ее полного отсутствия. Даже если не все микробы адаптируются с помощью изменений к одному и тому же гену, тот факт, что часть микробов все же эволюционирует одинаково, является важной информацией.

Изучив механизм адаптации, мы разработаем медицинские контрмеры, чтобы применить их в тех случаях, когда задействован центральный ген. Беря образцы у пациента, мы сможем быстро секвенировать геном микроба и выяснить, присутствует ли в инфицирующем штамме конкретное генетическое изменение. Если да, тогда спускайте терапевтических «борзых».

Если нет, ищите другие возможные причины. Рой Кишони, чья работа в этом смысле имела главное значение, высказался по существу, написав (совместно со студентом-магистрантом Адамом Палмером) следующее: «Даже скромная степень предсказуемости^[116] может помочь улучшить терапевтические результаты, обеспечив возможность выбора препаратов, выбора между монотерапией или комбинаторной терапией и режима дозировки для определения основанных на генотипе методов лечения, которые наиболее действенны в случае эволюции резистентности».

Это один аспект разрекламированной «персонифицированной медицины», в которой терапевты способны определять конкретную причину болезни пациента, а затем лечить ее соответственно. И факт того, что некоторые микробные патогены эволюционировали конвергентно, делает данный подход гораздо более обоснованным.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ патогенных штаммов – не единственный метод, с помощью которого ученые пытаются понять эволюцию микробов и ее влияние на здоровье человека. Эволюционные эксперименты, столь ценные для улучшения нашего понимания эволюции микробов, также используются для поиска предсказуемых способов, с помощью которых микробы адаптируются к нападению на нас и отражают наши контрмеры.

В большинстве этих исследований эволюция резистентности к антибиотикам изучается на основе общего подхода, впервые предложенного Ленски, Рейни, Травизано и другими учеными: противостоять микробам с помощью различных средств и наблюдать за тем, как они адаптируются. На самом базовом уровне данные исследования ищут повторяемые эволюционные модели. Если у микробов раз за разом будет развиваться схожая резистентность, тогда исследователи смогут сконцентрировать свои усилия на том, чтобы воспрепятствовать этой конкретной эволюционной реакции.

Очень ценным примером подобной работы является эксперимент, осуществленный в лаборатории Кишони в Гарвардской медицинской школе, в том же самом месте, где проводилось исследование *Burkholderia dolosa*. В этом эксперименте нашего старого знакомого^[117] *E.coli* поместили в специально сконструированные камеры для выращивания и подвергли воздействию одного из трех антибиотиков – хлорамфеникола, доксициклина и триметоприма, и эволюционная реакция длилась на протяжении двадцати дней (около трехсот пятидесяти генераций *E.coli*). Каждое воздействие повторялось по пять раз.

Целью исследования было проследить эволюцию резистентности к антибиотикам. Изначально бактерии, которые все получены от одного предка, не были резистентными и очень плохо росли в присутствии антибиотиков. Но очень скоро у них стала развиваться резистентность, и скорость роста увеличилась.

Популяции микробов продемонстрировали очень похожие модели адаптации к препаратам. Пять реплицированных популяций стабильно увеличивали свою резистентность ко всем трем антибиотикам – почти 1600-кратное увеличение роста в популяциях, подвергаемых воздействию хлорамфеникола. В конце эксперимента ученые секвенировали геномы клеток каждой из пятнадцати популяций и сравнили их с геномом предковой популяции.

Как и в случае с большинством предыдущих экспериментальных исследований микробной адаптации, иницированной идентичными штаммами, пять популяций, подвергшихся воздействию триметоприма, эволюционировали очень похоже. Принцип действия триметоприма – в обезвреживании фермента дигидрофолатредуктазы (DHFR) в *E.coli*. Таким образом, неудивительно, что контрстратегия *E.coli* заключается в том, чтобы видоизменить DHFR так, чтобы препарату было сложно распознать ген и усилить выработку в нем фермента. Почти все изменения, происходившие в пяти популяциях, наблюдались в DHFR.

Всего в этом гене было обнаружено семь различных мутаций: одна из них происходила во всех пяти популяциях, другая – в четырех, и все, за исключением одной, случились, как

минимум, в двух популяциях. Если не считать мутаций в гене DHFR, случились лишь три дополнительные, каждая в разном гене и только в одной популяции.

Учитывая высокий уровень повторяемой эволюции определенных мутаций, исследователи секвенировали образцы DHFR из каждой популяции в каждый день эксперимента и обнаружили устойчивый порядок возникновения мутаций. Причем мутации одинаковые или похожего действия неизбежно предшествовали другим. Иными словами, эволюция резистентности триметоприма в *E.coli* крайне повторяема. Что касается популяций, подвергнутых воздействию двух других антибиотиков, то здесь результаты были совершенно другими. Даже несмотря на то что степень резистентности, возникшей среди пяти репликатов к каждому препарату, к концу эксперимента была схожей, изучение генетических изменений выявило преимущественно разные мутации, возникшие в каждой популяции.

Почему *E.coli* эволюционирует повторно похожим образом: реагирует на один препарат, но ведет себя непредсказуемо в отношении двух других, неясно. Тем не менее результаты указывают на то, что разработать общие решения проблемы резистентности к антибиотикам будет легче для триметоприма, чем для двух других препаратов.

РАНЕЕ Я УПОМИНАЛ о том, что некоторым ученым не нравится покидать стерильные стены лаборатории, когда дело касается проведения эксперимента. Полевые исследования – это слишком много шума и неконтролируемых, сбивающих с толку переменчивых факторов. Данная тревога особенно обоснована в отношении конвергентной эволюции: если среды неодинаковы, тогда отсутствие конвергенции может быть просто результатом разного давления отбора. В ходе недавно проведенного исследования на речной колюшке было обнаружено именно это. Поначалу ученые из Техасского университета были озадачены отсутствием конвергенции среди популяций, которые независимо друг от друга колонизировали разные протоки.

Но когда они изучили их лучше, причина стала ясна: разница в качестве воды и растительности в реках могла определять фенотипические различия и отсутствие конвергенции^[118] среди популяций рыб. Конечно, похожее объяснение – небольшая разница в среде обитания – могло оправдывать отсутствие конвергенции в штаммах *M.tuberculosis* *P.aeruginosa*, населяющих организмы разных людей, или, кстати, любой случай неконвергенции. Некоторые ученые с недоверием относятся^[119] к отсутствию конвергентных реакций в контролируемых лабораторных исследованиях. Возможно, даже самого легкого отличия одной пробирки от другой – доли градуса температуры или чуть большего количества солнечного света, поступающего из ближайшего окна, – может быть достаточно для того, чтобы привести к разному давлению отбора и, следовательно, к неконвергентной адаптации.

Но эти лабораторные скептики высказывают более глубокую критику подхода к изучению эволюционной предсказуемости с помощью конвергентной эволюции, поднимая тем самым важный вопрос, который я до этого момента обходил. До настоящего времени я употреблял термины «повторяемость» и «предсказуемость» по большей части взаимозаменяемо. Но действительно ли это одно и то же? И если быть точнее, правильно ли изучать эволюционную предсказуемость на том лишь основании, что конвергентная эволюция это явление повторяемой эволюции?

Кто-то считает, что нет. Так, к примеру, пара европейских ученых написали, что повторяемость – это «слабая форма^[120] предсказуемости, так как в детерминистской природе данного процесса можно убедиться только по прошествии времени».

Другими словами, верный прогноз происходит априори, он основывается на детальном понимании изучаемой системы, а не просто на наблюдении за тем, что происходит повторно, и предсказании, что это случится снова.

Этих ученых не удовлетворило бы наблюдение за тем, как у слонов, чья среда обитания ограничена островом, повторно эволюционирует маленький размер туловища. Они бы предпочли иметь возможность предсказывать эволюционное уменьшение размеров на основе понимания того, как островная среда влияет на эволюцию размера тела.

Даже в лабораторных эволюционных экспериментах одних лишь собранных данных о том, что размер клетки всегда увеличивается или что один и тот же ген включает мутации, когда популяции сталкиваются с одинаковыми условиями, недостаточно. Они хотят иметь возможность формулировать ожидаемый итог еще до начала эксперимента.

На макроскопическом уровне ученые делают такие прогнозы постоянно. Данный подход на основе первопричины это именно то, что продельвал Дейл Расселл, рассуждая о гипотетическом динозавроиде. Исходя из своего понимания анатомии, он смог предсказать, как процесс отбора более крупных мозгов у теропода приведет к другим анатомическим изменениям, породив в конечном итоге организм, внешне очень похожий на человеческий.

Исследователи в области физиологии и биомеханики уже давно применяют гораздо более изощренные методы для изучения взаимосвязи между анатомическим строением и функционированием организма. Какова оптимальная форма крыла птицы, которой нужно резко маневрировать? Короткая и срезанная, как у реактивного истребителя. А каковы оптимальные пропорции тела для жизни в холодном климате? Приземистая фигура с короткими конечностями, чтобы минимизировать площадь поверхности тела и, следовательно, уменьшить потерю тепла.

Такие прогнозы строятся независимо от того, что в действительности эволюционировало. Впоследствии они могут быть перепроверены природой. В отдельных случаях – как в тех двух, что я перечислил, – прогнозы оправданы: естественный отбор, похоже, и вправду поощряет оптимальные решения. В других случаях теория и природа не согласуются друг с другом: либо теория подводит, либо какое-то ограничение не позволяет естественному отбору выработать оптимальное решение. Что это за ограничения – вопрос интересный сам по себе. Возможно, не возникает подходящих мутаций или вмешиваются какие-то негативные побочные факторы (невозможно одновременно оптимизировать все). А может быть, решения просто нет: так, к примеру, ни один организм не использует ядерного деления в качестве источника энергии, а биологические структуры, напоминающие колеса, крайне редки.

Сложнее делать прогнозы на основе первопричины, когда имеешь дело с микробами, потому что биохимическое и молекулярное функционирование этих клеток еще не до конца изучено. И эта трудность лишь усугубляется, когда работаешь на генетическом уровне, как делает сейчас большинство микробиологов, потому что функция большинства генов остается тайной. Если взять все гены, которые были определены при изучении бактерий, вызывающих туберкулез и муковисцидоз, чье функционирование совершенно неизвестно, то в данном случае было бы весьма сложно сделать предварительные прогнозы относительно того, как они могут участвовать в адаптивной эволюции микробных патогенов.

Конечно, существуют исключения. Одним из них является ген, ответственный за устойчивость к антибиотикам у *E.coli*. Этот ген регулирует синтез ферментов бета-лактамаз, которые со временем, эволюционируя, атакуют такие антибиотики, как пенициллин, ампициллин, цефотаксим и многие другие, делая их неэффективными. Именно поэтому данный ген и вырабатываемый им фермент тщательно изучались, и теперь ученые понимают их гораздо лучше, чем большинство микробных генов и их производные.

Недавно исследовалось многообразие мутаций^[121], происходящих в гене. С помощью своих молекулярных приемов ученые заставили клетки *E.coli* произвести десять тысяч различных мутаций. Они продуманно выбрали из них тысячу и оценили их влияние на устойчивость к антибиотикам, просчитав, какое их количество требуется, чтобы убить клетку. Какие-то мутации никак не влияли, несколько имели катастрофические последствия, а большинство обладали средним негативным воздействием.

Благодаря тому что бета-лактамазы так хорошо изучены, исследователи смогли установить, как каждая мутация влияла на функционирование фермента в плане характера изменения формы молекулы, уровня ее активности и степени стабильности. Затем они смогли сопоставить эти изменения с влиянием на устойчивость к антибиотикам и обнаружили здесь сильную взаимосвязь: более заметные изменения этих свойств совпадали с более существенными изменениями в степени устойчивости к антибиотикам. Другими словами, исследователи смогли начать с мутации, вычислить, как она видоизменяла фермент, а на основе этих изменений точно подсчитать, как это повлияет на устойчивость к антибиотикам.

Именно такой подход позволяет ученым предсказать, как микроб типа *E.coli* станет эволюционировать, столкнувшись с новыми условиями обитания.

Но примеры подобного рода – чаще всего исключения, чем правило. В большинстве случаев мы не знаем, какие гены ответственны за адаптацию. И даже зная, какие гены задействованы, мы зачастую слабо себе представляем, как они работают, не говоря уже о влиянии конкретных мутаций. Возможно, однажды мы сможем рутинно предсказывать, какие мутации будут эволюционировать адаптивно, но этот день наступит еще не скоро.

Не имея исчерпывающей информации, ученые иногда делают свои прогнозы на основе неполных данных. Например, исследователи из Гарварда отметили, что один штамм *E.coli* способен выдерживать дозы антибиотика цефотаксима в сто тысяч раз больше, чем требуется, чтобы нейтрализовать нерезистентные штаммы. Генетический анализ показал, что такой высокий уровень резистентности был результатом пяти приобретенных мутаций в гене, вырабатывающем бета-лактамазы.

Ученые сконцентрировали свое внимание на этих пяти мутациях и выяснили, приведет ли неизбежно естественный отбор к появлению пятикратно мутировавшего штамма, если изначально будет нерезистентный штамм с отсутствующими у него мутациями. Но вместо того, чтобы проводить эволюционные эксперименты, они создали штаммы *E.coli* со всеми возможными комбинациями пяти мутаций. Для каждого штамма они измерили устойчивость к цефотаксиму и задались вопросом: «Существует ли для каждого штамма такая мутация, которая способна усилить резистентность?» Так, к примеру, если взять штамм с двумя мутациями, то усилится ли его резистентность, если добавить еще одну? Для всех штаммов ответ был положительный. Все штаммы с одной мутацией в конечном итоге приобретали вторую, а все штаммы с двумя мутациями – третью и так далее. Вне зависимости от порядка возникновения мутаций неизбежным итогом становился штамм с пятью мутациями. Авторы исследования сделали вывод, что «пленка жизни^[122] может быть в значительной степени воспроизводима и даже предсказуема».

Данное исследование – первоклассное и всеобъемлющее – привлекло к себе повышенное внимание как пример эволюционного детерминизма на генетическом уровне. Но была одна проблема: исследование ограничивалось только теми мутациями, которые были обнаружены в ультрарезистентном штамме. А как насчет других мутаций? Могли ли они помешать работе?

Чтобы выяснить это, группа датских ученых провела эволюционный эксперимент, который подразумевал, что сфера мутаций определяется любыми возникшими в ходе эксперимента явлениями, а не ограничивалась пятью центральными мутациями из предыдущего исследования. Если предоставить мутациям полную свободу^[123], эволюционирует ли тогда суперштамм? Датская команда осуществила свой эксперимент теперь уже знакомым нам способом, подвергая двенадцать изначально похожих популяций воздействию препарата на протяжении нескольких генераций и высчитывая степень адаптивной эволюции.

Устойчивость к цефотаксиму возрастала по ходу эксперимента, но ее степень варьировалась: семь популяций стали заметно более резистентными, чем другие пять. Ученые секвенировали геномы каждой популяции и обнаружили, что одни и те же три мутации – три из пяти – эволюционировали преимущественно в одинаковом порядке в семи высокорезистент-

ных популяциях⁶⁰. И наоборот, минимум одна из этих трех мутаций не смогла эволюционировать в оставшихся пяти популяциях.

Гарвардское исследование суперштамма продемонстрировало, что одна конкретная мутация – G238S – единственная наиболее действенная в плане передачи резистентности к цефотаксиму. В датском исследовании у всех семи «экстремистов» сразу же возникла G238S, так же как и у трех из отстающих популяций.

Датские исследователи внимательнейшим образом изучили две популяции, у которых не возникло G238S, и определили первые приобретенные ими мутации – R164S в одной из популяций и A237T в другой⁶¹. Ни одна из этих мутаций не возникла в остальных десяти популяциях. Более того, так как ни одной из этих мутаций не было среди пяти обнаруженных в суперрезистентном штамме, они не были включены в исследование гарвардской команды.

Тогда датчане начали эксперимент заново, но в этот раз с *E.coli*, которая включала одну из этих мутаций, пять популяций с R164S и пять с A237T. И в очередной раз устойчивость к цефотаксиму со временем возрастала, но у всех десяти популяций в конечном итоге уровень резистентности был существенно ниже, чем у семи самых резистентных популяций из первого эксперимента. Примечательно, что ни у одной из этих популяций не возникла мутация G238S, но они действительно включали многие другие, не наблюдаемые у популяций с G238S.

