



# ЭВОЛЮЦИЯ ТРИУМФ ИДЕИ

---

## Карл Циммер

Захватывающая  
история  
эволюционной  
теории —  
от Дарвина  
до науки XXI века



УДК 575.8; 316.42  
ББК 20.71; 60.524  
Ц61

Переводчик Наталья Лисова  
Научный редактор Елена Наймарк  
Редактор Роза Пискотина

**Циммер К.**  
Ц61 Эволюция: Триумф идеи / Карл Циммер; Пер. с англ. — М.: Альпина  
нон-фикшн, 2012. — 564 с.  
ISBN 978-5-91671-138-7

Один из лучших научных журналистов нашего времени со свойственными ему основательностью, доходчивостью и неизменным юмором дает полный обзор теории эволюции Чарльза Дарвина в свете сегодняшних представлений. Что стояло за идеями великого человека, мучительно прокладывавшего путь новых знаний в консервативном обществе? Почему по сей день не прекращаются споры о происхождении жизни и человека на Земле? Как биологи-эволюционисты выдвигают и проверяют свои гипотезы и почему категорически не могут согласиться с доводами креационистов? В поисках ответа на эти вопросы читатель делает множество поразительных открытий о жизни животных, птиц и насекомых, заставляющих задуматься о людских нравах и этике, о месте и предназначении человека во вселенной.

УДК 575.8; 316.42  
ББК 20.71; 60.524

Издание подготовлено при поддержке  
Фонда Дмитрия Зимина «Династия»



Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в 2001 году Дмитрием Борисовичем Зиминим, почетным президентом компании «Вымпелком». Приоритетные направления деятельности фонда — поддержка фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение. «Библиотека Фонда «Династия» — проект фонда по изданию современных научно-популярных книг, отобранных экспертами-учеными. Книга, которую вы держите в руках, выпущена под эгидой этого проекта. Более подробную информацию о фонде «Династия» вы найдете по адресу [www.dynastyfdn.ru](http://www.dynastyfdn.ru).

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

ISBN 978-5-91671-138-7 (рус.)  
ISBN 978-0-06-113840-9 (англ.)

© WGBH Educational Foundation and Clear Blue Sky  
Productions, 2001  
© Издание на русском языке, перевод,  
оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2012  
Published by arrangement with HarperCollins Publishers, Inc.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие автора к изданию 2006 г. ....	7
Введение.....	26

### ЧАСТЬ I

#### **Нескорая победа: Дарвин и становление дарвинизма ...36**

1. Дарвин и «Бигль».....	39
2. «Это как сознаться в убийстве».....	72
3. Погружаясь в глубь времен .....	112
4. Свидетели перемен.....	133

### ЧАСТЬ II

#### **Созидание и разрушение ..... 171**

5. В поисках корней древа жизни.....	173
6. Случайный инструментарий.....	192
7. Вымирание .....	229

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЧАСТЬ III

<b>Танец эволюции</b> .....	<b>294</b>
8. Коэволюция .....	297
9. Доктор Дарвин .....	329
10. Логика страсти .....	352

### ЧАСТЬ IV

<b>ЧЕЛОВЕК В ЭВОЛЮЦИИ</b>	
<b>И ЭВОЛЮЦИЯ В ЧЕЛОВЕКЕ</b> .....	<b>395</b>
11. Разговорчивая обезьяна .....	397
12. Современная жизнь за 50 000 лет до н.э. ....	450
13. Как насчет Бога? .....	476
Благодарности .....	525
Дополнительная литература .....	529
Алфавитный указатель .....	555

## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ИЗДАНИЮ 2006 г.

**В** истории земной жизни пять лет — меньше чем мгновение. Но для каждого из нас, людей, это заметная часть жизни. В 2001 г., когда книга «Эволюция: триумф идеи» впервые увидела свет, наша жизнь сильно отличалась от сегодняшней. В сегодняшних разговорах полно слов и названий — блоги, «Аль-Каида» — которые пять лет назад вызвали бы только непонимающие взгляды. Наука за эти пять лет также сделала громадный шаг вперед. Мы гораздо больше знаем теперь об окружающем мире, начиная со стволовых клеток и заканчивая планетами далеких звезд. Мы больше знаем и о том, как развивалась жизнь на нашей планете, — ведь за это время были опубликованы десятки тысяч новых научных статей.

Некоторые эволюционные исследования, о которых я написал в этой книге, дали интереснейшие результаты — ученые многое узнали о ранней эволюции жизни и о причинах массовых вымираний, о коэволюции мужских и женских особей и о гонке вооружений между хозяевами и паразитами. Но мне кажется, что самые поразительные результаты получены в области, которой посвящена финальная часть моей книги, — в области эво-

люции человека. Ничего удивительного, ведь именно эта часть эволюционной науки имеет к нам самое непосредственное отношение.

В 2001 г. уже было ясно, что самые близкие родственники человека из ныне существующих видов — шимпанзе и бонобо. К такому выводу привели выполненные в 1990-х гг. исследования. Сравнительное изучение участков ДНК человека и других животных позволило ученым уточнить структуру эволюционного древа и определить, какие его ветви расположены ближе всего к нашей собственной. В ходе этих исследований ученым удалось также примерно установить, когда наши предки отделились от остальных приматов. Накопление мутаций в молекулах ДНК идет миллионы лет, причем с примерно постоянной скоростью. Поэтому, если известно, что какие-то виды берут начало от общего предка, ученые могут сравнить накопившиеся у этих видов мутации и тем самым как бы считать показания «молекулярных часов». Так, общий предок человека и шимпанзе, по оценкам ученых, обитал на Земле 5–7 млн лет назад.

Но если молекулярные часы шли верно, это означает, что палеоантропологам еще предстоит многое сделать. В 2001 г. самыми древними гоминидами — это виды, которые размещаются вместе с нами на крошечном побеге эволюционного древа, — считался вид *Ardipithecus ramidus*. Возраст его окаменелых останков, найденных в Эфиопии, насчитывает 4,4 млн лет. Но если верить молекулярным часам, это, возможно, далеко не самое древнее подобное существо. Возможно, на самом деле гоминиды появились на 2,5 млн лет раньше.

В 2001 г., когда «Эволюция: триумф идеи» вышла первым изданием, эти 2,5 млн лет представлялись обширным белым пятном. Однако всего через пять лет эти громадные пустоши оказались заселены тремя различными видами гоминид. В 2004 г. от той же группы ученых, что ранее открыла *Ardipithecus ramidus*, поступило сообщение об открытии в том же районе Эфиопии еще бо-

лее древнего вида. *Ardipithecus kadabba*, как называли новый вид ученые, жил 5,7 млн лет назад. Примерно в это же время в Кении другая группа ученых обнаружила окаменелости возрастом 6 млн лет. Вид, которому принадлежали окаменелости, получил название *Orrorin tugenensis*. Наконец, на пустынных просторах Сахары третья группа ученых обнаружила чудесно сохранившийся череп третьего вида, жившего, согласно оценкам, 6–7 млн лет назад. Его называли *Sahelanthropus tchadensis*.

Эти открытия весьма наглядно демонстрируют, как биологи-эволюционисты выдвигают и проверяют гипотезы. В 2001 г., имея данные по исследованиям ДНК, можно было сделать по крайней мере одно предсказание — а именно, что в будущем палеоантропологи обнаружат окаменелости гоминид возрастом от 5 до 7 млн лет. Более того, можно было с уверенностью предположить, что эти останки будут найдены в Африке — ведь все окаменелости гоминид возрастом старше 2 млн лет находят именно там, да и ближайшие современные родственники человека — шимпанзе и бонобо — обитают там же. Оба предположения оказались верными.

Тем не менее открытия ученых не только подтверждают уже существующие гипотезы, но и порождают новые споры. Некоторые ученые считают, что вновь найденные окаменелости гоминид — всего лишь первая ласточка громадного разнообразия ранних видов. У гоминидной ветви древа жизни, утверждают они, пышное кустистое основание, но большинство побегов его оказались тупиковыми и вымерли. Другие ученые с этим не согласны и утверждают, что эволюция гоминид вовсе не была такой экстравагантной, и относят ардипитека, оррорина и сахелантропа к одному роду. Этим ученым основание гоминидной эволюционной ветви представляется едва ли не прямой линией.

Новые находки поднимают еще один не дающий покоя вопрос: как выглядели первые гоминиды? Вероятно, ростом они

не уступали шимпанзе и мозг их по размеру тоже напоминал мозг шимпанзе (примерно втрое меньше нашего). Но они, возможно, отличались от шимпанзе и других современных человекообразных обезьян одной принципиальной особенностью: прямохождением. Строение бедренной кости оррорина позволяет предположить, что ему приходилось поддерживать вес всей верхней части тела гоминида. От сахелантропа пока обнаружен лишь череп, но и у него есть признаки возможного прямохождения. В основном они имеют отношение к отверстию в основании черепа, через которое проходит спинной мозг (*foramen magnum*). У ныне живущих видов человекообразных обезьян положение этого отверстия соответствует характеру походки. У шимпанзе, которые ходят на двух ногах, опираясь на костяшки пальцев, спина при ходьбе наклонена вперед и отверстие расположено в задней части черепа. Человек ходит прямо, держа голову непосредственно над туловищем, и соответствующее отверстие находится в основании человеческого черепа. Так вот, у сахелантропа это отверстие расположено как у человека, что позволяет предположить, что при ходьбе это существо держалось прямо. Похоже, что даже самые древние гоминиды, останки которых обнаружены, ходили на двух ногах. Вполне возможно, таким образом, что именно эволюция в способе передвижения стала первым серьезным новшеством, отделившим гоминид от других высших приматов.

Пока палеоантропологии искали в Африке окаменелые свидетельства нашей эволюции, другие ученые исследовали нашу ДНК. Эти поиски сильно ускорились после публикации в 2001 г. расшифрованного генома человека. Теперь ученые, вместо того чтобы разглядывать несколько разрозненных коротких фрагментов ДНК, могут анализировать кодовое слово из 3 млрд букв целиком. Они также могут сравнивать геном человека с геномами сотен других видов, включая крыс, цыплят, рыбок данио-рерио и шимпанзе. Поскольку каждый из этих видов располагается



на собственной ветви древа жизни, ученые, сравнивая геном человека с другими геномами, могут узнать больше о нашей генетической истории.

Исследования ДНК лишний раз подтвердили, что ближайшие родственники человека из ныне здравствующих видов — шимпанзе. Большие участки двух геномов просто совпадают. В некоторых случаях на этих участках располагаются гены, ответственные за производство того или иного протеина. Но еще интереснее поврежденные гены, общие для человека и шимпанзе.