Почему G238S несовместима с R164S и A237T, не до конца ясно, но похоже, что эти мутации заставляют фермент сгибаться различными способами. Как только первая мутация меняет модель изгиба, вторая вызывает разрушающие перемены в новой конфигурации, и таким образом мутации, будучи поощряемыми по отдельности, не могут проявиться в комбинации. Это похоже на оригами: если ты начнешь делать слона, то уже не сможешь изменить направление по ходу и сделать рыбку.

Датское исследование – это прекрасный образец исторической контингентности, случайное событие, которое радикальным образом формирует последующий эволюционный исход. Популяции, у которых сначала случайно проявляются мутации G238S, могут пойти в одном направлении, и у них часто наблюдаются высокие уровни резистентности. Но те, у которых сначала возникают другие мутации, уже не идут по этому пути: как только они появились, мутация G238S уже невыгодна. И тогда адаптивная эволюция идет по другому пути, который приводит к менее ценному и менее резистентному пункту назначения.

Эксперимент гарвардской команды не предусматривал изначально поиск других генов, а потому исследователи не обнаружили то, насколько адаптация к цефотаксиму непредсказуема.

Разница в подходах и результатах гарвардского и датского исследований ярко демонстрирует, почему так сложно заранее прогнозировать ход эволюции, работая на генетическом уровне. Геном слишком крупная и сложная структура, чтобы выделить все относящиеся к нему мутации и предсказать, какие из них повлияют друг на друга и каким образом. Сам факт, что определенный набор мутаций ведет к высокоадаптивному результату, вовсе не означает, что эти мутации обязательно проявятся. Часто существует множество различных способов породить одинаковый генотип (вспомните шестнадцать разных генетических путей появления сморщенного заполнителя в *P.fluorescence*) и столько же различных решений одной и той же проблемы условий обитания. Вычислить заранее, какая из мутаций вероятней всего произойдет, а какая нет, почти во всех случаях будет за гранью наших возможностей.

Много очень умных людей работают сейчас над этой проблемой как на молекулярном, так и на теоретическом уровне, так что, возможно, наша способность давать завтрашний эволюционный прогноз, как и прогноз погоды, улучшится. Но сейчас наши возможности ограни-

⁶⁰ Что касается двух других из суперпятерки мутаций, то эволюция одной была заранее исключена по техническим причинам, заложенным изначально в эксперименте, но неспособность пятой мутации эволюционировать осталась загадкой.

⁶¹ Эти названия описывают изменения позиций аминокислоты. Первая буква – это предковая аминокислота, цифры означают позицию в гене, а вторая буква – это новая аминокислота, порожденная мутацией.

чен. А это, в свою очередь, означает, что лучший способ предсказать, что эволюционирует – посмотреть на то, что произошло в прошлом, либо в ходе эволюции, либо в результате эволюционных экспериментов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ микробной адаптации указывают на то, что определенная доля предсказуемости существует, и что эта повторяемость может стать основой для развития контрмер. Конечно, микробы не единственные современные организмы, эволюционирующие нам во вред.

Сорняки, заполняющие наши лужайки и сельскохозяйственные угодья, насекомые и грызуны, поедающие наш урожай, комары, разносчики болезней – всех их объединяет одно: они переиграли нас в наших попытках контролировать их⁶². И так же, как и в случае с микробами, это дается нам ценой миллиардов долларов и десятков тысяч жизней.

Эволюция резистентности к пестицидам (сюда же можно отнести инсектициды и гербициды⁶³) имеет множество параллелей с эволюцией устойчивости к антибиотикам. Подобно большинству микробов, у сельскохозяйственных вредителей появилось широкое разнообразие способов противостоять нашему химическому арсеналу, включая изменения в поведении, которые минимизируют контакт с пестицидами; вариации наружной поверхности шкуры, не позволяющие пестицидам проникнуть внутрь. А также они освоили приемы превращать пестицид во что-то еще, изолировать его внутри тела как ненужный орган или быстро выводить его из организма. Либо могут происходить модификации в молекулярной структуре, спровоцированные пестицидом. Из-за этой массы возможных вариантов популяции одного вида, оказываясь под воздействием определенного пестицида, часто адаптируются по-разному.

С другой стороны, многие пестициды являются коммерчески успешным продуктом, потому что воздействуют на одни и те же биохимические механизмы, которые есть у многих вредителей. В результате у многих видов развились одинаковые, зачастую идентичные, способы сорвать эти атаки. Так, к примеру, у некоторых видов комаров^[124] наблюдается одинаковое изменение ДНК с целью адаптироваться к инсектициду диэльдрию. Точно так же более чем у тридцати различных видов насекомых^[125], включая мух, блох, тараканов, мотыльков, трипсов, тли, жуков и поцелуйных клопов, возникло одинаковое изменение в ДНК с целью выработки устойчивости к пиретроидам.

И точно так же, как в случае с микробами, когда у вредителей возникают конвергентные механизмы резистентности к пестицидам, наша способность ответно воздействовать на них усиливается. И здесь хорошим примером являются пестициды, полученные из бактерии *Bacillus thuringiensis* (Bt).

По неизвестным причинам этот почвенный микроорганизм вырабатывает белки, которые смертельно опасны для насекомых. Ученые определили эти белки и применили их в качестве инсектицидов. Изначально эти инсектициды распыляли на зерновые культуры, но с конца 1990-х несколько видов зерновых стали генно-модифицированными и вырабатывают белки сами. Количество фермерских угодий^[126], засеянных зерновыми культурами, произведенными по биотехнологиям, в настоящее время необычайно огромно: в 2013 году общая площадь во всем мире составляла двести миллионов акров, включая две трети всего зерна в Соединенных Штатах и свыше трех четвертей хлопка в основных странах-производителях.

В лабораторных экспериментах резистентность к токсинам Bt возникла сразу, в меньшей степени в полевых исследованиях. Эти токсины связывают белки в пищевом тракте насекомых. Резистентность развивается преимущественно за счет мутаций, которые участвуют в выработке

⁶² Например, почти у шестисот видов членистоногих развилась устойчивость к тому или иному пестициду.

⁶³ А для более продвинутых также отмечу фунгициды, ларвициды, родентициды, моллюскоциды, акарициды и любых вредителей, которых вы вспомните.

этих связывающих белков. К примеру, устойчивость к одному типу токсина^[127] эволюционировала во многих популяциях трех видов гусениц в результате мутаций в гене, который вырабатывает связывающий токсин белок под названием кадгерин. И точно так же семь видов гусениц^[128] конвергентно эволюционировали, выработав резистентность за счет мутаций, разрушающих в пищевом тракте белок, который транспортирует молекулы через мембраны.

Вывод о том, что мутации в нескольких генах эволюционируют повторно, имеет важное значение для осуществления противодействия эволюции резистентности несколькими способами. Во-первых, популяции вредителей можно регулярно отсеивать, выискивая появление специфических резистентных мутаций. Эти фильтры включают методы определения мутаций, найденных у лабораторных или полевых популяций. Когда такие аллели удастся определить рано, то можно предпринять специальные меры, чтобы не допустить широкого распространения мутации.

Если говорить в более широком смысле, то факт обнаружения того, что в популяциях повторно и одинаково эволюционирует резистентность, может подстегнуть попытки модифицировать ген *Vt* в зерновых культурах, чтобы обойти этот механизм. Так, когда ученые обнаружили, что у насекомых развивается резистентность за счет блокирования процесса связывания с кадгерином, они модифицировали токсин *Vt* таким образом, чтобы он связывался с другими белками, полностью обходя кадгерин.

Это вовсе не означает, что конвергенция – чудодейственное средство. Даже в случаях, подобных случаю с *Vt*-токсином, фильтры эффективны только для поиска ранее определенных конвергентных мутаций. Другие мутации в том же самом гене могут остаться необнаруженными, а тем более там, где задействованы другие гены и резистентные механизмы (на самом деле ранее сообщалось о фактах обнаружения неконвергентно возникших в других генах мутаций, так же как и о многих прочих механизмах *Vt*-резистентности). А в случае со многими другими пестицидами знание того, что резистентность эволюционировала конвергентно, не гарантирует появления новых методов изучения.

НАШЕ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ выходит далеко за рамки применения антибиотиков и пестицидов. Мы меняем мир бесчисленными способами. Иногда проблемы, которые мы создаем, слишком велики, и тогда происходит сокращение и исчезновение разных видов. Но во многих других случаях в игру вступает естественный отбор, и виды начинают адаптироваться к новым условиям обитания.

В силу изменений, вызванных человеческой деятельностью, конвергентная эволюция была впервые описана как реакция на загрязнение нами окружающей среды. Адаптация растений к почве, зараженной тяжелыми металлами, и мотыльки с темным окрасом в загрязненной местности были самыми первыми примерами. И эти примеры постоянно накапливаются. Один хорошо изученный случай^[129] связан с маленькой рыбкой, обитающей в морских лиманах вдоль атлантического побережья Северной Америки. Атлантическая гетерандрия, дальний родственник вида, изучаемого в Тринидаде Эндлером и Резником, способна выживать в местах с повышенным уровнем загрязнения, где могут жить лишь немногие другие виды. Команда, возглавляемая учеными из Калифорнийского университета, изучила четыре популяции, которые стойко переносили загрязнение (они обитали вдоль всего Восточного побережья) и установили, что у них независимо друг от друга видоизменилась схожая физиология, что сделало их нечувствительными даже к самым высоким уровням загрязняющих веществ, включая диоксин. Геномный анализ указывал на то, что мутации в одном и том же наборе генов играли важную роль в этой адаптации во всех четырех популяциях.

Люди также оказывают^[130] сильное селективное давление, когда изымают животных из их популяций ради коммерческих или спортивных целей.

В большинстве случаев охотники выбирают себе жертву, исходя из определенных ее качеств. Результатом становится сильный естественный отбор, направленный против особей с этим качеством. И в большинстве случаев у популяций конвергентно эволюционируют похожие реакции. Так, трофейные охотники предпочитают самые крупные и роскошные экземпляры. А потому неудивительно, что у большинства видов со временем стало меньше украшающих элементов и защиты: у толсторогих баранов, черных антилоп и оленей уменьшились рога, а у слонов уменьшились бивни. В отдельных популяциях слонов присутствует множество особей, у которых полностью отсутствуют бивни.

То же самое явление наблюдается и в рыболовстве. В основном ловля рыбы определяется ее размером: в большинстве своем сети вылавливают крупную рыбу, а мелкая уходит. Итогом этого становится селективное предпочтение в пользу малышей. Как следствие, максимальный размер многих различных видов рыбы это всего лишь часть того, что было раньше. Так, к примеру, вес самой крупной атлантической трески^[131] в канадском заливе Святого Лаврентия уменьшился с семидесяти фунтов в начале 1970-х до сегодняшних двенадцати фунтов. Треска, обитающая у побережья Массачусетса, примерно такого же маленького размера, а в конце XIX века там вылавливали рыбу весом более двухсот фунтов⁶⁴. Это серьезная экономическая проблема, потому что количество рыбы в популяции не увеличивается, а это компенсировало бы более мелкий размер особей. В итоге объемы вылова рыбы неизбежно падают.

Возникает важный вопрос: вернутся ли популяции к тем показателям, что демонстрировали их предки, если мы восстановим условия их обитания, доведя их до изначального состояния? В некоторых случаях это происходит, как, например, у пяденицы березовой, которая вернула свой прежний окрас, как только исчезло загрязнение воздуха.

Однако в других случаях реакции бывают менее последовательными. Как только сокращается объем вылова рыбы и охоты, которые основаны на принципе отбора по размеру, у рыб в целом повторно не эволюционирует более крупный размер тела, а у толсторогих баранов не эволюционируют более крупные рога. Существует ряд возможных объяснений этой эволюционной асимметрии. Вероятно, естественный отбор в пользу крупного размера в отсутствие вылова и отстрела гораздо слабее по сравнению с отбором мелкого размера в этом процессе.

Либо, как вариант, вылов и отстрел могли привести экосистему в новое состояние, при котором крупный размер уже не является предпочтительным. К примеру, другие виды могли расширить свои популяции с целью завладеть ресурсами, ранее использовавшимися пойманными видами. В этом случае давление отбора может постоянно меняться даже после полного прекращения вылова и отстрела.

Так же как и в случае с пестицидами и антибиотиками, конвергентная эволюция лишь частично объясняет, как будут реагировать виды на меняющееся окружение и что мы можем сделать, чтобы улучшить ситуацию. Тем не менее когда это происходит, конвергенция четко обозначает проблему и побуждает к разработке общих контрмер. На самом деле, чтобы предотвратить уменьшение размера рыбы, ученые придумали ряд методов, включая разработку новых сетей, когда очень крупная рыба выбрасывается обратно в море с целью сохранить ее генный материал в рамках популяции. Или создание зон, где запрещена ловля и крупная рыба может чувствовать себя вольготной и передавать свои гены в те зоны, где ведется ее лов.

Нет никаких сомнений в том, что по мере того, как ученые все более подробно изучают, как виды реагируют на глобально меняющийся мир, будут обнаруживаться новые случаи конвергентной эволюционной реакции. Самой болезненной темой, безусловно, является проблема

⁶⁴ Ученые обсуждают, насколько данные уменьшения – как в размере тела, так и в конкретных образованиях, таких как рога и бивни, – демонстрируют эволюционное изменение. Если мы уберем самых крупных особей с самыми крупными рогами или бивнями, то это будет означать, что выжившие окажутся менее «оснащенными» даже при отсутствии генетических изменений. Кроме того, здесь также может частично присутствовать фенотипическая пластичность. Тем не менее, как минимум в отдельных этих случаях в основе данных уменьшений лежала генетика.

глобального потепления. К настоящему времени лишь немногие исследования убедительно продемонстрировали эволюционную адаптацию в связи с изменением климата, но эта ситуация стремительно меняется. Я не слышал о примерах конвергенции в природных популяциях, но в одном семилетнем экспериментальном исследовании, проводившемся на червях, были отмечены повторявшиеся генетические изменения, связанные с потеплением почвы.

Я уверен, что это всего лишь верхушка айсберга, и скоро мы обнаружим многочисленные физиологические, поведенческие и анатомические изменения, конвергентно эволюционировавшие у самых незащищенных видов.

И сложной задачей в данном случае будет применить данные, собранные по крупнякам на основе случаев конвергенции, не с целью предотвратить эволюцию, а чтобы усилить ее эффективность. Заранее предсказать, какую форму примут подобные вмешательства, трудно, но они могут повлечь за собой включение особо эффективных генов в те популяции, которые в них нуждаются, меняя среду обитания так, чтобы усилить часто возникающие поведенческие и физиологические адаптации.

Если говорить в общем, то мы стоим на пороге новой эры, когда у нас появляется беспрецедентная способность направлять эволюционный процесс. Развитие новых молекулярных технологий (самая последняя и самая важная это – CRISPR⁶⁵) подняло генную инженерию, применяемую среди диких популяций, на новый уровень, и теперь мы способны направлять генетическую эволюцию в дикой природе. В планах уже генетическая модификация комаров, чтобы они перестали быть разносчиками разных болезней, таких как малярия. Это прекрасный новый мир, который ждет масса возражений как практического, так и этического характера. Эти опасения далеко не беспочвенны, но есть и положительные стороны. Мы можем не только сконструировать виды для нашей собственной выгоды, но и будем иметь возможность помочь им выживать, вводя гены, которые позволят адаптироваться к меняющемуся миру.

А как нам узнать, какие гены вводить виду, сталкивающемуся с конкретной проблемой? Ответ, конечно же, – конвергентная эволюция! Выбирая решения, которые неоднократно срабатывали в отношении других видов, мы, вероятно, сможем определить лучших кандидатов на генетическое спасение среди тех, кто подвергается опасности. Наступит ли такое будущее, нам еще предстоит узнать, но если это произойдет, конвергентная эволюция наверняка сыграет здесь важную роль.

⁶⁵ Кластерные короткие палиндромные повторы, разделенные регулярными промежутками.

Заключение

Судьба, случай и неизбежность появления человека

Раса нави населяет планету звездной системы Альфа Центавра. Их рост – десять футов, у них длинные хвосты и заостренные уши. Гуманоиды с голубой кожей из фильма «Аватар» делят свой мир с изобильной, биологически разнообразной экосистемой, поразительно напоминающей жизнь здесь, на Земле. Конечно, у некоторых животных иногда встречается лишняя пара ног или морда, как у молотоголовой акулы, но по большей части они похожи на уже знакомых нам существ: леопардов, лошадей, обезьян, птеродактилей, титанотерий, птиц и антилоп. Изобильная растительность^[132] словно взята из амазонских джунглей и настолько сильно напоминает земные растения, что ботаник произвел их классификацию, дав им научные названия. Внимание к деталям и красивые съемки это то, что выделяет «Аватар» среди других фильмов подобного жанра и объяснение, почему картина получила «Оскары» за лучшую режиссуру, операторское мастерство и визуальные эффекты. Но если говорить с точки зрения биологии, то «Аватар» напоминает многие другие фильмы, снятые об иных мирах. В большинстве научно-фантастических картин, где место действия разворачивается на других планетах, от «Звездных войн» до «Стражей Галактики», их создатели населяют свои миры жизненными формами, которые внешним обликом и биологией схожи с теми, что эволюционировали здесь, на Земле.

Даже некоторые самые экзотические виды, такие как внушающие ужас хищники из фильмов «Дюна» и «Чужой», демонстрируют биологию, в которой прослеживаются черты земных видов.

На самом деле единственные по-настоящему отличающиеся киношные формы жизни основаны на биологии совершенно иного сорта, чем на Земле. Вместо углерода, базового природного структурного элемента, основа жизни в этих историях – кремний или даже чистая энергия, а виды создаются из кристаллов, межзвездной протоплазмы или волновой энергии.

Астробиологи считают, что источником внеземной жизни, если она существует, вероятней всего, является кремний. И, следовательно, по своему химическому составу она напоминает жизнь на Земле. Так что давайте сведем наше обсуждение к жизненным формам на основе кремния, которые могут возникнуть на многих похожих на Землю планетах, что, как нам теперь известно, существуют в других местах галактики Млечный путь. Возможно ли, что экосистемы на этих планетах будут населены видами, похожими на те, что существуют на Земле? Следует ли нам ожидать в соответствии с сюжетами большинства фильмов и реальным высказыванием Саймона Конвея Морриса, что «то, что мы наблюдаем здесь, на Земле^[133], как минимум в общих чертах и даже, как я подозреваю, в деталях будет таким же на любой сравнимой с Землей планете»?

Конвей Моррис и другие ученые делают подобные заявления, основываясь на двух аргументах. Во-первых, повсеместность конвергенции здесь предполагает, что естественный отбор, как правило, дает похожее решение проблем, которые ставит окружающая среда. Во-вторых, законы физики универсальны, по крайней мере, в нашей Вселенной, и они диктуют определенные оптимальные пути адаптации к окружению, которые не являются специфичными лишь для нашего мира. Конвей Моррис добавляет третий, более спорный аргумент: отдельные биологические молекулы, которые эволюционировали здесь, на Земле, такие как ДНК, хлорофилл, используемый растениями для фотосинтеза, опсины, молекулы для распознавания света в сетчатке глаза, и гемоглобин, используемый для переноса кислорода в крови, могут оказаться лучшими или одними из самых лучших возможных молекул в системе, использующей основанные на углероде вещества.

Так что нет ничего неправдоподобного в том, утверждают Конвей Моррис и другие ученые, что похожие базовые структурные элементы могут возникнуть и на других планетах.

Я соглашусь, что отдельные примеры конвергенции между внеземными формами жизни и видами, обитающими на Земле, похожи. Любым организмам, где бы они ни были, необходимо получать энергию либо производя ее самостоятельно, либо потребляя из внешних источников. Им потребуются органы восприятия, чтобы определять внешние раздражители. Кому-то понадобится передвигаться.

Земные виды очень хорошо справляются с этими задачами, так что не было бы ничего удивительного, если бы обнаружили параллели на других планетах. Это выглядит особенно убедительно, учитывая, что гравитация, термодинамика, механика текучих сред и другие физические явления применимы повсюду. Организмы, которым нужно быстро передвигаться в плотной среде, будут оптимизировать этот процесс за счет эволюции обтекаемой формы тела. Управляемый полет требует некоторых способов генерирования подъемной силы – крылья в этом смысле подходят идеально. Фокусировка света наиболее эффективно осуществляется с помощью такой камеры, как глаза, эволюционировавшей множество раз в животном мире.

Таким образом, как минимум отдельные параллели между земной и внеземной жизнью, вероятно, существуют, особенно на тех планетах, что максимально похожи на нашу. Подобная конвергенция может быть обострена, если одинаковые молекулярные структурные элементы эволюционируют в других формах жизни. Хотя неясно, до какой степени использование одинаковых молекул влечет за собой фенотипическую конвергенцию.

Несмотря на возникновение отдельных случаев конвергенции, я верю, что внеземная жизнь по большей части будет сильно отличаться от того, что мы наблюдаем на нашей планете. Эволюционные эксперименты и изучение конвергентной эволюции учат нас, что неблизкородственные виды, оказавшись в одинаковых условиях, часто эволюционируют по-разному.

А виды с других планет, несомненно, будут дальними родственниками. Причем формы жизни не только будут эволюционировать с разных исходных точек. Даже если источником жизни является углерод, а генетический код основан на чем-то вроде ДНК, правила наследования и эволюции могут быть совершенно другими.

Возможно, свойства, приобретенные в процессе жизни особи, могут быть переданы потомству. Воссоединение родительских генов, которое происходит в результате полового размножения, может и не произойти или же для одного спаривания могут потребоваться три, десять или сотня особей вместо наших привычных двух. Естественный отбор, как мы знаем, основанный на соперничестве особей одного вида за ограниченные ресурсы, может не работать. Возможно, сотрудничество как между видами, так и в рамках одного вида станет движущей силой эволюции. Разобщенных видов может не быть вообще. Если учесть такие возможные различия в организации жизни, кажется маловероятным, что эволюция последует тем же самым курсом на разных планетах.

А сами планеты будут очень разными. Если бы Рич Ленски был всемогущ⁶⁶, то он бы просто создал десяток планет Земля, поместил их в идентичные Солнечные системы, подождал несколько миллиардов лет, а потом вернулся и посмотрел, насколько жизнь, если она возникнет, похожа или отличается от остальных идентичных ей небесных тел. Но до тех пор, пока Ленски или кто-то другой не придумает, как осуществить этот эксперимент, мы не сможем сравнить, как эволюционировала жизнь на разных планетах (если так в действительности и было).

Мы привыкли думать, что Земля уникальна в своем роде, что ничего подобного ей нигде больше не существует. Теперь мы знаем, что сильно ошибались. Чуть ли не каждую неделю мы слышим сообщение о том, что обнаружена еще одна обитаемая экзопланета. В результате этих

⁶⁶ Насколько мне известно, это не так.

открытый количество таких планет только в нашем уголке Вселенной – в галактике Млечный путь – должно исчисляться миллиардами.

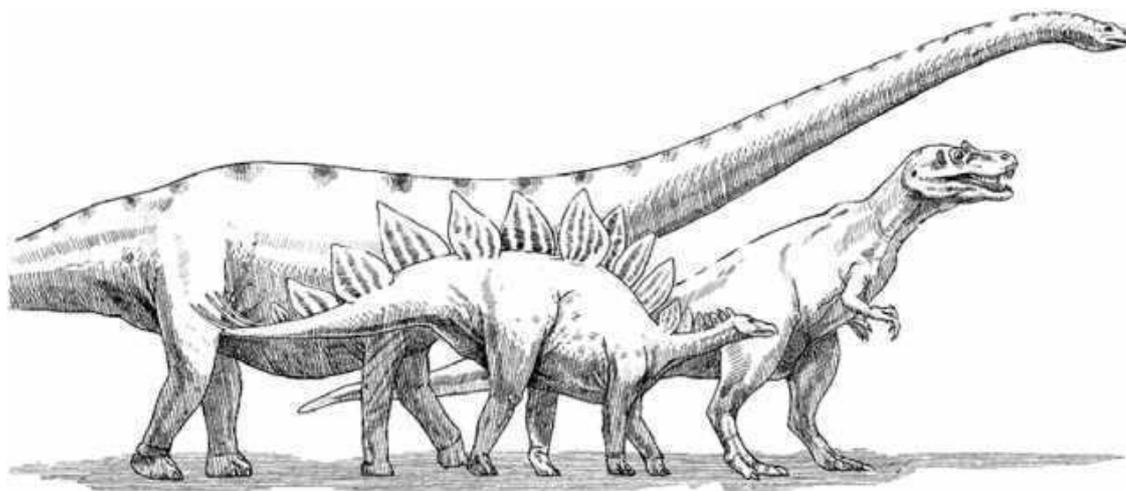
Однако не забывайте о том, что условия, необходимые, чтобы планета считалась обитаемой, довольно многочисленны, но главным критерием является наличие там воды в жидкой форме, что возможно при самом широком выборе температур и условий.

Как следствие эти планеты сильно отличаются друг от друга и всеми другими видами свойств: температурой, составом атмосферы, интенсивностью радиации, гравитацией и геологическим составом. И это всего лишь малая часть списка.

Мы знаем, что популяции, обитающие в разных условиях, как правило, эволюционируют по-разному, даже если они подвергаются в целом одинаковому давлению отбора. И доказательства этого мы имеем благодаря популяциям *E.coli*, колюшки и плодовых мушек, которые обитали в чуть разных условиях. Конечно, сильно различающиеся среды на разных планетах направят эволюцию альтернативными путями.

Но хватит гипотетических рассуждений. Все что нам действительно нужно сделать, это сравнить Новую Зеландию с любым другим местом на земле с тем, чтобы увидеть контрастирующие эволюционные миры и то, как они развивались. Если судить более масштабно, то птицы и млекопитающие не так уж сильно отличаются друг от друга. Они не только созданы из углерода и используют ДНК, те и другие являются позвоночными животными и обладают многими схожими базовыми характеристиками биологического функционирования. И все же фауна Новой Зеландии поразительно отличается от фауны Австралии, Анд, Серенгети и прочих мест. Никто не станет сравнивать Новую Зеландию с любым из этих мест и говорить, что эволюция происходила похожим образом.

Или сравнивать период владычества динозавров: тираннозавров, стегозавров и семидесятитонных завроподов длиной сто футов с сегодняшним миром, населенным слонами, жирафами, кошачьими и питающимися крилем голубыми китами. Возможно, трехрогие динозавры отдаленно напоминают носорогов, а струтиомим – страуса, но по большей части доминирующие животные мезозойской эры разительно отличались от тех, что пришли им на смену.



Хозяева мезозойской эры, не имевшие аналогов ни до, ни после

Если жизнь так по-разному эволюционирует на этой планете, то бессмысленно ожидать, что жизнь на других планетах будет идти параллельно тому, что эволюционировало здесь, на Земле.

Карл Саган хорошо высказался по этому поводу в своем бестселлере «Космос», вышедшем за пять лет до «Этой удивительной жизни» Гулда: «Некоторые люди, к примеру, писа-

тели-фантасты^[134] или деятели культуры, размышляли над тем, какими бы могли быть другие существа. Я скептически отношусь к большинству этих версий о внеземной жизни. Они очень сильно напоминают мне все те формы, которые нам уже знакомы. Любой организм – это продукт целой серии индивидуальных, ни на что не похожих шагов. Не думаю, что жизнь в каких-то других местах очень сильно напоминала бы жизнь рептилии, насекомого или человека».

КАК НАСЧЕТ ИДЕИ о том, что появление людей или кого-то, напоминающего нас, было предопределено ходом эволюции? Конвей Моррис не единственный человек, который высказал подобное предположение, но он был более конкретен, утверждая, что даже если бы астероид не упал, млекопитающие все равно бы распространились по планете, а люди начали бы эволюционировать еще тридцать миллионов лет назад, с момента начала похолодания на земле. Но это заявление противоречит тому, что в действительности произошло в ходе эволюции. Если эволюция людей настолько неизбежное явление, тогда почему это произошло всего однажды?

Вспомним снова империю птиц из Новой Зеландии, что прошла свой собственный эволюционный путь за последние восемьдесят миллионов лет. И где же там гуманоиды? Ближайшим эволюционным родственником-млекопитающим является маленькая, питающаяся червями киви. Австралия, тоже расположенная на геологически отличной эволюционной траектории, начала с млекопитающих, но ближайшим человеку родственником стал напоминающий обезьяну древесный кенгуру, не прославившийся ни умом, ни другими свойственными человеку качествами.

Человекоподобные не появились даже в тех местах, где обитало много приматов. Лемуры, оказавшиеся на Мадагаскаре морским путем более сорока миллионов лет назад, являются примером невероятно успешной эволюции, в результате которой возникло широкое разнообразие видов. Но несмотря на то что они начали активно развиваться еще за десятки миллионов лет до первых гоминидов, лемуры не породили ни одного хоть отдаленно похожего на человека вида. Южная Америка была изолирована от всего остального мира на протяжении почти пятидесяти миллионов лет, до появления Панамского перешейка несколько миллионов лет назад. Обезьяны, которые также оказались там, будучи выброшенными на берег, плыли из Африки, зацепившись за бревно или другую растительность. Это было примерно тридцать шесть миллионов лет назад. Их тоже отличало заметное разнообразие – от крошечных мартышек до долговязых паукообразных обезьян, – но и на этом островном континенте не появилось ни одного представителя гуманоидов.

Дело в том, что мы, люди, являемся штучным эволюционным продуктом – ничего, подобного нам, не возникало никогда и нигде. Повсеместность конвергентной эволюции в целом, похоже, обеспечивает слабую поддержку нашей эволюционной неизбежности.

ДАВАЙТЕ РАССМОТРИМ ВНЕЗЕМНУЮ ЖИЗНЬ с другой точки зрения. «Одни ли мы во Вселенной?» – это один из главных вопросов человечества. Ответ зависит от того, что мы подразумеваем под словом «мы».

Применимо ли это «мы» к жизни на других планетах? Если да, то очевидно, что мы не знаем ответа. Но если учесть те миллиарды обитаемых, похожих на Землю планет, многие ученые считают, что жизнь неизбежно эволюционировала где-то еще и, возможно, много раз.

Допустим, что жизнь возникла и на других планетах. Но будет ли она тогда такой же многоклеточной и сложной, как здесь, или там окажется кучка простых одноклеточных организмов? Жизнь зародилась на Земле почти четыре миллиарда лет назад. Первые организмы были крошечными и состояли из одной клетки, и такое условие продержалось в течение двух с половиной миллиардов лет (плюс-минус несколько сотен миллионов). Но в конечном итоге возникли организмы, состоявшие из множества клеток, причем эволюционировали они мно-

гократно. По самым скромным оценкам, многоклеточность возникала минимум однократно у животных, трижды у грибов, шесть раз у водорослей, включая наземные растения, эволюционировавшие от одного типа зеленых водорослей, и, по крайней мере, трижды у бактерий. По более средним оценкам^[135], итогом являются минимум двадцать пять источников.

Ученые также спорят относительно того, что подразумевается под термином «сложность»: организм, состоящий более чем из одной клетки, совсем необязательно будет намного сложнее одноклеточного существа. Предлагаемые мерил сложности включают ряд различных типов клеток в организме (например, у нас есть мышцы, кожа и многие другие типы клеток), ряд специфических частей, разных типов взаимодействия между различными частями и многое другое. Вне зависимости от того, какое определение используется, сложные свойства однозначно эволюционировали многократно среди обитателей Земли. Эта сильная повторяемость говорит о том, что многоклеточность и сложность – неизбежный итог эволюции жизни, по крайней мере, здесь, на нашей планете. Если жизнь возникла на других подобных планетах, тогда, возможно, мы, земляне, не единственные в своей многоклеточной сложности.

Теперь мы знаем, что интеллект (еще один термин со многими разнородными определениями) эволюционировал конвергентно и многократно не только у наших родственников приматов, но и у широкого ряда других животных.