Самые поразительные, наверное, примеры таких поврежденных генов можно обнаружить... у нас в носу. Вообще, у каждого из млекопитающих имеется по несколько сотен генов, отвечающих за рецепторы нервных окончаний носа. Возникали эти гены постепенно, при случайном дублировании. Когда вместо одного гена в цепочке оказывалось два, то поначалу оба они производили одинаковые рецепторы. Но затем в одном из генов происходила мутация, и способность его рецептора улавливать запахи случайным образом изменялась. Если после мутации рецептор начинал работать хуже, мутировавший ген, как правило, исчезал в результате естественного отбора. Но в некоторых случаях мутировавший ген получал способность улавливать новую молекулу запаха, расширяя тем самым спектр ароматов, которые могли различать млекопитающие. За миллионы лет в результате этого процесса сформировалась громадная семья генов, отвечающих за обонятельные рецепторы.

У мышей, собак и других млекопитающих, опирающихся в своем поведении преимущественно на запахи, почти все копии этих генов работают правильно. Но у шимпанзе и человека большинство генов, отвечающих за формирование обонятельных рецепторов, дефектны и не работают. Ученые считают, что причина накопления такого количества мутантных генов в геноме человека состоит, скорее всего, в том, что в ходе эволюции древние приматы все меньше полагались на нюх и все больше — на зрение.

В результате и шимпанзе, и человек несут в себе это странное наследие общего предка — поврежденные гены.

Первые пять лет XXI в. обрушили на нас целую лавину новых данных, свидетельствующих об общности происхождения человека и человекообразных обезьян, причем данных самого разного характера. Все они говорят о том, что человек — такой же продукт эволюции, как любой другой живой организм на Земле. Но все эти новости, очевидно, не дошли до Криса Буттарса, сенатора от штата Юта. В 2005 г. Буттарс опубликовал в *USA Today* статью, в которой заявил: «В теории эволюции, которая утверждает, что человек произошел от какого-то другого вида, дырок больше, чем в решете».

Забыв о новых окаменелостях гоминид, найденных и описанных учеными за последние пять лет, — не говоря уже о тысячах других ископаемых останков, обнаруженных в предыдущие десятилетия, — Буттарс безапелляционно заявляет, что «нет никаких достоверных окаменелостей, которые доказывали бы связь между человекообразными обезьянами и человеком». О свидетельствах эволюции человека, заключенных в ДНК, он даже не упомянул — надо полагать, они не заслужили даже опровержения.

Буттарс приобрел широкую известность в 2005 г., когда начал кампанию за изменение программы по биологии в государственных школах Юты. Он считал, что учителя не должны преподносить ученикам эволюционную теорию как единственное научное объяснение разнообразия жизни на Земле. Он хотел, чтобы ученикам преподавали еще и нечто под названием «божественный замысел».

Что, собственно, означает эта фраза в его устах, Буттарс объяснял довольно туманно. Согласно *Salt Lake Tribune*, сам Буттарс «верит, что все вокруг сотворил Бог, но затем его создания развивались каждое внутри собственного вида».

«У нас есть разные собаки и разные кошки, но никто никогда не видел “котопса”», — сказал Буттарс в интервью этой газете.

Котопсы котопсами, но разгадать, куда метит Буттарс, несложно. В своей книге я описывал, как в 1980-х гг. креационисты потерпели целую серию судебных поражений. Судьи один за другим признавали, что «креационистская наука» на самом деле представляет собой религию и потому ей не место в школе. После этого некоторые креационисты попытались перегруппировать свои аргументы, оставив за бортом явные упоминания о религии и придумав новое название: разумный замысел. В 1989 г. адвокаты теории разумного замысла опубликовали книгу «О пандах и людях», которую пытались продвигать в качестве учебника для 9-го класса средней школы. Некоторые организации, такие как Discovery Institute в Сиэтле, начали утверждать, что теория разумного замысла — вполне жизнеспособная альтернатива теории эволюции.

В 1999 г. консервативные члены Комитета по образованию штата Канзас восприняли эти уверения всерьез и решили внести изменения в образовательные стандарты штата. Эти изменения посеяли бы в умах учеников сомнения и неуверенность в отношении эволюции. В некоторых случаях теорию эволюции предлагалось просто выкинуть из соответствующих стандартов — вместе с обсуждением возраста Земли и Большого взрыва. Эти предложения привлекли внимание международной общественности, — и, возможно, поэтому в 2000 г. сторонники креационизма в комитете потерпели поражение.

Однако история на этом не закончилась. После следующих выборов соотношение сил вновь изменилось, и в октябре 2005 г. Комитет по образованию штата Канзас все же принял свои новые образовательные стандарты. Перемены в них затронули не только теорию эволюции — было изменено даже определение науки. Прежде в канзасских образовательных стандартах говорилось, что «наука — это человеческая деятельность по поиску естественных объяснений всему, что мы наблюдаем в мире вокруг нас». Такое определение поддержит любая серьезная научная

организация. Но новые стандарты уже не ограничивали науку естественными объяснениями. Комитет определил ее как «систематический метод непрерывного исследования посредством наблюдений, проверки гипотез, измерений, экспериментов, логических рассуждений и теоретизирования с целью получения более адекватного объяснения природных явлений». И теперь сверхъестественные объяснения окружающего мира также допустимы в науке — по крайней мере в штате Канзас.

Вообще, в первые годы XXI в. попытки прекратить — или по крайней мере подорвать — преподавание теории эволюции в школах возобновились с новой силой. А в октябре 2004 г. местная школьная администрация городка Довер, штат Пенсильвания, шагнула дальше других и решила продвигать теорию разумного замысла. Местный комитет добавил в учебный план по естественным наукам следующую фразу: «Учащиеся должны получить представление о пробелах/проблемах теории Дарвина и о других теориях эволюции, включая теорию разумного замысла, но не ограничиваясь ею».

Кроме того, комитет постановил, что учителя на уроках биологии обязаны зачитывать вслух еще одно громкое заявление. Учителя должны были объяснить ученикам, что эволюция — всего лишь теория, а не факт, внося тем самым неразбериху в представления учащихся о природе как фактов, так и теорий. «Разумный замысел — это иное, чем по Дарвину, объяснение происхождения жизни, — говорилось далее в заявлении. — Если учащиеся пожелают разобраться в этой точке зрения и понять, что на самом деле входит в понятие разумного замысла, они могут обратиться к пособию “О пандах и людях”. К этой теории, как и к любой другой, учащимся следует подходить без предвзятости».

Учителя Довера были потрясены и отказались зачитывать в классах это заявление. Вмешалась администрация. Когда же учащиеся спросили, какого рода мыслитель был автором раз-

умного замысла, администрация предложила им обратиться за ответом к родителям.

Через два месяца 11 родителей учеников из школьного округа Довер подали иск о том, что такое заявление нарушает Первую поправку к Конституции США, поскольку представляет собой запрещенное в государственной школе преподавание религии. Комитет по образованию возразил, что ничего подобного в виду не имелось. «Школьный совет всего лишь разрешил рассказать учащимся о противоречиях, которые активно и очень горячо обсуждает научное сообщество», — заявил Ричард Томпсон, старший советник школьного округа.

Однако чуть позже выяснились кое-какие неудобные факты. Оказалось, что Томпсон — президент мичиганской организации Thomas More Law Center, деятельность которой «направлена на охрану и продвижение христианских религиозных свобод, освященных временем семейных ценностей и неприкосновенности человеческой жизни». Еще в 2000 г. юристы Thomas More Law Center объехали множество школьных округов по всей стране в поисках хотя бы одного округа, комитет которого согласится преподавать у себя в школах по учебнику «О пандах и людях». Как рассказала в ноябре 2005 г. *New York Times*, эти юристы обещали членам комитетов бесплатную защиту в случае судебного преследования. В Западной Вирджинии, Миннесоте и Мичигане их предложения были отвергнуты, но в Довере им повезло больше. На суде свидетели рассказывали, как члены местного комитета вдруг заговорили о том, что собираются ввести разумный замысел в программу обучения, «чтобы вернуть в школы молитву и веру».

Судебные слушания положили конец любым сомнениям о происхождении теории разумного замысла. Основная заслуга в этом принадлежит Барбаре Форрест, специалисту по философии науки из Университета юго-восточной Луизианы. Форрест сравнила черновые варианты книги «О пандах и людях» с ее

окончательной версией и показала, как авторы сначала пользовались такими терминами, как «креационизм» или «креационистская наука», а затем преобразовали их все в словосочетание «разумный замысел».

Этот суд стал для креационистов серьезным ударом. Вскоре после окончания слушаний — и еще до того, как судья Джон Джонс III огласил свое решение, — народ округа Довер проголосовал за исключение из школьного совета сторонников теории разумного замысла. На их место пришли кандидаты, пообещавшие не допустить креационизм в школьную программу. Семь недель спустя, 20 декабря 2005 г., прозвучало и решение судьи Джонса, означавшее сокрушительное поражение всего движения за продвижение теории разумного замысла.

«Мы заключаем, что религиозная природа разумного замысла должна быть совершенно очевидна всякому объективному наблюдателю, будь то взрослый или ребенок», — написал судья и постановил, что разумный замысел как наука показал свою несостоятельность на всех уровнях.

Ричард Томпсон может, конечно, говорить «о противоречиях, которые активно и очень горячо обсуждает научное сообщество», но на самом деле никаких научных противоречий и споров в этой области не существует. В настоящем научном споре обе стороны публикуют в солидных рецензируемых журналах статьи, где приводят новые данные экспериментов и наблюдений. В настоящем научном споре ученые собираются на крупных конференциях и представляют свои результаты на суд научной общественности; при этом любой может эти данные проверить или повторить. В таких научных спорах никогда не бывает недостатка, идет ли речь о дебатах по структуре мышления или ожесточенных спорах о причинах рака.

С другой стороны, разумный замысел не порождает ничего даже отдаленно похожего на научную дискуссию. Вам пришлось бы долго и усердно перерывать научные журналы, чтобы

отыскать хотя бы одну статью с описанием нового важного открытия, сделанного на основании теории разумного замысла. В 2004 г. Discovery Institute торжественно объявил, что один из его сотрудников — Стивен Мейер опубликовал в рецензируемом журнале первую научную работу в поддержку теории разумного замысла. В своем обзоре, опубликованном в журнале *Proceedings of the Biological Society of Washington*, Мейер утверждал, что так называемый Кембрийский взрыв (период, когда появилось большинство видов животных) не мог быть результатом эволюции. Но слава Мейера оказалась недолгой. Очень скоро совет Вашингтонского биологического общества выпустил заявление о том, что бывший редактор, пропустивший статью Мейера, грубо нарушил принятые в журнале правила рецензирования. В заявлении говорилось также, что «не существует достоверных научных данных, которые свидетельствовали бы о том, что разумный замысел — проверяемая гипотеза, способная объяснить происхождение биологического разнообразия. Соответственно, работа Мейера не соответствует научным стандартам *Proceedings*».

Как я уже говорил, происхождение человека — одна из интереснейших областей эволюционной науки. Чтобы понять, почему теория разумного замысла кажется ученым столь бесполезной, достаточно посмотреть, что она может сказать по этому вопросу. В учебнике «О пандах и людях» говорится, что «приверженцы разумного замысла» рассматривают гоминид «как почти обезьян и указывают вместо этого на внезапное появление культуры и определенных схем поведения, которые как раз и отличают человека от высших приматов». В учебнике не объясняется, что такого разумного может быть в мыслителе, который задумал и создал по крайней мере два десятка пород весьма человекообразных обезьян, которые все затем вымерли. Не объясняется, почему более древние из этих пород больше похожи на обезьян, почему у них меньше объем мозга и длиннее руки. Не объясняется, почему более молодые породы постепенно приобретают все боль-

ше общих с человеком черт, почему у них выше рост, больше мозг, все более сложные орудия. Этот учебник ничего не добавляет к нашему пониманию сильного генетического сходства между шимпанзе и человеком и не объясняет, как возникли различия между ними. Он также не предлагает никакой гипотезы о том, где, когда и как впервые появился *Homo sapiens*.

Заметим для справедливости, что приведенная цитата взята из последнего на данный момент издания «О пандах и людях», выпущенного в 1993 г. Может быть, с тех пор сторонники разумного замысла нашли какие-то новые аргументы и могут теперь сказать о происхождении человека что-то более конкретное — ведь за это время сделано множество новых открытий? Едва ли. В 2004 г. в очерке на эту тему Уильям Дембски, математик и теолог Южной баптистской теологической семинарии, укрыв этот вопрос традиционной дымкой неопределенности. «Возможно, есть немалые основания считать, что человек — это переработанная обезьяна, — пишет Дембски. — Но ведь теория дизайнера вовсе не требует, чтобы новые модели создавались непременно в результате модификации старых. Следовательно, существуют, возможно, столь же веские основания считать, что человек возник не в результате переработки уже имеющегося материала, а был построен [sic] заново с нуля. Теоретики разумного замысла еще не пришли к единому мнению по этому вопросу».

Да, конечно, это принципиальный вопрос: создавали нас с нуля или переделывали из обезьян. Интересно, как долго придется ждать, пока они придут к единому мнению?

Контраст между теорией разумного замысла и эволюционной теорией ярче всего проявляется именно в вопросе о происхождении человека. Пока сторонники разумного замысла блуждали в тумане, биологи-эволюционисты успели не только отыскать новые окаменелые останки и разглядеть в ДНК доказательства нашей кровной связи с другими высшими приматами. За несколько первых лет XXI в. они добились поразительных



успехов на пути к пониманию того, как и какие именно генетические изменения помогли нам стать уникальными существами — людьми.

Эти успехи стали возможны благодаря новым статистическим методам, позволяющим увидеть во всем твердую руку естественного отбора. Представьте, что ничем не примечательная мутация изменяет один-единственный нуклеотид — «букву» генетического кода. Такая мутация может привести к одному из двух результатов. Одни мутации изменяют способ конструирования клеткой протеина по генному коду, другие — нет. Ученые называют такие мутации «немолчащими» (экспрессируемыми) и «молчащими» соответственно.

Экспрессируемые мутации ведут к возникновению новых протеинов. Эти протеины могут оказаться полностью деформированными и способными лишь вызывать страшные болезни, а также быть полезными и помочь индивидууму выжить. Естественный отбор может подхватить благоприятную экспрессируемую мутацию и распространить ее настолько, что в конце концов каждый представитель вида будет ее носителем. С другой стороны, молчащие мутации никак не влияют на структуру протеинов. Естественный отбор не в состоянии уничтожить такие мутации или помочь им распространиться. Их судьба — дело случая.

Один из способов распознать руку естественного отбора — подсчитать молчащие и экспрессируемые мутации в человеческом гене. Когда ген подвергается сильному естественному отбору, в нем накапливается множество мутаций, меняющих форму производимого геном протеина. Таких экспрессируемых мутаций в гене оказывается гораздо больше, чем молчащих.

В первые годы XXI в. ученые при помощи этого и других подобных методов обнаружили тысячи генов, которые за 6 млн лет эволюции гоминид подверглись сильному естественному отбору. Ученые могут даже измерить силу естественного отбора,

действовавшего на эти гены. Можно предположить, что гены в первых строках этого списка должны быть связаны с вещами, которые наиболее очевидным образом отличают нас от других животных, — с большим мозгом или прямохождением. В действительности это не так: сильнее всего изменили нашу ДНК пол и болезни.

Как я объясняю в 9-й и 10-й главах книги, именно эти два фактора представляют собой мощнейшую эволюционную силу природы. Поэтому не стоит удивляться тому, что и мы, люди, подчиняемся общему правилу. Вирусы, бактерии и другие патогенные организмы приспосабливались к нашему телу миллионы лет, и от появления новых средств защиты буквально зависело, жить или умереть нашим предкам. Но на новые средства защиты у хозяев паразиты отвечали изобретением новых способов обойти их. Гены, имеющие отношение к болезням и задействованные в этой непрерывной гонке вооружений, за 6 млн лет эволюции гоминид переменялись кардинально.

Эволюция хорошо поработала и над генами, имеющими отношение к созданию яйцеклетки и сперматозоидов. Опыты на животных наглядно продемонстрировали, как половой отбор может тоже превратиться в гонку вооружений. Самцы плодовой мушки, к примеру, во время спаривания впрыскивают самке химические вещества, делающие ее менее восприимчивой к другим самцам. Самки, с другой стороны, изобретают способы нейтрализации этих веществ, что подталкивает самцов к созданию все более мощных составов. Не исключено, что именно эти неосознанные баталии между полами послужили причиной некоторых аспектов интенсивного отбора, действующего на человеческие гены.

Сперматозоиды, возможно, тоже конкурируют между собой. Любой ген, который позволит сперматозоидам стремительно созреть и при этом не реагировать на сигналы, которые в обычной ситуации заставили бы их прекратить деление, породит множество новых сперматозоидов — носителей этого гена. Известно,

что некоторые из таких «генов быстрого развития» активизируются также и в раковых клетках. Ученые подозревают, что это не случайное совпадение. Что хорошо для быстро делящегося сперматозоида, пригодится и для быстро делящихся опухолевых клеток.

Воздействие естественного отбора на мозг было более тонким — но не менее важным. Шесть миллионов лет наши предки обходились втрое меньшим мозгом, чем сегодня у нас. Вероятно, их сознание не слишком отличалось от сознания всех прочих человекообразных обезьян. Они общались между собой при помощи невнятных восклицаний и жестов. Они не умели пользоваться огнем и делать сложные каменные орудия. Они плохо представляли себе, что думают и чувствуют другие особи. В 2001 г. ученые еще не знали ни одного связанного с мозгом гена, в котором заметно было бы действие естественного отбора. Сегодня, когда я пишу эти строки, ученым известны сотни таких генов.

Потребуется, вероятно, масса времени, чтобы собрать результаты всех новых исследований и понять, как именно из мозга примата получился мозг человека. Ученые пока просто не знают очень многого о том, как гены строят мозг. Но первые ключики к этой проблеме уже появляются. Пожалуй, самые многообещающие ключики пока предлагает ген, известный как ASPM. Впервые этот ген привлек к себе внимание ученых тем, что любая его мутация вызывает поистине катастрофический эффект. У детей с мутантными формами этого гена обычно формируется очень маленький мозг — это микроцефалы. У них почти отсутствует внешний слой (кора) головного мозга. Ясно, что ASPM играет в формировании и росте мозга какую-то критически важную роль. К тому же выяснилось, что после отделения предков человека от остальных обезьян этот ген подвергся сильному естественному отбору. Вполне возможно, что ASPM — часть ответа на вопрос о том, откуда у нас такой огромный мозг. Не исключено, что эволюция именно этого гена сыграла важнейшую роль

в разрастании коры головного мозга, отвечающей за абстрактное мышление.

Однако размер — это еще не все. Похоже, помимо всего прочего, естественный отбор сформировал у человека гены, ответственные за определенные типы мышления. Возьмите, к примеру, язык. Как я писал в 2001 г., по некоторым признакам способность усваивать язык у человека является врожденной, а значит, запрограммирована генами. В тот момент, однако, ученым не был известен ни один ген, связанный с усвоением языков. Сегодня один такой ген выявлен. Он был обнаружен в лондонской семье, в которой из поколения в поколение имелись трудности с речью и письмом. В 2002 г. британские ученые объявили, что все члены этой семьи, испытывающие трудности с языком, являются носителями мутантной формы гена, который получил название FOXP2. Позже при помощи сканирования мозга удалось определить, что у людей с мутантной формой FOXP2 менее активен участок мозга, отвечающий за речь и известный как зона Брока.

Затем ученые сравнили человеческий вариант гена FOXP2 с вариантом, присутствующим в геноме других млекопитающих. Очевидно, у других видов, в отличие от человека, FOXP2 не порождает способность к усвоению языка. Но в 2005 г. в эксперименте с мышами удалось показать, что он влияет и на общение животных. Мышата с одной (вместо двух) работающей копией этого гена значительно реже звали писком мать. Те, у кого не оказалось ни одной работающей копии, не пищали вообще.

Сравнение количества экспрессируемых и молчащих мутаций в гене показало, что у человека FOXP2 подвергся интенсивному естественному отбору. Ученые даже определили, когда это произошло: менее 200 000 лет назад. Но ведь и вид *Homo sapiens* впервые появился примерно в это же время! Вообще, полученные результаты указывают на то, что развитый язык — довольно позднее приобретение, появившееся у гоминид сравнительно недавно.

Но естественный отбор на этом не прекратился. В нескольких недавних исследованиях были выявлены гены, эволюция которых пришлась на последние 50 000 лет. Особенно интересны результаты одного из таких исследований, опубликованные в марте 2006 г. учеными Чикагского университета. Они искали признаки естественного отбора, который проходил бы в последние несколько тысяч лет, и в своих поисках исходили из того, что с каждым новым поколением происходит расщепление генов.

Как известно, хромосомы у человека — парные. При формировании яйцеклетки и сперматозоида хромосомы в паре могут обмениваться между собой большими кусками генетического кода. Может случиться так, что один из унаследованных ребенком участков хромосомы несет в себе серьезное репродуктивное преимущество. Тогда со сменой поколений ген, обеспечивающий это преимущество, будет стремительно распространяться по популяции — вместе с соседними генами, расположенными на том же участке хромосомы.

Ученые занялись поисками случаев, когда одни варианты генов, расположенных в ДНК рядом, сочетаются чаще других вариантов. В геноме человека было обнаружено около 700 участков, содержащих такие быстро распространяющиеся гены. Отвечают они за самые разные признаки, от цвета кожи до пищеварения. Кроме того, быстро развивались гены вкуса и обоняния. По оценкам ученых, эти гены активно эволюционировали последние 6000–10 000 лет. Вероятно, толчок к развитию многие из них получили после того, как человек начал переходить к питанию одомашненными животными и растениями. Некоторые гены, имеющие отношение к мозгу, эволюционируют до сих пор. Не может ли подъем цивилизации и богатой человеческой культуры подталкивать их к развитию? Проверьте через пять лет — если все пойдет так, как теперь, у ученых, возможно, уже появятся кое-какие ответы.