Слоны, которые помещают коробки^[136] ровно в том месте, где будет удобно встать на них и дотянуться до пищи; вороны, мастерицы приспособления с захватом, чтобы доставать червей из трещин; дельфины, пользующиеся языком символов, чтобы узнать, есть ли в их водоеме какой-то объект. Многие виды с крупным мозгом гораздо умнее, чем мы думали. Даже те виды, которые, как кажется, не обладают особой смекалкой, например ящерицы и рыбы, оказываются способными выполнять непростые осознанные задачи. Наверно, самые удивительные в этом плане осьминоги, которые, несмотря на наличие у них мозга, структурно сильно отличающегося от нашего, смогли разобраться, как отвинчивать крышки баков и использовать скорлупу кокосового ореха, маскируясь им во время передвижения по дну океана.

Некоторые животные, помимо решения проблем, способны на осознание себя как отдельного существа. Обычно это проверяется так: животному ставится отметина, а потом перед ним помещают зеркало. Если животное посмотрит в зеркало и тронет отметину, значит, оно осознано, что смотрит на себя. Мы привыкли считать, что только обезьяны способны на такое самосознание. Но в последние годы тест с зеркалом прошли слоны, дельфины и сороки. Фактически некоторые из этих животных использовали зеркало, чтобы рассмотреть свое ротовое отверстие и другие части тела, которые они обычно не видят. Это четкое доказательство того, что животные осознают себя и проявляют интерес к самим себе.

Таким образом, продвинутые интеллектуальные способности развивались на Земле конвергентно и неоднократно. И если это послужит неким указанием, как может эволюционировать жизнь на других планетах, тогда, возможно, мы – не единственные разумные существа во Вселенной.

Несмотря на конвергентную эволюцию интеллекта и самосознания, ни у одного другого животного не развился интеллект, подобный нашему. И, насколько нам известно, ни у каких других животных не появилось ничего, подобного нашей способности к самонаблюдению и самоанализу. Учитывая этот единственный неконвергентный источник, мы не можем сказать, была ли эволюция нашего интеллекта маловероятной счастливой случайностью или чем-то, что должно было неизбежно случиться. В результате мы не можем предсказать, мог бы на других планетах эволюционировать интеллект, сравнимый с нашим или даже выше нашего.

ДАВАЙТЕ ВЕРНЕМСЯ К ЗЕМЛЕ. И, вспомнив метафору Гулда, прокрутим пленку, но только изменив одну важную деталь: убрав нас. Если бы мы не появились, возникли бы тогда вместо нас другие разумные существа с развитым интеллектом? Конечно, предпосылки – крупный мозг и определенный уровень интеллекта – присутствуют и у других приматов. Как мы видели, близкородственные виды склонны эволюционировать параллельно. Могли ли обезьяны или какие-то другие виды приматов в отсутствие людей занять наше место? Палеоантропологи давно уже обсуждают, что спровоцировало неожиданное и быстрое увеличение размера мозга в нашем роду. Палеонтологические находки свидетельствуют о том, что эволюция бипедализма предшествовала увеличению размера мозга. Завладение новыми средами обитания на открытых участках саванн тоже стало движущим фактором. Мог ли другой примат пойти той же дорогой? Это не выглядит невозможным. Известно, что популяция шимпанзе^[137] в Сенегале обитает в саваннах и пользуется дробилками, охотясь на более мелких приматов. Кроме того, они периодически ходят на двух ногах, хотя анатомически плохо к этому адаптированы. Необязательно вспоминать кадры из картины «Планета обезьян», чтобы представить себе, как у них развивается человеческое сознание.

А как насчет неприматов? Они не являются близкими родственниками людей, а потому их не отличают те наши генетические предрасположенности, которые есть у сенегальских шимпанзе и других приматов. Возможно ли, чтобы у слонов, дельфинов, ворон или осьминогов развился человеческий уровень интеллекта? Не могу сказать, что это невозможно. Все эти виды животных обитали поблизости на протяжении миллионов лет, и никто из них не продемонстрировал ничего подобного. Но если бы прошло достаточно времени, то кто знает?

И, наконец, как насчет динозавра, который бы стал человеком? Прокрутив пленку еще раз, давайте попробуем проверить исходное условие фильма «Хороший динозавр», когда астероид с шипением прошел совсем рядом с Землей и катаклизма не произошло. Велоцираптор, троодон и вся остальная компания, обладающая крупным мозгом, выживают. Куда приведет их эволюция?

Дейл Расселл предполагал, что естественный отбор стал бы поощрять постоянно увеличивающийся рептилоидный мозг. И это привело бы к серии анатомических трансформаций и, в конечном итоге, породило зеленого рептилоида, пугающе похожего на нас с вами. С тех пор, как Расселл опубликовал свой труд, Конвей Моррис и другие ученые цитировали его в качестве подтверждения идеи о том, что подобный человеку вид все равно должен был появиться.

Теперь мы знаем, что одну вещь Расселл понял неверно. В начале 1980-х, когда Расселл опубликовал свой научный труд, палеонтологи продолжали спорить о том, действительно ли птицы эволюционировали от динозавров. Теперь этот спор улажен. Все, за исключением отдельных вольнодумцев, соглашаются с тем, что птицы произошли от группы тероподов, являющихся близкими родственниками велоцираптора и троодона. Сейчас птицы не только считаются ветвью эволюционного древа динозавров, так как новые находки открыли нечто, чему даже намек не было тридцать пять лет назад. Благодаря поразительным находкам окаменелостей в Китае мы теперь знаем, что перья эволюционировали еще у тероподов до того, как один тип тероподов породил птиц. В результате не только птицы, но и многие тероподы, включая даже детенышей тираннозавров, а также троодонов, были покрыты перьями⁶⁷.

Следовательно, описание Расселла требует определенных поправок. Вместо зеленой чешуйчатой кожи мы должны одеть мистера Динозавроида в мантию из перьев и не забыть

⁶⁷ Формально не было обнаружено окаменелостей перьев троодона или тираннозавра, но были найдены окаменелости близкородственных видов, у которых были перья.

придать ему яркий окрас, как у попугая. Теперь уже никто не примет этого симпатичного парня за инопланетянина!

Но важнее внешнего облика была серия трансформаций, предложенная Расселлом, которая из троодона с горизонтальным положением тела – голова и верхняя часть тела наклонена вперед, противовесом служит длинный хвост, все тело балансирует за счет задних ног – сделала прямоходящее существо.

Требовала ли этого в действительности эволюция крупного мозга?

Расселл не дает подробных объяснений, почему он посчитал, что развитие более крупной черепной коробки обязательно требует вертикального положения тела. Даже самые умные птицы – некоторые из них вполне сообразительные и имеют довольно крупный мозг, если сравнивать его с размером тела, – сохранили горизонтальное положение, как у динозавров. А тиранозавр с его огромным черепом не отличался прямохождением.

Критики Расселла настаивают на том, что его точка зрения была слишком антропоцентрической, а его прогнозы основывались, по крайней мере, неосознанно, на том, как эволюционировали люди. «Он сильно зациклен на эволюции человека»^[138], – сказал один палеонтолог. «Чересчур зациклен», – вторил ему другой.

Расселл ожидал подобных возражений и ответил на них в своей работе. Ссылаясь на конвергентную эволюцию (и опередив Конвея Морриса более чем на десятилетие), он утверждал, что если люди эволюционировали единожды, тогда, конечно, резонно ожидать, что некие подобные нам существа эволюционировали повторно. «Если это такое хорошее решение для нас, тогда не так уж сложно представить, что это могло быть хорошим решением и для динозавра», – с чем Конвей Моррис впоследствии согласился^[139]. И все же Расселл признавал, что его идеи были гипотетическими, и завершал свой труд, бросая перчатку: «Мы приглашаем наших коллег^[140] заняться определением альтернативных решений».

Этот вызов не принял никто. Фактически работа Расселла мало обсуждалась в научной литературе. С момента ее публикации в 1982 году в других научных источниках на нее ссылались всего сорок один раз – это примерно один раз в год, что с трудом дотягивает до классической цитируемой научной работы. Более того, большинство этих ссылок присутствовало в консервативных палеонтологических трудах, где обсуждались технические детали анатомии троодона (главный интерес специалистов); а идея о динозавроиде почти не привлекла внимание ученых и не вызвала никакой реакции.

Я узнал об этой работе еще в конце 1980-х и считал ее тайным сокровищем, которое хотел продемонстрировать широкой публике в своей книге.

Но однажды мне пришла в голову мысль, что, возможно, следует залезть в интернет и поискать, нет ли там какого-то упоминания об этой идее Расселла. И там, к моему большому удивлению, я обнаружил целый ряд публикаций в блогах, комментариях, иллюстраций, клипов и интервью. Гипотеза о динозавроиде жила и развивалась в киберпространстве.

Найденный мной онлайнматериал можно разделить на три группы. Первая группа – это лишённые критики рассказы об идее Расселла, простое повторение того, о чем он писал, обычно сопровождаемое рисунками или фотографиями «скульптуры», которую он создал.

Вторая группа обсуждает инопланетную внешность реконструированного Расселлом существа. С зеленой кожей и чешуей, похожий на человека, со слегка странными чертами и несколькими отсутствующими частями, динозавроид кажется воплощением инопланетного существа из научной фантастики. А это, в свою очередь, привело к разным эксцентричным обсуждениям с приведенным там сообщением из сети (явно серьезным) о том, что динозавроид «эволюционировал, породив вид гуманоида^[141], который впоследствии создал культуру, уничтоженную, подобно Атлантиде, вскоре после того, как ее представители начали исследовать границы своего внеземного мира. В этом случае какие-то энлонавты могут быть потомками

тех выживших представителей рептилоидной культуры, **ВЕРНУВШИМИСЯ** из своей космической колонии, чтобы отслеживать сегодняшние доминирующие виды на своей **ДОМАШНЕЙ** планете».

Среди всей этой чепухи^[142] была и третья группа реакций, сформированная рядом палеонтологов и любителей динозавров, которые приняли идею существования динозавроида всерьез, критикуя данную гипотезу и предлагая альтернативный сценарий, как и хотел Расселл. Эти авторы высказывают знакомую точку зрения: изначально отличные друг от друга виды не пойдут по одинаковому эволюционному пути, реагируя на одинаковое давление отбора.

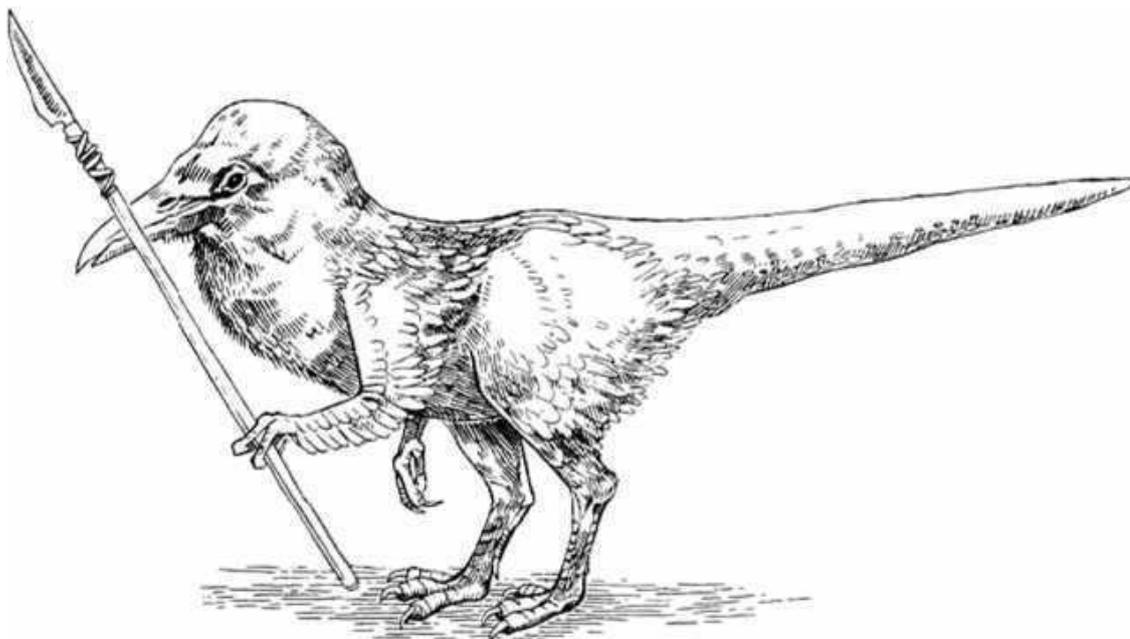
Давайте вспомним, как мы пришли к тому, где мы сейчас. Наши ближайшие родственники – это обезьяны: гориллы, шимпанзе, орангутаны и гиббоны. Ни у одного из этих видов нет хвоста.

Чтобы найти своего хвостатого предка, придется погрузиться глубоко в нашу эволюционную историю, обратившись к тому моменту, когда обезьяно-человеческий род свернул с пути развития обезьян Старого Света примерно двадцать два миллиона лет назад. Только после того как наши предки потеряли хвосты, они начали ходить на двух ногах. Следовательно, неудивительно, что у нас сформировалось прямохождение, при котором крупная голова балансировала строго над телом: у нас не было никакого хвостового отростка, который бы мог служить противовесом. Если бы мы не приняли полностью вертикального положения, мы бы всегда наклонялись вперед, чтобы удерживать баланс тела.

Теперь представьте себе голубя, идущего по тротуару. Он тоже ходит на двух лапах, но голова вынесена вперед, а положение тела горизонтальное, а не вертикальное. Лапы расположены подобно оси вращения детских качелей, так, чтобы птица не заваливалась ни вперед, ни назад. Увеличьте голубя примерно до трех футов в высоту, добавьте ему зубы, замените крылья руками, совершите еще несколько манипуляций – и вы получите троодона.

Давайте предположим, что естественный отбор поощряет развитие у троодона более крупного мозга, а значит, и более крупной головы. Для двуногого животного, не имеющего хвоста, вертикальное положение тела будет явно наиболее эффективным. Но для вида, который уже использует хвост для баланса передней части тела, более легким эволюционным путем будет появление тяжелого хвоста.

Это вовсе не означает, что сценарий Дэйла Расселла невозможен: эволюция, вполне вероятно, могла пойти и в этом направлении. Но нет причины ожидать, что сценарий того, как бесхвостые обезьяны превратились в людей, будет применим к совсем другому предку с другими анатомическими характеристиками.



Новый образ динозавроида

На основе этой точки зрения было предложено несколько альтернатив динозавроиду. И хоть они варьируются в деталях, все эти варианты имеют одно главное объединяющее начало: вместо внешности рептилии – инопланетянина из научнофантастического фильма мы видим крупное, похожее на птицу животное с большим мозгом.

Украшенные перьями, возможно, пользующиеся клювом в дополнение или вместо рук, чтобы совершать манипуляции с предметами, эти потомки динозавров с высоким уровнем интеллекта расхаживают вокруг подобно белым цаплям или воронам. Тело расположено горизонтально относительно поверхности земли, хвост удерживает в равновесии крупную голову, а в руке или в клюве – орудие.

У нас нет возможности узнать, могла ли эволюция пойти по этому пути. Но один вывод, похожий, очевиден: если бы динозавры выжили, совсем необязательно, что сегодня их потомки – даже самые умные – хоть чем-то напоминали бы нас. Большого размера курица с крупным мозгом, вероятно, была бы ближе к цели.

НЕДАВНО Я УЗНАЛ о существовании одного из самых невероятных секретных агентов. Как поется про него в песенке – «активное околородное млекопитающее, откладывающее яйца». Перри-Утконос пресекает попытки чужаков захватить его среду обитания, представляющую собой три разных штата⁶⁸.

Чирково-голубой с оранжевым клювом и лапами, в своей фирменной коричневой фетровой шляпе Перри-Утконос – тайный агент ОБКА, очаровательный, остроумный и владеющий продвинутыми приемами джиу-джитсу, также вооружен арсеналом самой последней техники и пилотирует летающий утконосомобиль.