Первые годы XXI в. стали временем громадного прогресса эволюционной биологии, но они же увидели и уход из жизни некоторых крупнейших ученых. В 2004 г. в возрасте 84 лет умер английский биолог Джон Мейнард Смит. Именно он первым понял, что можно разобраться в эволюции при помощи методов, позаимствованных из математики и экономики. Среди самых плодотворных его идей – применение в биологии теории игр, или учения о том, как различные стратегии приводят игроков к выигрышу или поражению. Мейнард Смит стал рассматривать организмы как игроков, а их поведение – как стратегию игры. Оказалось, что при таком подходе можно просчитать, какие стратегии благодаря естественному отбору приведут к успеху, а какие – к вымиранию.

Ученые выяснили, что во многих случаях одновременно могут существовать несколько различных вариантов поведения. Самец морского слона, к примеру, может добиваться репродуктивного успеха двумя способами: вызвать на бой доминантного самца или жить тихонько рядом с его гаремом, спариваясь тайком с некоторыми самками. Ученые отыскивали множество таких стратегий, известных как эволюционно стабильные. Вообще, эволюционно стабильные стратегии могут многое рассказать нам и о поведении человека. Гены влияют на личность, интеллект и поведение, и понятно, что все эти факторы могут меняться в широких пределах. Может быть, за миллионы лет вся совокупность генов тоже достигла эволюционно стабильного состояния. Эти игры могут также дать нам представление о том, как внутри нашего вида возникло такое странное явление, как сотрудничество.

В книге «Эволюция: триумф идеи» я рассказываю, как в 1920-х гг. молодой орнитолог по имени Эрнст Майр исследовал острова Тихого океана и одновременно заложил фундамент современных представлений о том, что такое виды и как они возникают. Майр умер в 2005 г. в возрасте 100 лет. Последние десятилетия своей жизни он с интересом и удовольствием на-

блюдал, как его идеи вдохновляют новые поколения биологов и как молодые ученые идут дальше него. «Новые исследования внушают активному эволюционисту оптимизм, — писал Майр незадолго до смерти. — Они дают понять, что эволюционная биология бесконечна и поле для новых открытий по-прежнему велико. Жаль только, что я не смогу быть свидетелем дальнейшего развития событий».

Как ни печально, Стивену Джею Гулду не досталось долголетия Мейнарда Смита и Майра, он умер в 2002 г. в возрасте 60 лет. Когда — всего годом раньше — он оказал мне честь, написав предисловие к моей книге, я никак не думал, что он покинет нас так скоро. Я был горд тогда, а сейчас горжусь еще больше — ведь «Эволюция» навсегда связана с его именем. Гулд проявил себя и как ученый, и как писатель. Он призывал биологов думать об эволюции по-новому, о чем бы ни шла речь — о древних окаменелостях или об эмбрионах. За последние 150 лет мало кому из писателей удавалось так же ярко, как Гулд, представить эволюционную биологию широкой публике. Именно этим трем великим ученым — и будущим эволюционным биологам — вновь посвящаю я эту книгу.

## ВВЕДЕНИЕ

Вспомним известную легенду (может быть, это даже правдивая история) из времен зарождения дарвинизма. Она послужит нам хорошей организующей темой и поможет понять центральную роль и значение теории эволюции как в науке, так и вообще в жизни людей. Видная английская леди, жена лорда или, может быть, епископа (да, епископы англиканской церкви могут вступать в брак), сказала мужу, впервые услышав о пугающей новинке — эволюции: «О дорогой, будем надеяться, то, что говорит мистер Дарвин, окажется неправдой. Но если это правда, будем надеяться, что это не станет известно всем!»

Ученые любят пересказывать эту известную историю и смеяться над ограниченностью старых взглядов и воспитания, особенно над забавной картинкой: привилегированные классы прячут революционные факты в ящик Пандоры и допускают к ним только своих. Таким образом, дама из этого анекдота входит в историю как олицетворение дуры-патрицианки. Позвольте мне, однако, хотя бы для целей данного введения перекрестить ее в пророчицу. Ибо то, что говорил мистер Дарвин, безусловно, оказалось правдой, но так и не стало известно всем (и даже не признано всеми, по крайней мере в США, хотя для западного



мира эта ситуация уникальна). Нам необходимо разобраться в причинах такой необычайно забавной ситуации.

## ЭВОЛЮЦИЯ РЕАЛЬНА

Перед наукой стоит двоякая задача: во-первых, определить по мере возможности эмпирический характер окружающего мира; во-вторых, понять, почему наш мир устроен именно таким, а не каким-то иным возможным, но нереализованным образом. Иными словами, задача науки — устанавливать факты и проверять теории. Мы, профессионалы, не устаем повторять, что наука не в силах установить абсолютную истину; таким образом, наши выводы всегда остаются предположительными. Но здоровый скептицизм не должен переходить в нигилизм, и мы, безусловно, можем утверждать: некоторые факты установлены с достаточной достоверностью, чтобы обозначить их как «истину» в любом законном, общепринятом смысле этого слова. (Возможно, я не могу быть абсолютно уверен в том, что Земля круглая, а не плоская, но приблизительно сферическая форма нашей планеты подтверждена достаточно, чтобы мне не нужно было предоставлять «обществу плоской Земли» равное — или хоть какое-то — время в школьной программе.) Эволюция — фундаментальная организующая концепция всех биологических наук — подтверждена в не меньшей степени и может потому быть обозначена как истинная или фактическая.

Говоря о реальности эволюции, мы должны всегда проводить различие — как это всегда делал и Дарвин — между простым *фактом* эволюции (определяемой как генеалогическая связь между всеми земными организмами на базе происхождения от общего предка и история любой наследственной линии как процесс передачи свойств с модификациями) и *теориями*, такими как Дарвинов естественный отбор, предложенными для объяснения причин эволюционных изменений.

Фактическую сторону эволюции лучше всего иллюстрируют три группы доказательств. Поначалу это были непосредственные наблюдения, которые с 1859 г., когда вышла книга Дарвина, развивались в русле его теории, но, кроме того, опирались на данные за длительные периоды селекции растений и домашних животных с целью выведения лучших образцов. Это обеспечило сотни тщательно задокументированных примеров небольших изменений, которых, согласно теории, можно было ожидать на таком небольшом с геологической точки зрения промежутке времени. Сюда же можно отнести известные примеры со сменой окраски крыльев у мотыльков в ходе адаптации к потемнению окружающих поверхностей из-за копоти производственного происхождения, изменением формы клюва у галапагосских вьюрков вслед за изменениями климата и пищевых ресурсов и развитие резистентности к антибиотикам у многочисленных штаммов бактерий. Никто — даже среди креационистов — не отрицает небольших изменений, тем более что доказательств тому вполне достаточно, но нам нужны также данные о том, что подобные мелкие изменения могут накапливаться за геологически значимое время и складываться в принципиально новые черты, на которых строится история растущего разнообразия жизни.

За этими данными нам придется обратиться ко второй категории прямых доказательств — к данным ископаемой летописи, отражающей переходные стадии крупнейших изменений. Одно из распространенных представлений, ставших притчей во языцех, состоит в том, что переходных форм не существует, а палеонтологи, фанатики эволюции, либо скрывают этот факт от широкой публики, либо утверждают, что палеонтологическая летопись слишком неполна, чтобы в ней сохранились переходные формы, которые должны были когда-то существовать. На самом деле, хотя палеонтологическая летопись и правда весьма неравномерна (в конце концов, это проблема практически всех исторических документов), неустанные усилия палеонтологов

вскрыли множество очевидных примеров целых цепочек переходных форм (а не единственное «промежуточное звено»), которые в правильном хронологическом порядке соединяют предка с очень разными потомками. Можно вспомнить возникновение китов из сухопутных млекопитающих предков через несколько промежуточных стадий, включающих *Ambulocetus* (буквально «ходячий кит»), развитие птиц из мелких двуногих динозавров, происхождение млекопитающих от пресмыкающихся предков и увеличение втрое размеров мозга за последние 4 млн лет эволюции человека.

Наконец, третья основная категория — не прямые, но повсеместные свидетельства, которые позволяют нам выдвигать достоверные предположения о прошлом на основании странных особенностей и несовершенств, присутствующих во всех современных организмах. Эти странности можно объяснить только одним способом: это остатки в остальном изменившегося, унаследованного состояния, т. е. продукты эволюции. Этот принцип помогает при анализе не только биологической эволюции, но и любых других исторических последовательностей. Мы можем предположить, что несколько городов, расположенных вдоль одной линии на примерно равных расстояниях, когда-то связывала заброшенная ныне железнодорожная ветка (иначе такое расположение трудно объяснить). Мы можем увидеть сельскохозяйственное прошлое народа во множестве слов, которые сегодня, в индустриальном обществе, приобрели совершенно иное значение. К примеру, слово *broadcast* (трансляция, радиовещание) означает еще способ посева, откуда и берет свое начало; слово *pecuniary* (денежный) получило финансовый смысл в те времена, когда материальное благополучие определялось поголовьем скота, и происходит от латинского *pecus* — корова. Точно так же и живые организмы несут в себе бесполезные остатки функциональных когда-то структур, которые невозможно объяснить иначе, чем как наследие далеких

предков — рудименты костей ног, скрытые в коже некоторых китов, или ненужные остатки тазовых костей у некоторых змей, сохранившиеся как рудименты конечностей, которыми обладали их предки.

## ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ НЕДОСТАТОЧНО ХОРОШО ИЗВЕСТНА И ПРИЗНАНА

Ни одна научная революция не может сравниться с открытием Дарвина по степени паники и волнений, вызванных ею в обществе; как ни странно, теория эволюции стала прямой угрозой комфорту и незыблемости нашего существования. Пожалуй, единственная мыслимая аналогия — это Коперник и Галилей, которые превратили Землю из центра Вселенной в небольшое тело, обращающееся по орбите вокруг центрального светила вдалеке от центра Галактики. Но эта космическая реорганизация задела лишь наши представления о внешнем мире; с другой (и более глубокой) стороны, Дарвинова эволюция резко изменила наш взгляд на собственную сущность и значение (в той степени, в какой это вообще под силу науке): кто мы? Как мы сюда попали? Как и каким образом связаны с другими существами?