Надо признать, что мультсериал «Финес и Ферб», который шел по каналу «Дисней» четыре сезона, позволил себе со своей пушистой звездой некоторые вольности в плане биологии. В конце концов, у взрослых утконосов нет зубов, и они не ходят на двух ногах, и не производят дребезжащего раскатистого шума, который приводит представительниц женского пола в дикий восторг. И все же сериал принес заслуженное признание этому удивительному виду животного, с которым познакомилось целое поколение детей. Его создатели позволили

⁶⁸ Это место никогда ранее не уточнялось, но, очевидно, оно расположено где-то вблизи Денвера.

себе даже превозносить некоторые из многочисленных адаптаций утконоса, включая его густой мех, сильный хвост, перепончатые лапы и, конечно, клюв. И хоть ему приклеили ярлык «примитивного животного», так как он один из немногих млекопитающих, которые откладывают яйца, утконос зачастую не оценивается должным образом. Когда я смотрел этот мультсериал, я вдруг понял, что Перри должен был бы очень гордиться собой и своим родом.

А это, в свою очередь, заставило меня задуматься о том, какие еще мысли могли посещать голову тайного агента Перри.

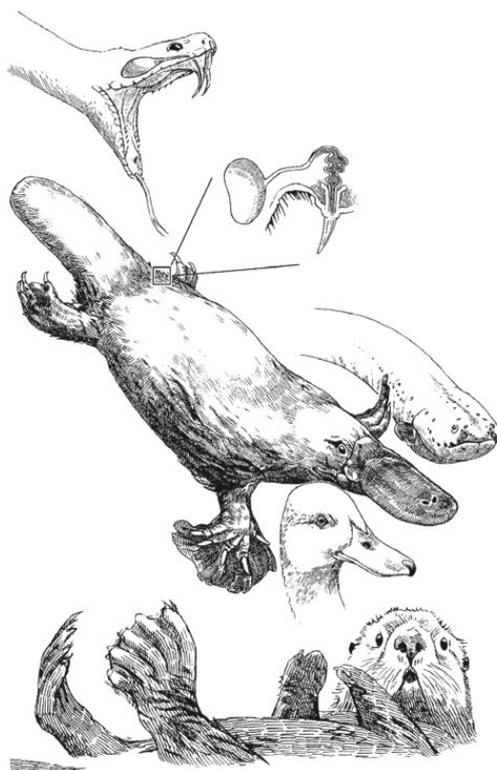
Лично я, наблюдая за его деятельностью, не смог понять, насколько он склонен к самоанализу. Но допустил возможность, что в свободное от своей важной работы время он успевает погрузиться в глубокие мысли, и одним из таких размышлений могло бы быть обдумывание вероятности жизни утконосида на других планетах. А почему бы нет? Утконосы – уникальные животные, а с точки зрения Перри, они, несомненно, вершина эволюционного процесса. И было бы вполне естественным для вдумчивого утконоса поинтересоваться тем, является ли *ornithorhynchus anatinus* единственным во Вселенной.

Кто-то возразит, что это просто смешно. Утконосы – вершина? С их маленьким мозгом и отсутствием речи? Утконосы – это всего лишь второстепенное событие, промежуточная станция на пути к апогею эволюции – к нам. В конце концов, мы – истинная вершина с нашим крупным мозгом и сознанием и прочим.

Но, конечно, данная точка зрения крайне антропоцентрична. У нас есть свои достоинства, поймите меня правильно. Но они есть и у утконоса.

А вообще давайте поговорим о клюве.

Внешне похожий на клюв утки (отсюда и название), кожистый нос утконоса покрыт десятками тысяч мельчайших рецепторов. Шестьдесят тысяч рецепторов необычайно чувствительны к прикосновению и способны определять изменения в давлении воды, производимой взмахом рыбьего плавника. Но у других сорока тысяч рецепторов иное назначение.



Утконос, уникальный эволюционный продукт, представляющий собой смешение частей тела, конвергентных частям тела других видов

В течение долгого времени было тайной, как утконос находит пищу. Когда утконос входит в воду, он закрывает глаза, уши и рот. И несмотря на потерю этих органов восприятия, он способен ловить и съесть каждый вечер речных раков объемом в половину своего веса. Он действительно проводит часть времени, рыская в русле реки своим клювом, совсем как утка. Но это неэффективный способ поиска добычи. Намек появляется, когда видишь, как утконос плавает в воде, голова и клюв ходят взад-вперед безостановочно. Эти наблюдения заставили австралийского натуралиста Гарри Баррелла^[143] в начале XX века выдвинуть гипотезу о том, что у утконоса имеется какой-то шестой орган чувств. Природа этой дополнительной способности была раскрыта в 1980-х командой немцев и австралийцев, которые обнаружили, что утконос мог находить батарейку, испускающую слабый электрический разряд, даже когда она была спрятана на дне водоема. Дальнейшие исследования подтвердили данный факт: благодаря электрорецепторам, расположенным на клюве, утконосы способны точно определять местонахождение своей жертвы, ощущая испускаемые ею во время движения крошечные электрические импульсы. А учитывая также их способность чувствовать своими сенсорными рецепторами водные течения и другие движения, утконосы, по сути, «видят» мир в виде тактильных и электрических импульсов^[144].

Так что утконосы так же уникальны^[145] в своем роде, как и мы. Так почему бы тогда не задаться вопросом о существовании где-то утконосоидов?

К сожалению, вариант с утконосоидами, живущими на других планетах, такой же надуманный, как и случай с инопланетными гуманоидами. Утконос тоже является эволюционным штучным товаром, появившимся только в Австралии⁶⁹.

Тот факт, что, несмотря на наличие похожих условий обитания, на других материках не появилось ни одного млекопитающего, похожего на утконоса, не позволяет нам утверждать, что образ жизни утконоса представляет собой высшую форму адаптации к речной среде обитания – ту, к которой бы неизбежно должен был стремиться естественный отбор. А потому хоть существование межгалактических утконосов было бы удивительным событием, я не вижу причины ставить их в верхние строчки нашего списка ожидаемых представителей внеземной цивилизации. Утконос, как и люди, попадает строго в категорию контингентных, непараллельных видов, эволюционировавших только в одном месте и больше нигде.

Но даже несмотря на то что эволюция не породила двойников утконосов, род Перри можно назвать бриллиантом в короне конвергентной эволюции, так как каждая часть тела утконоса имеет параллели в каком-то другом организме. Кто обвинит первых английских ученых в том, что они считали его подделкой, ловко сделанной кем-то из разнородных животных? Да, в действительности все так и есть: клюв у него от утки, перепончатые пятипалые лапы – от выдры, водонепроницаемый мех – от морской выдры⁷⁰, толстый хвост чем-то напоминает хвост бобра. Даже его электрорецепторы имеют параллели с электрическими угрями и другими видами рыб, гвианским дельфином и определенным видом саламандры. И хотя ни у одного другого животного нет на лодыжке шпоры с ядом, как у утконоса, анатомия данной структуры конвергентна ядовитому зубу гремучей змеи: оба представляют собой полые трубки, прикрепленные к ядовитым железам мышцами, которые сжимают железу, выдавливая яд из шпоры или зуба прямо в жертву. Так что утконос парадоксальным образом является одновременно и

⁶⁹ Несколько коренных зубов возрастом шестьдесят миллионов лет, найденных в Аргентине, наводят на мысль о том, что древние родственники утконоса когда-то жили в Южной Америке: вероятно, это стало результатом гондванского объединения двух материков.

⁷⁰ Мех настолько густой, что утконосы способны плавать в почти замерзающей воде, практически не растрчивая тепла своего тела.

образцом для подражания, и браком конвергенции – эволюционно уникальным продуктом, но составленным из конвергентных признаков.

Утконос не одинок в своей неопределенности.

Мы, люди, тоже являемся штучным эволюционным товаром, обладая многими признаками, независимо эволюционировавшими в других родственных линиях, включая:

- бипедализм, который присутствует у птиц и их родственников тероподов, кенгуру и прыгающих грызунов, не говоря уже о многочисленных животных, которые периодически ходят на двух лапах, таких как шимпанзе, панголины, ящерицы и тараканы;

- уменьшенный волосяной покров, признак, который демонстрируют многие млекопитающие, причем некоторые почти лишены его, в особенности те, что живут в теплом климате или имеют слой подкожного жира, включая китов, бегемотов, свиней, слонов, тюленей и кротов.

- отстоящие большие пальцы, которые есть у наших родственников приматов, но также имеются у опоссумов, коал, некоторых грызунов и древесных лягушек;

- бинокулярное зрение, крупные, обращенные вперед глаза – еще одно свойство всех приматов, но эволюционировавшее независимо у многих хищных и ведущих ночной образ жизни видов, таких как кошки, совы и бронзовые змеи.

У других эволюционных уникалов есть свои собственные конвергентные признаки. Так, к примеру, у киви есть похожие на шерсть перья и жесткие усы, как у млекопитающего. Ряд других свойств, которые редки или уникальны среди птиц, распространены у других видов позвоночных, включая кости с костным мозгом, ноздри на кончике носа и превосходное обоняние.

Хамелеоны тоже единственны в своем роде. Вы не найдете другого существа, похожего на этих цепких, с выстреливающим языком ящериц, глаза которых вращаются вразнобой, обеспечивая круговой обзор, а пальцы противостоят друг другу, что помогает лучше цепляться за узкие поверхности. Но каждое из этих свойств конвергентно свойству другого вида животного: некоторые виды саламандр также выстреливают языками; у многих древесных видов имеются цепляющиеся хвосты (например, у определенных обезьян, муравьедов, ящериц, поссумов и морских коньков); у рыбы песчанки глаза тоже вращаются независимо друг от друга; а у отдельных видов птиц и сумчатых примерно похожее расположение пальцев.

Так что, возможно, мы недооцениваем конвергенцию. Пусть мы и уникальны в своем роде – киви, утконосы, хамелеоны, люди, – но многие части нашего тела конвергентно эволюционировали в других организмах.

Другими словами, здесь, на Земле, у разных видов периодически эволюционируют похожие свойства как реакция на схожие условия обитания. Поэтому даже если гуманоиду или утконосоиду (или хамелеоноиду, или кивиоиду) не суждено появиться где-то в другом месте, это не значит, что представители внеземной цивилизации будут выглядеть совершенно по-другому. Такой инопланетянин может быть даже гибридом, похожим чем-то на утконоса и состоящим из многих разных частей, позаимствованных у различных обитателей планеты Земля.

ВЕЛИКИЙ ЭВОЛЮЦИОННЫЙ БИОЛОГ Эдвард О. Уилсон^[146] размышлял о биологии представителей внеземной цивилизации, способных создать такую же развитую цивилизацию, как и у нас. Его предсказания, основанные на том, что мы знаем об эволюции на Земле, выглядят следующим образом.

- Эти существа будут жить на суше, так как развитие технологий потребует научиться использовать транспортируемую форму энергии, такую как огонь.

- Они будут крупными, потому что крупный мозг необходим для возникновения нейронных связей – неотъемлемого условия функционирования высокого интеллекта.

- Они будут полагаться на зрительные и слуховые системы в качестве средств коммуникации, потому что это самые эффективные способы передачи сигналов на дальние расстояния.

- У них должна быть голова, укрепленная на теле спереди. Голова должна быть крупной, чтобы вмещать крупный мозг, а также органы чувств, используемые для изучения окружающей местности.

- Они должны иметь челюсти и зубы, чтобы добывать пищу, но не очень большие. Социальное взаимодействие, необходимое для развития продвинутой цивилизации, гарантирует, что добыча пищи и защита от врагов будут осуществляться на основе взаимопомощи и интеллекта, а не просто за счет грубой силы.

- У них будет маленькое количество конечностей или других отростков и, по крайней мере, одна пара конечностей или отростков с мягкими кончиками для чувствительных прикосновений и различных манипуляций.

И хотя эти установки гораздо менее специфичны, чем те, что перечислял Дэйл Расселл, в своей дискуссии многие пользователи, вероятно, достигнут того же уровня критики: список слишком ограниченный и слишком привязан к тому, что в действительности эволюционировало здесь, на Земле. В защиту Уилсона скажу, что это явно была его начальная точка зрения, выводы, сделанные на основе эволюционной истории нашей планеты.

Но давайте отложим в сторону все эти критические замечания и оценим предположения Уилсона без прикрас. Это, несомненно, здравые предсказания относительно того, какими могут быть технологически подкованные виды, представляющие внеземные цивилизации. И данные прогнозы в действительности не слишком ограниченные. В этих рамках внеземные виды могут быть двуногими прямоходящими существами с крупной головой, двумя глазами, маленьким ртом с маленькими зубами, парой отростков по обеим сторонам верхней части тела и тонкими волосками на круглой голове. Или у них могут быть восемь сочлененных отростков, шесть из которых используются для движения, а передние два еще с семью более чувствительными удлиненными отростками на конце. Или шесть огромных, похожих по форме на блюдца отверстий, расположенных по всей голове, которые определяют звук. А сверху на голове будет прикреплен вращающийся стебель с тремя крупными глазами, расположенными в виде треугольника. Другими словами, даже с таким земным представлением Уилсона о внеземной эволюции конечный результат может быть либо очень похожим на то, что происходит на Земле, либо полностью отличаться.

И это подводит меня к более широкому обобщению. Должны ли мы ориентироваться на земную жизнь, чтобы предсказать, какой она могла бы быть где-то еще?

Что касается меня, то я совсем не уверен, что жизнь на Земле раскрыла все или почти все мыслимые способы существования на планете, подобной нашей.

Есть ли причина для того, чтобы похожий на растение организм – тот, что получает энергию напрямую от солнца или в процессе какой-то химической реакции, – не мог бы передвигаться, получив для этого конечности или приобретя какой-то иной способ перемещения в пространстве? И если так все и было, то не потребует ли это наличия нервной системы, которая в конечном итоге может привести к эволюции интеллекта?

И кто сказал, что наличие конечностей обязательно для передвижения? осьминоги и кальмары перемещаются за счет своеобразного водометного движителя, выталкивая воду через воронку в противоположном направлении, чтобы проталкивать себя вперед. В некоторых атмосферах такой способ перемещения мог бы быть крайне эффективным.

Давайте вспомним те причудливые формы жизни, что населяют сланцы Берджесс. Хищники с пятью глазами и клешней на патрубке, свисающем с переднего конца туловища; похожие на червей трубки на извивающихся ногах с рядами шипов на спине; плавающий пластырь с ротовым отверстием на нижней части тела или перевернутые половинки сосновых шишек. Эти животные реально существовали. И кто скажет, что какие-то виды, подобные им, не могли стать предками современных экосистем на других планетах? И если так, тогда как бы выглядела сегодня жизнь на этих планетах?

В КОНЕЧНОМ ИТОГЕ МЫ ЗНАЕМ, что процесс эволюции не хаотичен и не случаен. Естественный отбор ограничивает пути эволюции видов, часто заставляя их адаптироваться похожим образом, сталкиваясь с одинаковыми условиями обитания. В отдельных случаях существуют единственные, лучшие с точки зрения биологии решения проблем, поставленных средой обитания. И в большинстве случаев эти оптимальные решения принимаются повторно. Более того, родственные виды имеют много общего во всех аспектах своей биологии – в их генетических схожестях и в том, как они развивают особенно важные свойства. Эти схожести также склоняют близких родственников к тому, чтобы следовать одинаковым эволюционным курсом.

Как следствие, конвергентная эволюция обычно становится результатом объединения ограниченного числа оптимальных решений и общих схожестей в генетике, развитии и экологии, подталкивая процесс адаптации в одном направлении.

Однако мир биологических возможностей зачастую обширен, и даже учитывая тот уклон, который задан естественным отбором, генетикой и развитием организма, набор эволюционно реализуемых конечных результатов может быть велик. А потому эволюция часто идет своим собственным курсом. Это особенно верно в тех случаях, когда эволюция начинается с разных начальных точек с различными генами и системами развития. Но даже при наличии одного исходного предкового рода и одинаковых условий обитания итог может быть различным. Эволюция повторяет себя иногда, но чаще всего – нет.