Эволюция предложила нам холодное натуралистическое объяснение взамен прежнего убеждения в том, что некое доброе божество сотворило нас непосредственно по образу и подобию своему и повелело нам владеть Землей и всеми остальными существами — и что вся земная история за исключением первых пяти дней творения прошла под нашей владетельной дланью. Однако с точки зрения эволюции человечество представляет собой всего лишь крохотную веточку на громадном, пышном и ветвистом древе жизни, где все ветви взаимосвязаны общим происхождением, — причем древо это (насколько может судить наука) растет по строгим естественным законам. Более того, уникальная веточка *Homo sapiens* появилась по геологическим

меркам лишь вчера и процветает пока всего лишь мгновение космического ока. (Около 100 000 лет существует наш вид, и всего 6–8 млн лет назад вся наша наследственная линия отделилась от линии наших ближайших живых родственников — шимпанзе. Для сравнения: древнейшим бактериальным окаменелостям Земли 3600 млн лет.)

Нам, возможно, было бы легче смириться с этими фундаментальными фактами, если бы можно было примирить теорию эволюционных перемен с прежними удобными представлениями о необходимости и изначальной избранности человека. Так, достаточно широко распространено заблуждение о том, что эволюция подразумевает движение в предсказуемом и обязательно прогрессивном направлении, что появление человека (хотя и запоздавшее) было неизбежным и представляло собой кульминацию эволюционных перемен. Но самое наше удачное представление о том, как работает эволюция, — имеется в виду наиболее предпочтительная *теория* о механизмах эволюции, а не *фактология эволюции*, которая рассмотрена в предыдущем разделе) — не позволяет нам даже такого идеологического комфорта. Ибо лучшая и притом хорошо обоснованная теория — Дарвинов естественный отбор — не предлагает никакого утешения и не обеспечивает поддержки традиционным надеждам человечества на собственную необходимость и космическую значимость.

Иногда я спрашиваю себя: почему теория эволюции, истинная по самым строгим научным критериям, не приобрела в США ни широкой известности, ни признания — и это почти через 150 лет после публикации Дарвина, к тому же в самой технологически развитой стране мира? В ответ я могу только предположить, что мы неверно понимаем дарвинизм и самые общие следствия из него. Вероятно, многим представляется, что эта доктрина скучна или в корне противоречит нашим духовным надеждам и чаяниям, хотя на самом деле она этически нейтральна и интеллектуально привлекательна. В результате

общество отказывается принимать самую достоверную общепризнанную биологическую концепцию нашего времени. Поэтому я обращаюсь скорее к смыслу дарвинизма или последствиям теории эволюции (а не просто к пониманию эволюционной фактологии), так как моя основная задача — объяснить, почему столь очевидный факт не приобрел всеобщей известности.

Неспособность общества понять Дарвинову теорию естественного отбора невозможно приписать какой-то ее чрезмерной сложности: ни одна великая теория не могла похвастать такой простой структурой (всего три неоспоримых факта) и почти силлогическими выводами. (В знаменитом — и, кстати говоря, правдивом — историческом анекдоте Томас Генри Гексли, прочтя «Происхождение видов», смог сказать только: «Как глупо, что я сам не подумал об этом».) Первый факт: все организмы производят на свет больше детенышей, чем может выжить даже при благоприятных условиях. Второй: все особи внутри вида различаются между собой. Третий: по крайней мере некоторые из вариаций наследуются потомством. Из этих трех фактов несложно вывести главный принцип естественного отбора: поскольку выжить может лишь часть потомства, в среднем этими счастливчиками окажутся те из вариантов, которым повезло оказаться лучше приспособленными к меняющимся условиям окружающей среды. Поскольку детеныши наследуют благоприятные признаки родителей, следующее поколение окажется в среднем лучше адаптировано к местным условиям.

Понимание этого простого механизма не представляет никакой сложности; другое дело — далеко идущие и радикальные философские выводы. Дарвин и сам прекрасно понимал, что его теория постулирует причинно-следственную связь, лишенную таких традиционных психологических плюсов, как гарантия прогресса, принцип естественной гармонии и какое бы то ни было представление об изначальной цели и смысле существования. Механизм, предложенный Дарвином, может лишь помогать виду

адаптироваться к условиям среды, которые бессистемно меняются со временем; он не придает движению ни цели, ни прогрессивного направления. (В системе Дарвина какой-нибудь паразит, примитивный анатомически до такой степени, что представляет собой всего лишь мешочек пищеварительной и репродуктивной ткани внутри тела хозяина, может оказаться столь же приспособленным и рассчитывать в будущем на такой же успех, как самый развитый млекопитающий хищник саванны, хитрый, быстрый и ловкий.) Более того, организмы могут быть прекрасно устроены, а экосистемы гармоничны, но эти общие черты возникают не как результат действия какого-то естественного принципа и скрытого стремления к «высшей» цели, а лишь вследствие бессознательной борьбы отдельных особей за личный репродуктивный успех.

Предложенный Дарвином механизм поначалу может показаться скучным и невыразительным, но более пристальный взгляд заставляет принять естественный отбор (и несколько других законных эволюционных механизмов, такие как прерывистое равновесие и катастрофические массовые вымирания) по двум причинам. Во-первых, высвобождает серьезный практический потенциал — знание естественных механизмов природы дает возможность лечить и исцелять недуги, коль скоро они вызваны природными вредными факторами. К примеру, если мы узнаем, как эволюционируют бактерии и другие болезнетворные организмы, мы сможем понять — а может быть, и побороть — механизм возникновения резистентности к антибиотикам или необычную скорость мутаций у вируса ВИЧ. Кроме того, если мы поймем, насколько недавно так называемые человеческие расы отделились от общего африканского предка, и измерим крохотные генетические различия между ними, мы сможем наконец осознать, что расизм — бич человеческих отношений на протяжении многих веков — не имеет никаких оснований.

Во-вторых — в более общем плане — «холодный душ» дарвинизма и взгляд в лицо реальности должны помочь нам отказаться наконец от извечной ложной надежды на то, что у нашей жизни есть какой-то особый смысл, а у человеческой расы — изначальное превосходство; нам всегда хотелось верить, что эволюция существует для того, чтобы произвести на свет человека — венец и высшую цель развития жизни на планете. Однако фактическое состояние Вселенной, каким бы оно ни было, не может сказать нам, *как надо жить* или *какой в нашей жизни должен быть смысл*. Эти этические вопросы о смысле и ценностях относятся к таким разным областям человеческой жизни, как религия, философия и гуманистические учения. Факты окружающего мира могут помочь нам осознать цель жизни, если мы сами уже приняли этическое решение на других основаниях, — точно так же, к примеру, как тривиальные генетические различия между группами людей могут помочь нам осознать единство рода человеческого — после того как мы признаем неотъемлемое право каждого на жизнь, свободу и стремление к счастью. Факты — это всего лишь факты, несмотря на всю их увлекательность, красоту и иногда неприятную необходимость (очевидный пример — телесная немощь и смерть); этика, нравственность и духовность относятся к другим областям человеческого знания.

Полагая, что фактическая природа вещей соответствует нашим надеждам и чаяниям — все на свете ясно и красиво, все создано для нас, высших существ, — мы легко попадали в ловушку и считали, что все устроено именно так, как должно быть. Но когда мы одержимы иным интересом — интересом к естественным эволюционным путям, поразительному богатству жизни, к богатейшей истории перемен, где *Homo sapiens* представляет собой всего лишь одну веточку роскошнейшего из всех деревьев, — мы наконец свободны и можем отделить поиск этической истины и духовного смысла от научных исследований, направленных на понимание природных фактов и механизмов. Дарвин, говоря



о «величии такого представления о жизни» (процитируем последнюю строку «Происхождения видов»), освободил нас; мы не должны теперь требовать от природы слишком много и можем свободно познавать то страшное и манящее, что может скрываться «по ту сторону», в полной уверенности, что нашим поискам благопристойности и смысла это никак не угрожает и что источник их кроется исключительно в нашем нравственном сознании.

*Стивен Джей Гулд,  
Музей сравнительной зоологии,  
Гарвардский университет*



## ЧАСТЬ I

# **Нескорая победа: Дарвин и становление дарвинизма**



## ДАРВИН И «БИГЛЬ»

В конце октября 1831 г. в доках английского города Плимут стояло 90-футовое каботажное судно «Бигль» — военный корабль Его Величества. Судно было облеплено матросами, они бегали и суетились на палубе, как муравьи. Все были заняты серьезным делом — снаряжали корабль для кругосветного плавания, которое должно было продлиться пять лет. В трюм корабля одну за другой закатывали бочки с мукой и ромом, а палуба была заставлена деревянными ящиками, в каждом из которых на толстом слое опилок покоился экспериментальный хронометр. Путешествие имело научные цели: предполагалось по заданию британского адмиралтейства испытать несколько образцов новых морских хронометров, от точности хода которых целиком и полностью зависела точность определения долготы в море и, соответственно, точность навигации. Кроме того, предполагалось составлять подробные карты, поэтому в кормовой каюте стояло несколько сундуков из красного дерева, набитых морскими картами. Стальные пушки, которых на «Бигле» до этого было десять штук, перед этим плаванием заменили на бронзовые, чтобы компасы корабля не испытывали никаких, даже случайных, воздействий.

Среди суеты первых сборов мыкался человек 22 лет от роду. Он явно чувствовал себя не в своей тарелке — не только потому, что человеку шести футов ростом всегда неуютно на крохотном бриге, но и потому, что молодой человек сам с трудом понимал, что делает на корабле. Никакой официальной должности у него не было; его пригласили составить капитану компанию на время путешествия и сыграть роль натуралиста-любителя. Обычно роль натуралиста брал на себя корабельный хирург, но наш неловкий молодой человек не обладал никакой медицинской квалификацией. Учебу в медицинской школе он оставил и подумывал после окончания путешествия стать сельским пастором. В то время уважаемых профессий было не так уж много. Молодой человек успел уже загрузить в кормовую каюту банки для образцов, микроскоп и остальное снаряжение и теперь не знал, чем заняться. Он попытался помочь с калибровкой хронометров помощнику судового эксперта, но оказалось, что его знаний математики не хватает даже для самых простых, базовых вычислений.

Неловкого молодого человека звали Чарльз Дарвин. Через пять лет, когда «Бигль» вернется в Англию, он будет по праву считаться одним из самых многообещающих молодых ученых Британии. А впечатления, полученные во время путешествия, помогут ему сформулировать самую важную идею в истории биологии — идею, которая навсегда изменит представление человечества о его месте в естественном ходе событий. Пользуясь данными, собранными во время плавания на «Бигле», Дарвин наглядно покажет, что природа не была создана в том виде, какова она сегодня. Жизнь развивается: это происходит постепенно, и изменения заметны на больших промежутках времени, а движущей силой изменчивости служат законы наследственности. Таким образом, нет никакой нужды в божественном вмешательстве. А человек вовсе не венец и не цель божественного творения, а всего лишь биологический вид, один из многих, и тоже результат эволюции.