Так можем ли мы предсказать эволюцию? В рамках короткого периода – да, до определенной степени. Но чем длиннее промежуток времени и чем больше отличаются предки или условия, тем менее вероятно, что мы сможем дать успешный прогноз. Динозавроид? Не думаю. Перри-Утконос? Как это ни печально, тоже нет. Было ли нам изначально суждено оказаться там, где мы есть? Вряд ли.

Если бы любое из бесчисленного количества событий в прошлом произошло бы иначе, то хомо сапиенса бы не было. Неизбежность нашего появления весьма сомнительна, нам скорее повезло, что мы здесь, что события сложились таким счастливым для нас образом. Да, конечно, были астероиды. Но какие другие события сыграли ключевую роль в том, что эволюция благоприятствовала нам? Кто знает, какое самое незначительное событие в прошлом – упавшее дерево или лесной пожар, или мутация – могло пресечь возможность нашего появления в будущем?

С другой стороны, быть может, если бы последовательность исторических событий была иной, то двойники гуманоидов появились бы на Земле в изобилии. Возможно, мир был бы населен сумчатыми людьми или людьми-лемурами, людьми-медведями, людьми-воронами и даже людьми-ящерицами. Представьте себе Организацию Объединенных Наций, но так, чтобы каждый ее представитель относился к разной эволюционной ветви. И такое могло быть.

Если бы мы имели возможность наблюдать зарождение жизни несколько миллиардов лет назад, то любой конкретный эволюционный итог показался бы нам неправдоподобным. Но все случилось так, как случилось, и вот к чему мы пришли – результат миллиардов лет естественного отбора и удачных поворотов истории, которые направили жизнь тем, а не иным путем. Счастливым случай? Да. Неизбежность? Нет. А потому мы должны извлечь максимум из нашего эволюционного подарка судьбы.

Благодарности

Я глубоко благодарен огромному числу друзей, коллег и родных, которые помогли мне все те три года, что я работал над этой книгой. Многие люди подсказывали мне ответы на самые разные вопросы, большие и маленькие. Особенно я благодарен тем, к кому я приставал постоянно, заставляя их иногда оценить то, что написал. Это Роуэн Барретт, Зак Блаунт, Фред Коэн, Тим Купер, Джон Эндлер, Марк Джонсон, Рис Кассен, Крейг Маклин, Расмус Марвиг, Пол Рейни, Дэвид Резник, Дольф Шлутер, Рой Снейдон, Брюс Табашник, Майкл Травизано и Нэш Терли. Также я говорю спасибо многим другим людям, снабжавшим меня нужной информацией и дававшим мне советы: Элдриджу Адамсу, Анураг Аграваль, Крису Хэмлину Андрусу, Спенсеру Барретту, Дэну Блэкберну, Крису Борленду, Ангусу Баклингу, Молли Берк, Тодду Кемпбеллу, Скотту Кэроллу, Гэри Карвальо, Сатоши Чибо, Ке Донг, Мику Кроули, Стюарту Дэйвису, Чаку Дэйвису, Дугу Эрвину, Скотту Эдвардсу, Махе Фархат, Чарльзу Фоксу, Гонзало Джирибету, Педро Гомез Лопез, Билли Гулду, Венди Холл, Крису Хэмлину, Маршалу Хедину, Эндрю Хендри, Дэвиду Хиллису, Хопи Хёкстра, Нине Яблонски, Джорджу Джонсону, Лео Джозефу, Бетул Кацар, Рику Ланкау, Тами Либерман, Эдриану Листеру, Тиму Лоу, Зе-Кси Луо, Энди Макдональду, Блю Магрудер, Джордану Маллуну, Грегу Мэйеру, Алексу Мейеру, Марку Моффетту, Лоретте О'Брайен, Марку Олсону, Стерлингу Несбитту, Майку Палмеру, Дельфин Пикард, Грегори Прибу, Питеру Рейвену, Диане Реннисон, Роберту Риклефсу, Саре Руэйн, Эрику Рубину, Дову Саксу, Тому Шёнеру, Филу Сервису, Сьюзан Сингер, Расселлу Слейтеру, Мортен Соммер, Дэвиду Спиллеру, Джонатану Сторки, Йоэлу Стюарту, Дугу Суэйну, Корине Тарните, Хенрику Теотонио, Эрдалу Топраку, Кену Веберу и Эндрю Уайтхеду. Кроме того, в ряде случаев я оставлял посты на Фейсбуке с просьбой привести те или иные примеры и получил десятки отличных вариантов от обширного числа друзей Фейсбука – спасибо всем, кто отозвался. Огромная благодарность сотрудникам гарвардской библиотеки Эрнста Мейера (Ронни Бродфут, Конни Ринальдо, Дороти Барр и особенно Мэри Сирс), а также сотрудникам библиотеки Олина Вашингтонского университета за помощь в поиске редких ссылок. Я также бесконечно благодарен Джареду Хьюзу за его многоплановую помощь. Много самых искренних слов благодарности хочется выразить тем, кто вычитывал черновой вариант, состоящий из множества глав, или даже всю книгу. Люди делали все возможное и невозможное. Отдельное спасибо Алану Баркеру, Фрэнку Грэйди, Гарри Грину, Венди Холл, Амбике Камат, Энди Кноллу, Кэролин Лосос, Джозефу Лосос, Энн Манделыштам, Марку Менджелу, Ирвину Шапиро и Майку Уитлоку. Я также благодарен Дэвиду Резнику и Коди Лейн за то, что поспособствовали организации моей поездки в Тринидад.

Нейл Шубин, Дэн Либерман, Николас Давидофф и особенно Дуг Эмлен давали мне бесценные советы относительно процесса написания книги. Макс Брокман, мой литературный агент, прекрасно организовал весь процесс, а Кортни Янг, мой редактор, осуществила фантастическую работу, превратив написанное мною в нечто гораздо лучшее. Я также говорю спасибо Кевину Мерфи, Александре Гуиллен, Марте Кэмерон, Джоэлу Брюклэндеру и всей остальной команде «Риверхэд Букс» за помощь в превращении моей рукописи в книгу. Дуг Тусс и Эмили Хэррингтон проделали удивительную работу по созданию основы для иллюстративной программы, а иллюстрации Марлина Питерсона превосходны и блестяще выполнены в самое короткое время.

И, наконец, я благодарю своих родителей, Кэролин и Джозефа Лосос за ту поддержку, которую они оказывают мне на протяжении всей моей жизни, но особенно за неподдельный интерес, проявленный ими к данному проекту. И мою любимую жену Мелиссу за разного рода советы и помощь, за то, что ей никогда не было скучно, когда я увлеченно болтал о том или ином только что узнанном факте, и за то, что терпела меня на протяжении всего этого процесса.



Об иллюстраторе

Марлин – профессиональный иллюстратор, который обожает пинг-понг и животных. Особенно ему нравятся животные из кенозойской эры, и он уверен, что паукообразные не получили достойной оценки, которую они заслуживают. Он является художественным руководителем в Уэнатчи Вэлли колледже, где преподает геологический и научный рисунок. Когда он не возится в своем саду, то работает в составе различных комитетов или обдумывает очередной троплей настенной живописи. Его творчество представлено в различных формах традиционных и электронных медиа, и он находит способы позаниматься всем.

Чтобы познакомиться с другими его проектами, зайдите на сайт marlinpeterson.com

Создатели книги «Невероятные судьбы» спешат выразить свою благодарность широкому кругу лиц. Марлин скрупулезно и с удовольствием изучал и рисовал всех тех многочисленных животных, иллюстрации которых представлены в данной книге. И мы благодарим Джонатана за его внимание к деталям, его многочисленные комментарии и предложения и восхитительные картинки к этой книге.

Благодарность переполняет меня, с бесконечной любовью к Кристин и Чесс.

Примечания

В данном разделе представлены примечания и дополнительная информация по нескольким вопросам. Примечаний здесь не слишком много: большинство тем подкреплены одной или двумя научными работами, в которых раскрывается та или иная проблема. Большинство примеров, обсуждаемых в данной книге (например, эволюция гуппи, анолисов и пяденицы березовой, а также долгосрочный эволюционный эксперимент Рича Ленски), очень подробно дискутируются онлайн. Я привожу те отдельные научные работы, которые упоминаются в книге, а также те работы, которые непосредственно цитируются.

Вступление ХОРОШИЙ ДИНОЗАВР

¹ 16 длинношеих бронтозавров: Чопп И., Матеус О., Бенсон Р. Б. Филогенетический анализ на уровне образца и исследование таксонов диплодоков (Динозавры, завроподы). *Peer J* 3: e857. – 2015.

² 19 «появление... обезьяноподобных млекопитающих»: Моррис, К. Решение жизни: Неизбежность появления людей в одинокой Вселенной. «Кембридж Университи Пресс», 2013. – С. 22.

³ 20 Канадский палеонтолог Дэйл Расселл: Расселл Д. Э., Сегуин Р. Реконструкции мелких тероподов мелового периода *Stenonychosaurus inequalis* и гипотетического динозавроида. *Sylogus* 37:1–43. – 1982.

⁴ 22 Моррис даже появился в документальном фильме Би-би-си: «Мой питомец динозавр», эпизод сериала «Горизонты», вышедший в эфир 13 марта 2007 г. http://www.youtube.com/watch?v=rmaLa_60_Qg.

⁵ 22 Всего в четырех световых годах от нас: Овербай, Д. Галактика испещрена далекими планетами, похожими на Землю. «Нью-Йорк Таймс». 4 ноября 2013 г.; «Ближайшие цели». «The Economist». 27 августа 2016 г.

⁶ 23 Если бы нам удалось пообщаться: Бьери, Р. Гуманоиды на других планетах? «American Scientist». 52: 452–458. 1964. – С. 457.

⁷ 23 Дэвид Гринспун: Гринспун, Д. Одинокие планеты: Натурфилософия внеземной жизни. – Нью-Йорк: «Харпер Коллинз», 2003. – С. 272–273.

⁸ 23 Не удивительно, что Конвей Моррис соглашается. Моррис, К. «Решение жизни...» – С. 328.

⁹ 28 Генетические исследования, начавшиеся в 1980-х годах: Сайбли К., Ахлквист Д. Филогенез и классификация птиц: Изучение молекулярной эволюции. – Нью-Хейвен: «Йель университет Пресс», 1990; Баркер Ф. К. и др. Филогенез и разнообразие крупнейшей птичьей радиации. // Труды Национальной Академии наук США 101: 11040–11045. – 2004.

¹⁰ 29 И далее он рассуждает о том. Макги, Г. Конвергентная эволюция: ограниченные формы самые красивые. – Кембридж «МТИ Пресс», 2011. – С. 272.

¹¹ 29 Конвей Моррис соглашается: П. Галлахер. 2015. «Забудь о маленьких зеленых человечках – инопланетяне будут выглядеть, как люди», – говорит специалист по эволюции из Кембриджского университета. «Independent», 1 июля 2015 г.

¹² 32 И, переходя к самой животрепещущей теме: С. Д. Гулд. Удивительная жизнь: сланцы Берджесс и естествознание. Нью-Йорк: В. В. Нортон. 1989. – С. 289.

¹³ 33 Однако полемизируя: Моррис К., Гулд С.Д. Столкновение мнений по сланцам Берджесс. *Естествознание*: 107(10): 48–55. 1998.

¹⁴ 33 Ничего подобного больше не существует: Хеннберг М. / Хеннберг М., Ламберт К. М., Лей К. М. Гомоплазия у коал и людей. *Естествознание*. 1:4.1997.

Глава первая: ЭВОЛЮЦИОННОЕ ДЕЖАВЮ

¹⁵ 44 В 2013 году команда из ШриЛанки: К. Д. Укувела и др. «Доказательства на молекулярном уровне, что смертельно опасная морская змея *Enhydrina schistose* включает два конвергентных вида». «Молекулярная филогенетика и эволюция» 66: 262–269.2013.

¹⁶ 46 В статье, опубликованной в 2014 году: Ф. Денойд и др. Геном кофе позволяет понять конвергентную эволюцию биосинтеза кофеина. *Science* 345: 1181–1184.2014.

¹⁷ 54 потому что нас бы здесь не было: Д. Эрвин. «Повторное прочтение «Удивительной жизни»: Случай и контингентность в эдиакарийско-кембрийской радиации». 2016. Рэмси Д., Пенс Ч. Фактор случайности в эволюции. Чикаго: «Чикаго юниверсити Пресс», 2016. – С. 277–298.

¹⁸ 54 Данный факт Гулд признавал: Моррис, К. Кембрийское многоклеточное животное *Wiwaxia corrugate* из сланцев Берджес и *Ogygopsis*. 1985. – С. 572. Британская Колумбия, Канада. «Философские труды Королевского общества Лондона» В 307: 507–582.

¹⁹ 55 Более того, благодаря проведенным анализам: формально данный анализ ограничивался членистоногими, беспозвоночными с сочлененными лапами, такими как пауки, крабы и насекомые. Многие, но не все, из самых интересных видов сланцев Берджес – это членистоногие. Бриггс Д., Форти Р., Уиллс М. Морфологический дисбаланс в кембрийскую эпоху. *Science* 256: 1670–1673.1992; Фут М., Гулд С.Д. Морфологический дисбаланс в кембрийскую эпоху и в современное время. *Science* 258: 1816.1992.

²⁰ 56 Один из его коллег высказал предположение: Боулер П. Критика толкования Гулдом находок в сланцах Берджес. «*American Scientist*» 86: 472–475.1998.

²¹ 56 Другой же ученый предположил, что Конвей Моррис: Форти Б. 1998. *London Review of Books*, 1 октября 1998. 1998. – С. 24–25.

²² 57 В нашей с ним беседе: Эти мысли Конвей Моррис выразил в своей рецензии на гулдовскую книгу «Молодец, бронтозавр!» Конвей Моррис, С. Прокручивая пленку. «Литературное приложение Таймс» 4628 (Лондон), 13 декабря 1991: 6.1991.

²³ 57 «Эволюционная конвергенция абсолютно повсеместна»: Галлахер. «Забудь про маленьких зеленых человечков».

²⁴ 62 Конвей Моррис говорил: источник тот же.

²⁵ 63 Конвергенция распространяется даже на плаценту: Блэкберн Д.Г., Флеминг Э.Ф. Инвазивная имплантация и плацентарные связи у африканской ящерицы *Trachylepis ivensi*. Журнал «Морфология» 273: 137–159. 2012.

²⁶ 67 Но примечательным данный случай конвергентности делает: Моррис, К. Руны эволюции: Как Вселенная приобрела самосознание. Западный Коншохокен. «Темплтон Пресс». 2014.

²⁷ 68 Вопрос адаптивной значимости вариативности: Более подробную информацию по эволюции цвета кожи вы найдете в работе Н. Яблонски «Живой цвет: Биологическая и социальная значимость цвета кожи». Беркли: «Юниверсити оф Калифорния Пресс», 2012.

²⁸ 70 Вместе с коровами: «Есть лактаза?» «Понимание процесса эволюции», апрель 2007, http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/news/070401_lactose.

Глава вторая: РЕПЛИЦИРОВАННЫЕ РЕПТИЛИИ

²⁹ 73 На Ямайке, которая в десять раз меньше: Более подробную информацию по анолисам вы найдете в моей книге «Ящерицы на эволюционном древе: Экология и адаптивная радиация анолисов». Лосос Д.Б. Беркли. «Юниверсити оф Калифорния Пресс». 2009.

³⁰ 78 новое средство для заклеивания ран: С. Рейнберг. «Липкость гекконов вдохновила на создание нового перевязочного материала». «Вашингтон Пост», 19 февраля 2008 г.

³¹ 81 Со временем: Койн Д., Опп Г. Видообразование. Сандерленд, «Sinauer Associates»; Ноузил П. 2012. «Экологическое видообразование». Оксфорд, «Оксфорд юниверсити Пресс». 2004.

³² 84 конвергенция целых популяций: Лосос Д.Б. Адаптивная радиация, экологическая возможность и эволюционный детерминизм. «American Naturalist» 175.2010. – С. 623–639.

³³ 84 с малоизвестных японских островов: Чива С. «Экологические и морфологические модели в сообществах наземных улиток рода *Mandarina* с островов Огасавара». Журнал «Эволюционная биология» 17.2004. – С. 131–143.