Своей теорией Дарвин ввергнет викторианскую Англию в настоящий шок — и одновременно предложит иной взгляд на жизнь, обладающий собственной стройностью и даже величием. Сегодня ясно, что эволюция — это связующее звено между человечеством и юностью Земли, кометными ливнями и губительными звездными ветрами начала времен. Эволюция создала сельскохозяйственные культуры, которыми мы питаемся, а теперь помогает насекомым их уничтожать. Она помогает разобраться в медицинских загадках, понять, как безмозглая бактерия умудряется обхитрить лучшие ученые умы. Она предостерегает тех, кто готов бесконечно брать у Земли; показывает, как возникал разум у наших предков — обезьян. Конечно, то, что эволюция говорит о нашем месте во Вселенной, может нам не нравиться, но Вселенная от этого не становится менее интересным местом.

Корабль Его Величества «Бигль» сегодня помнят только потому, что на нем совершил свое кругосветное путешествие Дарвин. Но если бы в тот день 1831 г. вы сказали об этом матросам, закатывавшим в трюм бочки, они, скорее всего, рассмеялись бы вам в лицо и даже не взглянули на молодого человека, который из всех сил пытался делать вид, что все идет как надо.

«Моя основная задача, — писал Дарвин родным из Плимута, — подняться на борт “Бигля” и попытаться выглядеть как моряк, насколько это получится. Не похоже, что мне удастся провести хотя бы одного человека, будь то мужчина, женщина или ребенок».

## В ПОИСКАХ ЖУКОВ И РЕСПЕКТАБЕЛЬНОСТИ

Дарвин вырос в Шропшире, на берегах реки Северн. Мальчик собирал камешки и птиц и даже не подозревал, как ему повезло. Его мать Сюзанна происходила из богатой семьи Веджвудов, производителей одноименного фарфора. Отец Роберт, хотя и был потомком менее богатого рода, сделал себе состояние сам — он

работал врачом и потихоньку давал деньги в рост своим пациентам. Со временем он стал достаточно богат, чтобы построить для своей семьи большой особняк — the Mount — на холме над Северном.

Чарльз был очень близок со своим старшим братом Эразмом, мальчики понимали друг друга без слов, почти телепатически, как иногда бывает между братьями. Подростками они соорудили собственную лабораторию, где занимались опытами со всякими химикатами и кристаллами. Когда Чарльзу было 16 лет, Эразм отправился в Эдинбург изучать медицину. Отец послал вместе с ним и Чарльза; некоторое время он должен был просто пожить с братом, а затем и сам поступить в медицинскую школу. Чарльз был рад такому повороту событий — ему не хотелось расставаться с братом, да и приключения влекли юношу.

Эдинбург шокировал Чарльза и Эразма нищетой и грандиозностью большого города. Мальчики, выросшие в тихой деревенской местности, где жили герои романов Джейн Остин, впервые увидели городские трущобы. Вокруг бурлили политические страсти — шотландские националисты, якобиты и кальвинисты соперничали за влияние на церковь и страну. В Эдинбургском университете им приходилось сталкиваться с разнузданностью студентов, кричавших и паливших из пистолетов прямо на лекциях. Чарльз и Эразм отстранились от остальных и предпочитали общество друг друга. Они проводили время за разговорами, прогулками по берегу моря, чтением газет и посещением театра.

Чарльз очень быстро понял, что ненавидит медицину. Лекции вызывали у него тоску, вскрытие трупов повергало в шок, операции — а часто это были ампутации без анестезии — приводили в ужас. С удовольствием он занимался только естественной историей. Но даже поняв, что никогда не сможет стать врачом, Чарльз долго не решался сообщить об этом отцу. Приехав домой на летние каникулы, он старательно избегал разговоров на эту тему; вместо этого юноша бродил с ружьем по холмам, стрелял



птиц и учился делать из них чучела. Надо сказать, что Дарвин и позже, практически всю жизнь, старательно избегал конфликтов и противостояний.

После летних каникул Роберт Дарвин решил отослать Эразма для продолжения обучения в Лондон. В октябре 1826 г. Чарльз вернулся в Эдинбург один, и теперь только занятия естественной историей отвлекали его от той жизни, которую он успел возненавидеть всей душой. Он познакомился и даже подружился с эдинбургскими натуралистами, в том числе с зоологом Робертом Грантом, который взял молодого человека под свое крыло. По образованию Грант был врачом, но давно отказался от практики и стал одним из известнейших в стране зоологов. Он изучал морские полипы, губки и других существ, о которых ученые того времени практически ничего не знали. Грант оказался хорошим наставником. «В общении он был сдержан и чересчур официален, но под внешней сухостью скрывался настоящий энтузиазм», — писал позже Дарвин. Грант преподавал Чарльзу тонкости зоологии: к примеру, как препарировать морских существ под микроскопом, не извлекая их из морской воды. Дарвин, в свою очередь, показал себя способным учеником; так, он первым в мире увидел, как танцуют в воде мужские и женские половые клетки морских водорослей.

В 1828 г. Дарвин вернулся домой после второго года в Эдинбурге. Он больше не мог молчать и наконец признался отцу, что не способен стать врачом. Роберт Дарвин был в ярости. Он сказал Чарльзу: «Тебя ничего не интересует, кроме охоты, собак и ловли крыс. Ты опозоришь и себя, и всю семью».

Роберт вовсе не был плохим отцом. Его сыну предстояло унаследовать приличное состояние, и Роберт не хотел, чтобы тот навсегда остался лишь богатым бездельником. Помимо медицины Роберт мог представить лишь одно уважаемое занятие, доступное для его упрямого младшего сына, — религию. Дарвины не были особенно религиозны — а Роберт втайне вообще

сомневался в существовании бога, — но в Британии профессия священника всегда означала благополучие и респектабельность. Чарльз, хотя и не испытывал влечения к церкви, согласился с планом отца и на следующий год отправился в Кембридж изучать теологию.

Следует отметить, что Дарвин так и не стал прилежным студентом; он гораздо чаще посвящал свое время ловле жуков, чем изучению Библии. Он бродил в поисках насекомых по пустошам и лесам; чтобы добыть редкий вид, мог нанять рабочего, который соскребал для него мох со ствола дерева или накопившуюся грязь со дна речной баржи, груженной тростником. Что же касается будущего, то Дарвин мечтал не о хорошем приходе, а о том, чтобы навсегда покинуть Англию.

Он читал о путешествиях Александра фон Гумбольдта по бразильским дождевым лесам и через Андский хребет и мечтал тоже отправиться в путешествие; молодому человеку хотелось сделать какое-нибудь открытие и понять, как устроена и живет природа. Гумбольдт с восторгом отзывался о Канарских островах с непроходимыми джунглями низин и покрытыми растительным ковром склонами вулканов — и Дарвин начал планировать экспедицию. Он отыскал в Кембридже преподавателя Мармадюка Рэмси, который готов был отправиться с молодым человеком на Канары. Он пытался освоить практическую геологию и даже проработал несколько недель в Уэльсе помощником кембриджского геолога Адама Седжвика. Однако после возвращения из этой экспедиции, когда Дарвин готов был всерьез приняться за подготовку к путешествию на Канарские острова, пришло неожиданное сообщение. Умер Мармадюк Рэмси.

Дарвин был в отчаянии. Он уехал домой, даже не представляя, чем будет заниматься дальше. Но дома его уже ждало письмо от другого кембриджского профессора — Джона Стивенса Хенслоу. Хенслоу спрашивал, не хочет ли Дарвин отправиться в кругосветное путешествие.

## ОДИНОКИЙ КАПИТАН

Предложение исходило от Роберта Фицроя, капитана «Бигля». Перед Фицроем поставили две задачи: обогнуть мир и, пользуясь точнейшими хронометрами нового поколения, нанести на карту участки побережья Южной Америки. Аргентина и ее соседи в тот момент только вышли из-под контроля Испании, и Британии, рассчитывавшей проложить новые торговые пути, срочно требовались точные карты прибрежных вод.

Капитану Фицрою было всего двадцать семь лет, но будущее кругосветное путешествие должно было стать для него уже вторым самостоятельным плаванием на «Бигле». Фицрой был отпрыском аристократического семейства, владевшего обширными землями в Англии и Ирландии; кроме того, в Королевском морском колледже Роберт показал большие успехи в изучении математики и естественных наук. Он служил в Средиземном море и Буэнос-Айресе, а в 1828 г. в возрасте 23 лет был назначен капитаном «Бигля». Предыдущий капитан сошел с ума, занимаясь картографической съемкой островов Огненной Земли, принимающих на себя всю ярость океана. Плавание было тяжелым, погода отвратительной; в команде зрел бунт, а дурные карты заставляли судно бессмысленно кружить по одним и тем же местам. «В человеке умирает душа», — записал капитан в судовом журнале и застрелился.

Капитан Фицрой олицетворял странную смесь добропорядочности и страстности, аристократических традиций и современной науки, миссионерского пыла и одинокого отчаяния. В первом плавании в качестве капитана «Бигля» во время картографической съемки Огненной Земли местные индейцы украли у него одну из корабельных шлюпок. Фицрой в ответ захватил заложников, однако большинству из них удалось бежать. Оставшиеся, двое мужчин и девушка, никуда, казалось, не хотели уходить с корабля, и Фицрой неожиданно решил увезти

их в Англию, обучить и вернуть назад, чтобы они могли обратиться братьев-индейцев в истинную веру. По пути домой он подобрал еще одного индейца — просто купил за перламутровую пуговицу. В Англии один из индейцев умер от оспы, но Фицрой по-прежнему рассчитывал цивилизовать оставшихся и вернуть их на Огненную Землю во время второго плавания вместе с миссионером, который тоже должен был остаться среди индейцев, чтобы нести им свет истины.

Фицрой решил, что для предстоящего путешествия ему нужен спутник-джентльмен. Капитаны в то время не общались на равных с офицерами и членами команды, и случалось, что вынужденное одиночество сводило человека с ума — к тому же на этом корабле, можно сказать, витал призрак прежнего капитана-самоубийцы. А у Фицроя был дополнительный повод для тревоги. В свое время его дядя, потерпев крах в политике, перерезал себе горло. Что, если и сам он окажется подверженным припадкам опасной депрессии? (Вообще говоря, его опасения были не беспочвенными. Через тридцать с чем-то лет Фицрой, находясь в глубокой депрессии из-за близкого конца морской карьеры, перерезал себе горло.)

Фицрой попросил организатора экспедиции Фрэнсиса Бофорта подыскать ему подходящего спутника. Они договорились, что неофициально спутник этот будет выступать в роли естествоиспытателя и описывать встреченных во время плавания животных и растения. К тому же Фицрой хотел, чтобы это был джентльмен, т.е. человек, способный поддерживать интеллектуальную беседу и избавить капитана от душевной пустоты.