³⁴ 86 Но потом проведенный сравнительный анализ ДНК: Руиди М., Мейер Ф. Молекулярная систематика крыс рода *Myotis* говорит о возможных детерминистских экоморфологических конвергенциях. «Молекулярная филогенетика и эволюция» 21.2001. – С. 436–448.

³⁵ 87 на тех, что живут в Индии: Босьют Ф., Милинкович М. Конвергентные адаптивные радиации мадагаскарских и азиатских лягушек вскрывают сопряженную изменчивость между зачаточными и взрослыми признаками. «Труды Национальной академии наук США» 97: 6585–6590.2000.

³⁶ 87 несмотря на их значительную похожесть: С. Редди и др. Многообразие и адаптивная радиация ванговых Мадагаскара. «Труды Королевского общества Лондона» В 279:2062–71.2012.

³⁷ 89 Что же заставляло эволюционных биологов возвращаться на острова: Карлквист С. Островная жизнь: Естественная история островов мира, Гарден Сити. «Нэчерел Хистори Пресс».1965; Уитакер Р., Фернандес-Паласиос М. Островная биогеография: Экология, эволюция и охрана окружающей среды. 2-е изд. Оксфорд: «Оксфорд юниверсити Пресс», 2007.

³⁸ 91 Поместите любой вид крупного млекопитающего: источник тот же.

³⁹ 93 приведу еще одну последнюю общую тенденцию: Уилкинс Э., Грэнхем Р., Фитч В. Синдром одомашнивания у млекопитающих: единое объяснение, основанное на поведении клеток нервного гребня и генетике. «Генетика» 197.2014. – С. 795–808.

⁴⁰ 94 в ходе долгосрочного эксперимента, проведенного в Сибири: Трут Л., Оскина И., Харламова А. Эволюция животных в процессе одомашнивания: одомашненная лиса как модель. «Биоэссе» 31.2009. – С. 349–360. Дугаткин Л., Трут Л. Как приручить лису и превратить ее в собаку. Чикаго: «Юниверсити оф Чикаго Пресс», 2017.

Глава третья: ПРИЧУДЫ ЭВОЛЮЦИИ

⁴¹ 98 попытка семейства летучих мышей породить мышь: Даймонд Д. Новая Зеландия, как архипелаг; Таунс Д., Доэрти К., Эткинсон А. Экологическое восстановление островов Новой Зеландии. Веллингтон. Департамент по защите окружающей среды Новой Зеландии. 1990.

⁴² 101 не похожее ни на одно другое растение в мире: Карлквист. Островная жизнь.

⁴³ 111 Французский ученый Франсуа Жакоб: Жакоб Ф. Эволюция и обновление. Science 196: 1161–1166. 1977.

⁴⁴ 113 Не все случаи конвергентности: Орд Т., Саммерс Т. Повторяющаяся эволюция и влияние эволюционной истории на процесс адаптации. «Эволюционная биология» 15. 2015. – С. 137.

⁴⁵ 113 Трехиглая колюшка: Шлутер Д., Макфейл Д. Экологическое смещение признака и видообразование у колюшки. «American Naturalist» 140. 1992. – С. 85–108; Шлутер Д. Соперничество за ресурсы и коэволюция у колюшки. «Эволюционное образование и просвещение» 3: 2010. – С. 54–61; Э. Хендри и др. Изучение колюшки: текущие и последующие популяции. «Исследование эволюционной экологии» 15.2013. – С. 111–141.

⁴⁶ 116 Количество пальцев: Уэйк Д. Гомоплазия – результат естественного отбора или свидетельство ограниченности структуры? «American Naturalist» 138. 1991. – С. 543–567.

⁴⁷ 116 В идеале нам следует напрямую проверить гипотезу о том, что естественный отбор направлял конвергенцию: вопрос о том, как изучить роль естественного отбора в процессе адаптации и эволюционной конвергенции, обсуждается в книге Э. Ларсона и Д. Лосос «Филогенетическая систематика адаптации». 1996; Роуз М., Лауберт Г. Адаптация. Сан-Диего «Академик Пресс»; Отамн К., Райан М., Уэйк Д. Включение исторической и механистической биологии способствует лучшему изучению процесса адаптации. «Ежеквартальный обзор достижений в области биологии» 77.1996. – С. 383–408.

⁴⁸ 117 очевидно, имело место некое адаптивное преимущество: Флер Н. Вооружен и опасен: тираннозавр не единственный динозавр с короткими передними конечностями. «Нью-Йорк Таймс». 19 июля 2016 г.

Глава четвертая: НЕ ОСОБО ЛЕДНИКОВЫЙ ХОД РАЗВИТИЯ ЭВОЛЮЦИИ

⁴⁹ 130 Бернард Кетлвелл: Кетлвелл Г.Б. Эволюция меланизма. Оксфорд, «Оксфорд юниверсити Пресс». 1973.

⁵⁰ 130 Его исследование продемонстрировало: Л. Кук и др. Селективное воздействие хищных птиц на пяденицу березовую: последний эксперимент Майкла Маджеруса. 2012.

⁵¹ 134 Питером и Розмари Грант: Грант П., Грант Р. 40 лет эволюции. Дарвиновские выюрки на острове Дафне Майор. Принстон. «Принстон юниверсити Пресс», 1995; Вейнер Д. Клюв выюрка: История эволюции в наше время. Нью-Йорк: «Винтаж Букс», 1995.

⁵² 138 Согласно его теории «прерывистого равновесия», вокруг которой в свое время шли жаркие дебаты: Гулд С.Д. ... «Структура эволюционной теории». Кембридж: «Гарвард юниверсити Пресс», 2002.

Глава пятая: КРАСОЧНЫЙ ТРИНИДАД

⁵³ 142 сделали крошечную гуппи эволюционной знаменитостью: К. Хаскинс и др. Полиморфизм и структура популяций у *Lebistes reticulatus*. 1961; Блер У. Видообразование у позвоночных.; Эндлер Д. Действие естественного отбора на примере моделей окраса у *Poecilia reticulata*. Резник Д., Эндлер Д. 1982. Влияние хищников на историческую эволюцию жизни тринидадских гуппи. 1980; Резник Д. Гуппи и эмпирическое исследование адаптации. 2009; Лосос Д.Б., ред. В свете эволюции: лабораторные и полевые опыты; Магурран Э. Эволюционная экология: тринидадская гуппи. 2005; Карим и др. Это не очередное дежавю: окрас самцов гуппи в новом экспериментальном внедрении. 2007; Д. Кемп и др. Прогноз направления эволюции окраса и узора тринидадских гуппи. 2009.

⁵⁴ 143 Он написал ставшую известной книгу: Баранаускас К. Кэрил Хаскинс, специалист по муравьям и авторитетный ученый во многих областях. «Нью-Йорк Таймс». 13 октября 2001 г.

⁵⁵ 145 Эти сведения были получены: Магурран. Эволюционная биология.

⁵⁶ 146 В бурные времена 1960-х: Джон Эндлер подробно рассказал о своем становлении как ученого и о проекте с гуппи в переписке по электронной почте в марте 2015 г.

⁵⁷ 148 Данная работа была большой удачей: Эндлер Д. Географическая вариативность, видообразование и градиенты признаков. Принстон. «Принстон юниверсити Пресс». 1977.

⁵⁸ 150 «результаты полевых исследований поразительны»: Эндлер Д. Влияние естественного отбора на модели окраса у *Poecilia reticulata*. 1980.

⁵⁹ 156 Дэвид Резник: В своей электронной переписке Дэвид Резник неоднократно отвечал на вопросы по поводу своего становления как ученого и о проекте с гуппи.

⁶⁰ 165 но размер их красных и черных пятен: В статье Кемпа и других авторов эти пятна упомянуты как «оранжевые», но так как Эндлер в своем изначальном исследовании называл их «красными», то я в этой книге тоже называю их «красными». В данном исследовании также фигурировали голубые и радужные пятна, не упоминавшиеся в исследовании Эндлера.

⁶¹ 166 На данный момент мы можем сказать только: Другая группа исследователей сравнила эволюцию окраса в других внедрениях Резника и не смогла найти доказательств изменения окраса. Но в данном исследовании не применялся ультрасовременный анализ окраса, осуществленный специалистами в области зрения животных в исследовании Резника и Эндлера в 2005 году. Более того, в последующем исследовании другая группа ученых также не смогла определить те различия, которые нашла команда Резника и Эндлера, что говорит о том, что метод другой группы не смог определить как минимум часть типов эволюции окраса (в частности, повышенную радужность). Авторы другого исследования дают довольно убедительную аргументацию в пользу своих методов, предвосхищая возможную критику в свой адрес. На данный момент трудно понять, что дадут их результаты. Очевидно, необходимо дальнейшее изучение других примеров внедрения гуппи с помощью самых лучших доступных методов.

⁶² 167 Чтобы выяснить это, Магурран принесла рыбу в лабораторию: О’Стин С., Каллам Э., Беннетт Э. Стремительная эволюция способности уходить от преследования у тринидадских гуппи. «Эволюция» 56: 2002. – С. 776–784.

Глава шестая: ЯЩЕРИЦЫ-ИЗГОИ

⁶³ 171 Если вы прилетите на Багамы: В моей книге представлены результаты экспериментального исследования багамских анолисов, осуществленного в 2009 году. Лосос Д.Б. Ящерицы на эволюционном дереве. 2009. Ключевые работы: Шёнер Т., Шёнер Э. Выживаемость того или иного колонизирующего вида ящериц увеличивается в зависимости от размера территории острова. *Nature* 302. 1983. – С. 332–334; Лосос Д., Шёнер Т., Спиллер Д. Влияние хищников на поведение и естественный отбор в полевых экспериментальных популяциях ящериц. *Nature* 432.2004. – С. 505–508; Д. Лосос и др. Стремительное временное изменение хода естественного отбора, вызванное влиянием хищников. *Science* 314: 1111.2006; Д. Колбе и др. Эффект основателя действует несмотря на адаптивную дифференциацию: полевой эксперимент с ящерицами. *Science* 335: 1086–1089. 2012.

Глава седьмая: ОТ СОХИ ДО СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

⁶⁴ 197 Более 170 лет назад: Определить, какой был в мире самый продолжительный научный эксперимент, нелегко. Большинство источников в интернете указывают на эксперимент с капающей смолой, но данное исследование относится еще к 1920-м годам. Работая с поисковиками, я не смог найти ни одного идущего в настоящее время эксперимента, который бы начался раньше ротамстедских исследований.

⁶⁵ 197 Это, в свою очередь, привело к экспериментам: Сильвертаун Д. Демоны в раю: Парадокс разнообразия растений. Чикаго, «Юниверсити оф Чикаго Пресс». 2005; Д. Сильвер-

таун и др. Эксперимент с парковой травой 1856–2006 гг.: его вклад в экологию. Журнал «Экология» 94. 2006. – С. 801–814; Д. Сторки и др. Уникальный вклад Ротамстеда в экологические исследования в больших временных масштабах. «Достижения экологических исследований» 55. 2016. – С. 3–42; Снейдон Р. Стремительная дифференциация популяции в смешанном окружении. «Эволюция» 24. 1970. – С. 257–269; Р. Страус и др. Эволюция в полевых экологических исследованиях. «Основы экологии» 11. 2007. – С. 199–207.

⁶⁶ 197 экспериментальная площадка: Лоус Д., Гилберт Д. Сообщения об экспериментах с различными видами удобрений на одном и том же лугу. Лондон: «Клоус энд Санс», 1859.

⁶⁷ 200 Давайте прогуляемся: Сильвертаун Д. Демоны в раю, М. Кроули и др. Наследственные факторы плодородности видов в эксперименте с парковой травой. *American Naturalist* 165. 2005. – С. 179–192.

⁶⁸ 208 Самое заметное исследование: Кроули М. Влияние кроликов, соперничество видов и выбор саженцев на луговых угодьях с кислой почвой. Журнал «Прикладная экология» 27. 1990. – С. 803–820; Олофссон Д., Мазанкурт К. де, Кроули М. Влияние фактора наличия или отсутствия кроликов на доступность питательных веществ и первичную продукцию луговых угодий в разные временные периоды. 2007; Н. Терли и др. «Современная эволюция скорости роста растений, начавшаяся после экспериментального перемещения травоядных». *American Naturalist* 181. 2013. – С. 21–34; Т. Дидиано и др. «Экспериментальная проверка эволюции защиты растений у четырех видов с помощью долгосрочного изолирования их от кроликов» Журнал «Экология» 102.2014. – С. 584–594. Многие детали этих экспериментов стали мне понятны благодаря беседам с Марком Джонсоном, Миком Кроули и Нэшем Терли.

⁶⁹ 211 Например, Марк Джонсон: Э. Агравал и др... «Травоядные насекомые стимулируют текущие экологические и эволюционные изменения в популяциях растений». *Science* 338. 2012. – С. 113–116.

⁷⁰ 211 Целью других исследований было изучить: Т. Батейлон и др. «Полевой эксперимент с повторяющимся изменением климата демонстрирует стремительную эволюционную реакцию у экологически значимого почвенного беспозвоночного». «Глобально меняющаяся биология» 22: 2370–2379. 2016; В. Сория Карраскал и др. 2014. «Изучение геномов палочника демонстрирует роль естественного отбора в параллельном видообразовании». *Science* 344.2014. – С. 738–742.

Глава восьмая: ЭВОЛЮЦИЯ В ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДАХ

⁷¹ 212 И это его бассейны: Мое описание развития экспериментальной эволюционной исследовательской программы по колюшке основано в первую очередь на беседах с Дольфом Шлутером, а также Роуэном Барреттом и Дайаной Реннисон.

⁷² 213 его подробнейшие исследования стали классикой: Д. Шлутер, Т. Прайс и П. Грант. «Экологическое вытеснение признака у дарвиновских вьюрков». *Science* 227: 1056–1059. 1985.

⁷³ 217 Ответ оказался положительным: Р. Барретт, С. Роджерс и Д. Шлутер. 2008. «Естественный отбор по основному гену, ответственному за броню, у трехиглой колюшки». *Science* 322. 2008. – С. 255–257; Р. Барретт и др. «Стремительная эволюция устойчивости к холоду у колюшки». «Труды Королевского общества Лондона» В 278. 2011. – С. 233–238.

⁷⁴ 219 Работая с ведущими экспертами в области изучения генома: П. Колосимо и др. «Широко распространенная параллельная эволюция у колюшки, осуществленная путем повторяющейся фиксации аллелей *Ectodysplasin*». *Science* 307: 1928–1933. 2005.

⁷⁵ 219 процесс отбора длины брюшных игл: Д. Реннисон. «Установление движущих факторов дивергенции: определение и оценка естественного отбора у трехиглой колюшки». Докторская диссертация. Университет Британской Колумбии. 2006.

⁷⁶ 220 Небраска Сэндхиллс: Мое описание проекта с мышами в Сэндхиллс основано на пространных беседах с Роуаном Барреттом.

⁷⁷ 222 Хищные птицы: Л. Дайс. «Эффективность осуществляемого совами естественного отбора мышей, которые не сливаются с окружающей средой». «Доклады лаборатории биологии позвоночных животных» 34. 1947. – С. 1–20.

⁷⁸ 222 заключение было сделано на основе полученных генетических различий: К. Линнен и др. Об источнике и распространении адаптивной аллели у мышей. *Science* 325: 1095–1098. 2009.

Глава девятая: ПОВТОРНОЕ ПРОКРУЧИВАНИЕ ПЛЕНКИ

⁷⁹ 248 24 февраля 1988 г.: Эксперименты Ленски хорошо задокументированы, и по ним легко найти материалы и статьи как онлайн, так и в печатных журналах. Например, статья Т. Аппензеллера «Эволюция в пробирке ловит время». *Science* 284: 2108. 1990; И. Пеннесси. «Человек, который запер эволюцию в пробирке». *Science* 342: 790–793. 2013. Ленски сам подытожил результаты своей работы в блоге *Telliamed Revisited* (29 декабря 2013 г. <https://telliamedrevisited.wordpress.com/2013/12/29/whatweve-learned-about-evolutionfrom-the-Ittee-number-5/6/>) Я узнал много подробностей этой исследовательской программы и личных историй большинства ее участников, посетив лабораторию Ленски 2–3 октября 2014 г., а также благодаря обширной переписке с Заком Блаунтом и общению с Ричем Ленски, Тимом Купером и Крисом Борландом.