Бофорт связался со своим кембриджским другом Хенслоу. Хотя предложение показалось заманчивым, Хенслоу решил, что не может принять его и оставить надолго жену и ребенка. Он предложил место недавнему выпускнику Кембриджа Леонарду Дженинсу; тот поначалу согласился и даже успел упаковать вещи, но затем передумал. Он только что получил приход

и считал неразумным уходить в отставку так скоро. Тогда Хенслоу обратился к Дарвину. Для Чарльза, мечтавшего о Канарских островах, кругосветное путешествие даже превосходило его ожидания; к тому же у него не было ни семьи, ни должности, ничто не удерживало его в Англии — и он ухватился за это предложение.

Отец, правда, не разделял восторг и нетерпение сына. Его беспокоили тяжелые условия плавания на парусном корабле, и казалось, что сын утонет. Кроме того, он считал, что военный флот — не место для джентльмена, а будущему священнослужителю и вовсе не пристало лететь очертя голову на край света. Если Чарльз отправится в это путешествие, надежду на то, что когда-нибудь он станет вести размеренную благопристойную жизнь, можно оставить. Чарльз мрачно написал Хенслоу, что отец не одобряет его намерений.

Но Роберт Дарвин и сам еще не принял окончательного решения. Когда сын поехал в имение Веджвудов, чтобы развлечься охотой, Роберт отправил с ним записку к своему шурину Джозефу Веджвуду. Он объяснил свое нежелание отпустить сына в кругосветное путешествие, но добавил: «Если вы думаете иначе, я хочу, чтобы он последовал вашему совету».

Чарльз объяснил ситуацию Веджвуду, и тот немного приободрил племянника. После этого он написал Роберту письмо, в котором доказывал, что занятия естественной историей приличествуют священнослужителю больше, чем кому бы то ни было, и что плавание — редкая возможность «увидеть людей и мир, что удастся немногим». Отослав рано утром письмо, Веджвуд попытался отвлечь Чарльза охотой на куропаток, но уже в 10 часов утра оба они выехали в Маунт, чтобы при встрече убедить отца молодого человека. По приезде они обнаружили, что Роберт успел уже прочитать письмо и сдаться. Он дал сыну свое благословение и денег на путешествие, а сестры снабдили Чарльза рубашками.

Дарвин написал Фрэнсису Бофорту письмо с просьбой не обращать внимания на его предыдущее письмо с отказом, адресованное Хенслоу: он все же поплывет на «Бигле». Он сразу же начал готовиться к путешествию, хотя ни разу еще не встречался с Фицроем. А вскоре до него дошли слухи о том, что капитан вполне может передумать. Фицрой вдруг — впрочем, для него такая непоследовательность была обычна — начал говорить знакомым, что место уже занято неким его приятелем, и известие об этом дошло до Дарвина.

Чарльз был растерян и расстроен, но, несмотря на слухи, явился в Лондон на заранее назначенную встречу с Фицроем. Уставившись невидящими глазами в окно наемного экипажа, он мрачно размышлял о том, что второе намеченное путешествие может сорваться так же внезапно, как первое.

При встрече Фицрой попытался отговорить Дарвина от участия в путешествии. Плавание на таком небольшом судне, говорил он, будет ужасным: тесно, неудобно, дорого и, может быть, даже не совсем вокруг света. Но Дарвин не сдавался. Напротив, он сумел очаровать Фицроя приятными манерами пастора, глубокими научными познаниями, характерным кембриджским выговором и подчеркнутой почтительностью. К концу встречи Фицрой был покорен. Решено: они поплывут вместе.

— Горе вам, жуки Южной Америки! — провозгласил Дарвин.

## СОЗИДАНИЕ ЗЕМЛИ

В октябре 1931 г., приехав в Плимут с несколькими сундуками книг и научного оборудования, Дарвин привез с собой и обычные для того времени представления о Земле и жизни на ней. Преподаватели в Кембридже учили его, что, узнавая больше об окружающем мире, можно познать Господню волю. Но чем больше узнавали о мире британские ученые, тем тяжелее им было полагаться на Библию как на единственный безошибочный источник.

Британские геологи, к примеру, не могли безоговорочно принять за истину утверждение о том, что мир существует всего несколько тысяч лет. Когда-то человеку достаточно было буквально верить в то, что человечество было создано Богом в первую неделю творения. В 1658 г. Джеймс Ашшер, архиепископ города Арма, определил возраст нашей планеты при помощи Библии и исторических записей. Он объявил, что Бог создал Землю 22 октября 4004 г. до Р.Х. Вскоре, однако, стало ясно, что Земля сильно изменилась с момента творения. Геологи обнаружили окаменелости моллюсков и другие признаки морской жизни в геологических слоях на изломах скал. Вряд ли Господь поместил их туда в момент создания Земли. Поначалу ученые рассматривали эти окаменелости как останки животных, уничтоженных Всемирным потопом. Считалось, что, когда океан покрыл Землю, трупы этих животных оказались погребены в донных отложениях ила, из которого затем сформировались скальные породы; позже, когда океан отступил, некоторые из них поднялись на поверхность и образовали скалы и горы.

Однако к концу XVIII в. геологи в большинстве своем уже оставили попытки втиснуть историю Земли в несколько тысяч лет с единственным переломным моментом — уникальным катастрофическим потопом. Некоторые из них утверждали, что, когда планета только возникла, она была целиком покрыта океаном, на дне которого медленно, слой за слоем, формировались граниты и другие горные породы. Отступая, океан обнажил часть скал, которые затем подверглись эрозии и сформировали новые слои.

Другие геологи утверждали, что силы, формирующие поверхность Земли, исходят изнутри. Джеймс Хаттон, шотландский фермер-джентльмен, представлял себе, как горячая расплавленная кора планеты выталкивает из себя гранит, создает вулканы в одних местах и поднимает огромные участки земной поверхности в других. Дожди и ветры вызывают эрозию гор и других выступающих частей планеты; обломки уносятся

в океан и образуют осадочные породы и новые скалы, которые поднимутся над уровнем моря позже, во время следующего цикла в бесконечной череде созидания и разрушения. Хаттон рассматривал Землю как прекрасно сделанный вечный двигатель, который к тому же постоянно поддерживает сам себя в пригодном для жизни состоянии.

В горах Шотландии Хаттон нашел подтверждения своей теории. Он обнаружил гранитные жилы, уходящие вверх, в осадочные породы. Он обнаружил места, где верхние осадочные породы лежали правильно, т. е. горизонтально, и где под ними можно было наблюдать другие слои, развернутые практически вертикально. Эти нижние слои, утверждал Хаттон, когда-то сформировались в древнем океане, а затем были спрессованы и подняты подземными силами на поверхность, где подверглись дождевой эрозии. Позже эти спрессованные слои вновь оказались под водой, и поверх них образовался новый слой осадочных пород. В конце концов вся конструкция была вновь вытолкнута на поверхность, где и образовала скальные выходы, которые обнаружил Хаттон.

— Естественно, возникает вопрос о времени, — сказал Хаттон, впервые предлагая общественности новую теорию. — Какой промежуток времени потребовался на такую гигантскую работу?

Его собственный ответ был: очень много. Говоря точнее, он представлял себе «бесконечный промежуток времени».

Хаттон открыл фундаментальный принцип, согласно которому меняется Земля. Принцип этот заключается в том, что на протяжении всей истории планеты ее лицо менялось под действием невероятно медленных сил, которые действуют и сегодня. В глазах многих сегодняшних геологов Хаттон — герой, совершивший крупное научное открытие. Но в то время его позиция встретила всеобщее сопротивление. Некоторые критики говорили, что его теория противоречит Священному Писанию. Но большинство геологов не были согласны с Хаттоном в другом; им не нравилось



заявление ученого о том, что история Земли не имеет направления и цели, что она движется по кругу и представляет собой самоподдерживающийся цикл созидания и разрушения, цикл без начала и конца. Тем не менее геологическая летопись ясно говорила, что мир не всегда был таким, какой он сейчас.

Лучшим свидетельством этому служили не сами горные породы, а содержащиеся в них окаменелости и останки. Во Франции, к примеру, молодой палеонтолог по имени Жорж Кювье сравнил черепа современных слонов с ископаемыми слоновыми черепами, найденными в Сибири, Европе и Северной Америке — в местах, где сегодня слоны не живут. Кювье зарисовал массивные челюсти, зубы, сросшиеся в рифленые пластины, и наглядно показал, что ископаемые слоны (или иначе мамонты) принципиально отличаются от современных. «Так же сильно или даже сильнее, чем собака отличается от шакала и гиены», — писал он. Трудно было бы утверждать, что подобные гиганты, которых трудно с кем-нибудь спутать, бродят вокруг незамеченными. Впервые натуралисту удалось доказать, что прежде существовали виды, которые затем вымерли.

Кювье пошел еще дальше и продемонстрировал, что вымерли не только мамонты, но и множество других млекопитающих. Его открытия, писал он, «доказывают, как мне кажется, существование мира, более раннего по отношению к нашему и разрушенного какой-то катастрофой. Но что представляла собой эта примитивная Земля? Что представляла собой природа, не знавшая владычества человека? И что за революция смогла стереть этот мир с лица земли, не оставив практически никаких следов за исключением полуразрушенных костей?»

Кювье продолжал исследования. Мамонтов и других млекопитающих стерла с лица земли не одна катастрофа, а целая серия. Особенности ископаемых разных эпох настолько характерны, что Кювье смог даже определить по ним геологические формации, в которых эти останки были найдены. Кювье не мог сказать

наверняка, что именно вызывало катастрофы, но предполагал, что это мог быть внезапный подъем уровня морского дна или, скажем, резкое временное похолодание. Через некоторое время после этих событий животные и растения появлялись вновь — мигрировали из других земель или возникали каким-то образом здесь же, на месте. В одном Кювье был уверен: перевороты такого рода были в истории Земли обычным явлением. Если Всемирный потоп действительно был, то это была просто самая недавняя катастрофа из их длинного ряда; каждая из них стирала с лица земли множество видов, а произошли они в основном задолго до появления на Земле рода человеческого.

Пытаясь определить подлинный темп неторопливой поступи истории земной жизни, Адам Седжвик и другие британские геологи приступили к полному, слой за слоем, картированию геологической летописи планеты. Они дали геологическим формациям названия — девонская, кембрийская и др., — которыми мы пользуемся и сегодня. Тем не менее, хотя британские геологи начала XVIII в. были далеки от буквального прочтения Библии, они все же считали свою работу чем-то вроде религиозного служения. Они были убеждены, что при помощи их науки — геологии — человек сможет не только непосредственно увидеть дело Божье, но и понять намерения Всевышнего. Сам Седжвик говорил о природе как об «отражении силы, мудрости и благодати Господа».