⁸⁰ 251 Труды Национальной академии наук: Ленски Р., Травизано М. Динамика адаптации и расхождения: эксперимент с генерацией в 10 000 особей среди популяций бактерий. «Труды Национальной академии наук США» 91: 6808–6814. 1994.

⁸¹ 252 между популяциями оставались различия: Ленски Р. Фенотипическая и геномная эволюция в ходе эксперимента с генерацией в 20 000 особей бактерии *Escherichia coli*. 2004.

⁸² 253 эволюция была очень повторяема: Ленски Р. Эволюция в действии: генерация в 50 000 особей передает привет Чарльзу Дарвину. «Микроб» 6.2011. – С. 30–33.

⁸³ 253 Как и Ленски, Пола Рейни: переписка с Полом Рейни раскрыла подробности его биографии и исследования *Pseudomonas fluorescens*.

⁸⁴ 257 Травизано и Рейни завершили работу: Рейни П., Травизано М. Адаптивная радиация в неоднородной среде. *Nature* 394. 1998. – С. 69–72.

⁸⁵ 263 Однако у снежинок: У. Рэтклифф и др. Экспериментальная эволюция многоклеточности. «Труды Национальной академии наук США» 109: 1595–1600. 2012.

⁸⁶ 264 В ходе другого исследования *E.coli*: О. Тенейлон и др. Молекулярные различия адаптивной конвергенции. *Science* 335. 2012. – С. 457–461.

Глава десятая: ПРОРЫВ В БУТЫЛКЕ

⁸⁷ 269 названы в честь тех мест из мифов и легенд: Зак Блаунт, личные беседы.

⁸⁸ 270 самый тщательно изучаемый вид на земле: Циммер К. Рождение нового, изменение старого. *The Loom* 19 сентября 2012 <http://blogs.discovermagazine.com/loom/2012/09/19/the-birthof-the-new-the-rewiring-of-theold/#WCO6JeErJjs>.

⁸⁹ 272 Плохая новость в том: Гулд Д. Удивительная жизнь. С. 48.

⁹⁰ 273 «серьезного и умного»: Рич Ленски, личное общение.

⁹¹ 275 стали очевидными два результата: Блаунт З., Борланд К., Ленски Р. Историческая контингентность и эволюция ключевого эволюционного новообразования в экспериментальной популяции *Escherichia coli*. «Труды Национальной академии наук США» 105: 7899–7906.2008.

⁹² 276 Применив свою молекулярную магию: З. Блаунт и др. Геномный анализ ключевого эволюционного новообразования в экспериментальной популяции *Escherichia coli*. *Nature* 489.2012. – С. 513–518.

⁹³ 278 здесь имеет место и вторая мутация: И. Квандт и др. Корректировка переменчивости синтеза цитрата усиливает и оптимизирует метаболическое эволюционное новообразование в эволюционном эксперименте Ленски. 2015.

⁹⁴ 279 Противостояние случайности и необходимости: Деннехи Д. Классическая цитата недели: флуктуационный тест. «Эволюционный биолог». 9 июля 2008 г.

⁹⁵ 279 недавно проведенная работа в лаборатории Пола Рейни: Линд П., Фарр Э., Рейни П. Экспериментальная эволюция демонстрирует скрытое многообразие эволюционных путей. 2015.

⁹⁶ 280 В другом исследовании *E.coli*: М. Фризен и др. Экспериментальное доказательство симпатрического экологического расхождения изза основанного на повторяемости соперничества у *Escherichia coli*. «Эволюция» 58.2014. – С. 245–260.

⁹⁷ 281 в интервью: Д. Уилсон. «Мастер в области эволюционной биологии: интервью с Ричардом Ленски», «Этот взгляд на жизнь», 30 мая 2016 г. <https://evolution-institute.org/article/evolutionary-biologists-mastercraft-smant-an-interview-with-richardlenski/>

Глава одиннадцатая: МЕЛЬЧАЙШИЕ ЧАСТИЦЫ И ПЬЯНЫЕ ПЛОДОВЫЕ МУШКИ

⁹⁸ 282 Я называю этот эксперимент: Гулд. Удивительная жизнь. – С. 48.

⁹⁹ 283 Эта великолепная десятиминутная сцена: источник тот же. – С. 287.

¹⁰⁰ 283 любое прокручивание пленки: источник тот же. – С. 289.

¹⁰¹ 287 Исторические объяснения принимают форму: источник тот же.

¹⁰² 289 Измените любое предшествующее событие: источник тот же, – С. 51.

¹⁰³ 289 Вернитесь в прошлое: Мейнард Смит Д. Воспользоваться эволюцией. «Нью-Йорк Ревью оф Букс», 14 мая 1992 г.

¹⁰⁴ 291 Если быть точнее: Фред Коэн любезно поделился подробностями данного проекта в переписке по электронной почте.

¹⁰⁵ 294 В среднем полет: Коэн Ф., Хоффман Э. Генетическая дивергенция при одинаковом отборе. «Генетика» 114.1986. – С. 145–163.

¹⁰⁶ 295 Похожий эксперимент: Э. Спор и др. На фенотипические и генотипические конвергенции грибков влияет историческая контингентность и окружение. «Эволюция» 68:2014. – С. 772–790.

¹⁰⁷ 297 Сообщив об этом результате: Р. Ленски и др. Долгосрочная экспериментальная эволюция у *Escherichia coli*. *American Naturalist* 138: 1315–1341.1991.

¹⁰⁸ 298 Чтобы проверить эту идею: М. Травизано и др. Экспериментальные проверки роли адаптации, случайности и истории в эволюции. *Science* 267.1995. – С. 87–90.

¹⁰⁹ 301 Гулд и вправду запутал всех своей метафорой: Битти Д. Прокручивая пленку жизни. Журнал «Философия» 103.2006. – С. 336–362.

¹¹⁰ 302 На удивление мало исследований: Удивительно, но пока никто еще не создал всеобъемлющего подробного описания всех этих исследований. Последними такими работами являются следующие: Оргогозо В. Прокручивая пленку жизни в двадцать первом веке. 2015. А также глава из книги, написанная Заком Блаунтом, где рассматриваются эксперименты с микробами и дается хорошая оценка долгосрочному эволюционному эксперименту. Блаунт З. Повороты истории в колбе: эксперименты с микробами в области эволюционной контингентности. 2016; Рамси Д., Пенс К. Случайность в эволюции. Чикаго «Чикаго юниверсити Пресс».

Глава двенадцатая: ЧЕЛОВЕЧЕСКАЯ СРЕДА

¹¹¹ 305 подобный эксперимент был проведен: Вонг Э., Родриге Н., Кассен Р. Геномика адаптации в процессе экспериментальной эволюции условно- патогенного микроорганизма *Pseudomonas aeruginosa*. 2012.

¹¹² 307 Датские исследователи: Р. Марвиг и др. Конвергентная эволюция и адаптация *Pseudomonas aeruginosa* у пациентов с муковисцидозом. «Природная генетика» 47:2014. – С. 57–64.

¹¹³ 309 Биохимическое функционирование: Одни из наиболее точных деталей здесь и ранее были приведены Расмусом Марвигом в ходе личных бесед.

¹¹⁴ 310 Еще одно исследование дало: Т. Либерман и др. Параллельная эволюция бактерий у множества пациентов определяет потенциально патогенные гены. «Природная генетика» 43: 1275–1280.2011.

¹¹⁵ 311 Международной команде ученых: М. Фархат и др. Геномный анализ определяет цели конвергентного позитивного отбора у устойчивых к препаратам *Mycobacterium tuberculosis*. «Природная генетика» 45: 1183–1189. 2013.

¹¹⁶ 313 Даже скромная степень предсказуемости: Палмер Э., Кишони Р. Понимание, прогнозирование и управление генотипной эволюцией резистентности к антибиотикам. «Нейчер Ревью Генетикс» 14.2013. – С. 243–248.

¹¹⁷ 314 В этом эксперименте нашего старого знакомого: И Топрак и др. Эволюционные пути к антибиотикорезистентности в условиях динамичного отбора с помощью препаратов. «Природная генетика» 44.2012 – С. 101–106.

¹¹⁸ 316 фенотипические различия и отсутствие конвергенции: И. Стюарт и др. Разное воздействие окружения и генетики обеспечивает предсказуемый непрерывный ход параллельной эволюции. «Экология природы и эволюция», принято к публикации.

¹¹⁹ 316 Некоторые ученые с недоверием относятся: Лобковски Э., Коонин И. 2012. Прокручивая пленку жизни: Количественный анализ предсказуемости эволюции. «Границы генетики» 3(246).2012. – С. 1–8.

¹²⁰ 316 это слабая форма: Виссер Д. де, Круг Д. Эмпирическая подгонка условий и предсказуемость эволюции. «Нейчер Ревьюс Генетикс» 15.2014. – С. 480–490.

¹²¹ 318 многообразие мутаций: Г. Жаке и др. Фиксирование мутационной среды бета-лактамазы TEM-1. «Труды Национальной академии наук США» 110: 13067–13072.2013.

¹²² 320 пленка жизни: Д. Вейнрейх и др. Дарвиновская эволюция может пойти всего несколькими мутационными путями, чтобы создать пригодные белки, *Science* 312.2006. – С. 111–114.

¹²³ 320 Если предоставить мутациям полную свободу: М. Сальверда и др. Начальные мутации задают альтернативные пути эволюции белка. 2011.

¹²⁴ 324 у некоторых видов комаров: Лиу Н. Устойчивость к инсектицидам у комаров: влияние, механизмы и направления исследования. «Ежегодник энтомологии» 60.2015. – С. 537–539.

¹²⁵ 324 у более чем тридцати различных видов насекомых: ФренчКонстант Р. Молекулярная генетика резистентности к инсектицидам. «Генетика» 194.2013. – С. 807–815; Ф. Ринкевич и др. Многообразие и конвергентность вызванных натрием мутаций, влияющих на резистентность к пиретроидам. «Биохимия пестицидов и физиология» 106.2014. – С. 93–100.

¹²⁶ 324 Количество фермерских угодий: Б. Табашник и др. Устойчивость насекомых к зерновым культурам Vt: выводы, сделанные на основе первых миллиардов акров. «Природная биотехнология» 31.2013. – С. 510–521.

¹²⁷ 324 Устойчивость к одному типу токсина: Ву И. Определение и механизмы резистентности, эволюционировавшие у насекомых к токсинам от *Bacillus thuringiensis*. «Достижения в области физиологии насекомых» 47.2014. – С. 297–342.

¹²⁸ 324 семь видов гусениц: Табашник Б. Основы резистентности насекомых к Vt токсинам. 2015.

¹²⁹ 326 Один хорошо изученный случай: Н. Рейд и др. Геномные условия стремительной повторяющейся эволюционной адаптации к токсичным загрязнениям у живущих в дикой природе рыб. *Science* 354: 1305–1308.2016.

¹³⁰ 326 Люди также оказывают: Аллендорф Ф., Хард Д. Спровоцированная людьми эволюция была порождена последствиями охоты на диких животных. «Труды Национальной академии наук США. 106: 9987–9994.2009; М. Хейно и др. Эволюция, спровоцированная рыболовством. «Ежегодный обзор экологии, эволюции и систематики» 46: 461–480.2005.

¹³¹ 327 Вес самой крупной атлантической трески: Аллендорф Ф., Хард Д. Спровоцированная людьми эволюция; а также личные беседы с Дугом Свейном и Лореттой О’Брайен.

Заключение: СУДЬБА, СЛУЧАЙ И НЕИЗБЕЖНОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

¹³² 330 Изобильная растительность: Уилхелм М., Мейхисон Д. «Аватар» Джеймса Кэмерона: Пособие по выживанию. Нью-Йорк: «ХарперКоллинз». «Пандорапедия: официальный путеводитель». 2009. https://www.pandorapedia.com/pandora_url/dictionary.html. «Обнаруженная Пандора», четырехминутный фильм с закадровым текстом, который читает Сигурни Уивер, тоже очень интересен.

¹³³ 331 то, что мы наблюдаем здесь, на Земле: Моррис К. Прогноз относительно того, как будут выглядеть представители внеземной цивилизации. «Философские труды Королевского общества». 2011.

¹³⁴ 335 Некоторые люди – к примеру, писатели- фантасты: Саган К. Космос. Нью-Йорк «Рэндом хаус», 1980.

¹³⁵ 337 По более средним оценкам: Кэрролл С. Случайность и необходимость: эволюция морфологической вариабельности и разнообразия. *Nature* 409: 1102–1109.2001; Никлас К. Эволюционно развивающиеся источники многоклеточности. Американский журнал «Ботаника» 101.2014. – С. 6–25.

¹³⁶ 338 Слоны, которые помещают коробки: Вааль Ф. де. Достаточно ли мы умны, чтобы понять, насколько умны животные? Нью-Йорк: В. В. Нортон. 2016.

¹³⁷ 339 популяция шимпанзе: Роуч М. Почти, как человек. *National Geographic* 213(4).2008. – С. 124–144.

¹³⁸ 341 Он сильно зациклен на эволюции человека: цитата Томаса Холтца в статье Д. Хечта. «Смартзавр». «Космос» 9 июля 2007 г.; Нейш Д. Переосмысливая идею динозавроидов. «Зоология тетраподов» 27 октября 2012 г.

¹³⁹ 341 С чем Конвей Моррис впоследствии согласился: цитата приведена в интервью Г. Хатт-Кука «Что, если бы астероид пролетел мимо?» Би-Би-Си Ньюс, 13 марта 2007 г.

¹⁴⁰ 341 Мы приглашаем наших коллег: Расселл и Сегуин. «Реконструкция мелких тероподов мелового периода».

¹⁴¹ 342 эволюционировал, породив вид гуманоида: <http://www.thinkaboutitaliens.com/think-aboitits-alien-typesummary-dinosauroids>.

¹⁴² 342 Среди всей этой чепухи: Нейш Д. Переосмысливая идею динозавроидов.

¹⁴³ 346 Гарри Баррелла: Баррелл Г. Утконос. Сидней: «Ангус энд Робертсон», 1927.

¹⁴⁴ 348 тактильных и электрических импульсов: Петтигрю Д. Электрорецепторы у яйцекладущих. «Журнал экспериментальной биологии» 202: 1447–1454.1999; Грант Т. Утконос. 4-е изд. Австралия: CSIRO Пабблишинг, 2008.

145 348 Утконосы также уникальны: Койн Д. Дает ли новая книга Саймона Конвея Морриса об эволюционной конвергенции доказательства существования Бога? Почему эволюция верна? 8 февраля 2015 г. Койн Д. Вера против фактов: Почему наука и религия несовместимы?

¹⁴⁶ 351 Эдвард О. Уилсон: Уилсон Э.О. Смысл человеческого существования. Нью-Йорк: «Ливерайт», 2015.

ЛУЧШИЕ КНИГИ О БИЗНЕСЕ С ЛОГОТИПОМ ВАШЕЙ КОМПАНИИ? ЛЕГКО!

Удивить своих клиентов, бизнес-партнеров, сделать памятный подарок сотрудникам и рассказать о своей компании читателям бизнес-литературы? Приглашаем стать партнерами выпуска актуальных и популярных книг. О вашей компании узнает наиболее активная аудитория.

ПАРТНЕРСКИЕ ОПЦИИ:

- Специальный тираж уже существующих книг с логотипом вашей компании.
- Размещение логотипа на супер-обложке для малых тиражей (от 30 штук).
- Поддержка выхода новинки, которая ранее не была доступна читателям (50 книг в подарок).

ПАРТНЕРСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ:

- Рекламная полоса о вашей компании внутри книги.
- Вступительное слово в книге от первых лиц компании-партнера.
- Обращение первых лиц на суперобложке.
- Отзыв на обороте обложки вложение информационных материалов о вашей компании (закладки, листовки, мини-буклеты).



У вас есть возможность обсудить свои пожелания с менеджерами корпоративных продаж. Как?

Звоните:
+7 495 411 68 59, доб. 2261

Заходите на сайт:
eksmo.ru/b2b