## ПРОЯВЛЕНИЯ БОЖЕСТВЕННОГО ЗАМЫСЛА

Британские исследователи вроде Седжвика видели благодать Господню не только в том, как Он создал Землю, но и в том, как Он сотворил жизнь на планете. Каждый вид был создан отдельно и никогда не менялся. Тем не менее виды можно было разделить на большие группы, такие как растения и животные, а их, в свою очередь, на более мелкие категории, такие как рыбы

и млекопитающие. Такая схема, считали натуралисты, отражает благой план, по которому действовал Бог при сотворении мира. Мир был организован как ступенчатая пирамида и поднимался от неодушевленных предметов и непонятных слизистых существ к высшим формам жизни. При этом, разумеется, «высшими» считались формы, наиболее близкие к человеку. Ни одно звено в этой Великой цепи жизни не могло измениться — ведь это означало бы, что Божье создание несовершенно. Как написал однажды Александр Поп, «Одну ступень творения разрушь — /И все падет, вплоть до бессмертных душ;/Хоть пятое, хоть сотое звено/Изъяв, ты цепь разрушишь все равно».

Благотворное мастерство Бога проявилось не только в Великой цепи жизни, но и в сложнейшем строении отдельных видов и органов — идет ли речь о человеческом глазе или птичьим крыле. Уильям Пейли, англиканский пастор, изложил эти и другие аргументы в книгах, входивших в Кембридже в обязательный круг чтения как Дарвина, так и других честолюбивых натуралистов и теологов.

Центром аргументации Пейли служила соблазнительная аналогия. «Предположим, пересекая пустошь, — писал он, — я ударился ногой о камень и меня спросили, как этот камень там оказался». По мнению Пейли, он вполне мог лежать там с начала времен. «Но предположим, что я нашел на земле часы и надо выяснить, как они там оказались». В этом случае, утверждал Пейли, он пришел бы совсем к другому выводу. В отличие от камня, часы представляют собой множество деталей, которые работают одновременно и согласованно с единственной целью: отмечать ход времени. Кроме того, все эти части могут работать только вместе; половинка часов не сможет отмечать время.

Из этого следует, что часы кем-то созданы. Пейли считал, что этот факт можно установить, даже не зная, как можно сделать часы, и даже если найденные часы сломаны. Говорить,

что это всего лишь одна из множества возможных комбинаций кусочков металла, было бы нелепо.

Когда мы рассматриваем природу, рассуждал далее Пейли, мы видим бесконечное множество существ, устроенных куда более сложно и замысловато, чем часы. Телескоп и глаз устроены по одному и тому же принципу, и там, и здесь имеется линза, которая преломляет свет и создает изображение. Чтобы преломлять свет в воде, линза должна быть более выпуклой, чем в воздухе. И пожалуйста: глаз рыбы снабжен более выпуклой линзой, чем глаза наземных животных. «Что свидетельствует о разумном замысле убедительнее, нежели это различие?» — спрашивал Пейли.

Устрица, лопатообразный клюв, почка — все, на что ни взгляни, наглядно показывало, что у природы есть разумный творец. Законы физики, которыми пользовались астрономы в конце XVIII в. для описания планетных орбит, немного меньше подходили для наглядной демонстрации славы Господней. («Астрономия, — признавался Пейли, — не лучший предмет для демонстрации вмешательства разумного создателя».) Но жизнь по-прежнему представляла собой плодородную почву для теологических рассуждений.

Рассматривая природу, Пейли не просто делал вывод о существовании творца, но и заключал, что он благожелателен. В огромном большинстве случаев, утверждал он, его изобретательность направлена во благо. То небольшое зло, что все же присутствует в мире, — всего лишь неприятный побочный эффект. Человек может воспользоваться зубами, чтобы кого-нибудь укусить, но на самом деле зубы придуманы для того, чтобы он мог есть. Если бы Бог хотел, чтобы мы наносили друг другу вред, он поместил бы в наш рот гораздо более мощное оружие. Вообще, никакие тени не могли заслонить для Пейли солнечный свет и сияние жизни. «Все же это счастливый мир. Воздух, вода и земля преисполнены прекрасной и радостной жизни».

## КАК У ЖИРАФА ПОЯВИЛАСЬ ДЛИННАЯ ШЕЯ

Дарвин, как и многие, подпал под влияние риторики Пейли. В то же время он имел представление и о других, куда менее заслуживающих внимания теориях происхождения жизни в ее современном виде. За некоторыми из таких концепций Дарвину не надо было далеко ходить. Дед Чарльза Эразм Дарвин умер за семь лет до рождения внука, но даже после смерти игнорировать его было невозможно. Врач по профессии, Эразм Дарвин был также натуралистом, изобретателем, ботаником и популярным поэтом. В одном из стихотворений, названном «Храм науки», он утверждал, что все существующие животные и растения произошли из микроскопических форм:

Земная жизнь в безбрежном лоне вод  
Среди пещер жемчужных океана  
Возникла, получила свой исход,  
Росла и стала развиваться рано;  
Сперва в мельчайших формах все росло,  
Не видимых и в толстое стекло,  
Которые, киша, скрывались в иле  
Иль водяную массу бороздили;  
Но поколения множились, цвели,  
Усилились и члены обрели...

(Пер. Н. А. Холодковского)

Личная жизнь Эразма Дарвина была не менее скандальной, чем его научные взгляды. После смерти первой жены он объявил себя сторонником свободной любви и произвел на свет двух внебрачных детей. «Да здравствуют боги плотской любви! — провозглашал он. — И сексуальное влечение, объединяющее всех страждущих!» Роберт Дарвин, сын Эразма, всегда стеснялся отца, и неудивительно, что внук Чарльз, выросший

в тихом и очень благопристойном Маунте, знал о деде не слишком много.

Однако попав в Эдинбург — город радикальных идей, — он обнаружил, что у деда до сих пор немало поклонников. Один из таких поклонников, зоолог Роберт Грант, стал по стечению обстоятельств наставником и ментором Чарльза. Грант изучал губки и морские полипы, причем изучал не из праздного любопытства, а потому, что считал их источником и основой всего животного царства. Из подобных форм, считал он, могли произойти все остальные животные. Прогуливаясь по берегу вдоль приливных водоемов в поисках интересных образцов, Грант рассказывал юному Дарвину о своем преклонении перед Эразмом Дарвином и его идеей трансмутации — процесса, посредством которого виды могли превращаться один в другой. Кроме того, Грант описывал внуку Эразма смелые теории французских натуралистов, некоторые из которых осмеливались даже говорить о развитии жизни. Да, они считали, что жизнь не застыла раз и навсегда в однажды созданном совершенстве, что она менялась в прошлом и меняется сейчас.

Грант рассказывал о коллеге Кювье из Национального музея в Париже — о биологе по имени Жан-Батист Пьер Антуан де Моне, шевалье де Ламарк. В 1800 г. Ламарк потряс Кювье и остальную Европу смелым заявлением: постоянство видов — всего лишь иллюзия. Ламарк предположил, что виды не были созданы на заре времен в своих сегодняшних формах. Новые виды спонтанно возникали на протяжении всей истории планеты. Каждый из них при своем появлении обладал «нервными флюидами», которые постепенно, поколение за поколением, изменяли его, создавая новые формы. Развиваясь, виды достигали все более высоких уровней сложности. Постоянное возникновение новых видов и их трансформация породили Великую цепь бытия: существа на низших ступенях развития просто начали свой путь позже, чем те, что успели достичь более высоких уровней.

Жизнь меняется и иным способом, утверждал Ламарк. Любой вид может приспосабливаться к местным условиям. К примеру, там, где обитают жирафы, листья деревьев находятся высоко над землей. Предки современных жирафов, возможно, были короткошеими животными. Они постоянно пытались достать и съесть эти листья и потому из всех сил тянулись вверх. Чем больше тянул вверх шею каждый отдельный жираф, тем больше нервные флюиды перетекали в шею животного. В результате шея вырастала длиннее, а при рождении детенышей эта длинная шея передавалась и им. Ламарк предположил, что человек мог произойти от обезьян, которые слезли с деревьев, выпрямились и вышли на равнины. Усилие, которое они делали, пытаясь ходить на двух ногах, должно было постепенно изменить их тела и создать уже человеческую осанку.

Большинство остальных натуралистов во Франции, да и в других странах, были неприятно поражены идеями Ламарка. Кювье возглавил атаку на крамольную теорию и потребовал от Ламарка доказательств. Нервные флюиды, благодаря которым возможна эволюция по Ламарку, были чистой выдумкой, и, разумеется, никакие ископаемые останки не могли подтвердить их существование. Вообще, если Ламарк прав, то древнейшие виды, от которых сохранились окаменелости, должны были бы быть в среднем менее сложными, чем ныне живущие виды. Еще один аргумент против Ламарка появился у Кювье, когда вторгшиеся в Египет войска Наполеона обнаружили в гробницах фараонов мумифицированные трупы животных. Кювье заявил, что скелет священного ибиса возрастом несколько тысяч лет ничем не отличается от скелетов современных египетских ибисов.

Британские натуралисты, находившиеся под влиянием естественной теологии Пейли, отнеслись к теории Ламарка еще враждебнее, чем Кювье. Они сочли, что Ламарк принизил человека, да и остальную природу, назвав их продуктом деятельности какой-то неразумной земной силы. Лишь некоторые

еретики, подобно Гранту, отнеслись к идеям Ламарка с интересом — и за такую ересь были исключены из солидных научных кругов Британии.

Похвала Ламарку, услышанная от Гранта, оказалась для молодого Дарвина совершенно неожиданной. «Однажды, когда мы гуляли вместе, он вдруг разразился горячими похвалами в адрес Ламарка и его взглядов на эволюцию, — писал позже Дарвин в своей автобиографии. — Я выслушал его в молчаливом изумлении, и, насколько я могу судить, эта речь не оказала никакого влияния на мой ум».

К тому моменту, когда Дарвин четыре года спустя поднялся на борт «Бигля», эволюция успела совершенно выветриться из его мыслей. Только после возвращения она вновь всплывет в его сознании, причем в совершенно иной форме.

## ОБРАЩЕНИЕ В ГЕОЛОГА

Плавание началось неудачно. Дарвин прибыл в Плимут в октябре 1831 г., но только 7 декабря после нескольких поломок, задержек и безуспешных попыток выйти из порта «Бигль» отправился наконец в свое долгое путешествие. Покинув берег, Дарвин тут же испытал сильнейший приступ морской болезни. Он почти не мог есть и ужасно страдал. Надо сказать, даже пять лет плавания не помогли Дарвину стать хорошим моряком.

Дарвин быстро обнаружил, что быть спутником Фицроя — дело непростое. Капитан обладал крутым и непредсказуемым нравом; военная дисциплина, которую он неукоснительно поддерживал на корабле, оказалась для молодого человека настоящим потрясением. На Рождество несколько человек из команды «Бигля» умудрились напиться, и на следующий день Фицрой приказал выпороть виновных. Скоро на судне установился забавный обычай: каждый день, когда Дарвин появлялся на палубе после завтрака с капитаном, кто-нибудь из младших офицеров обяза-



тельно спрашивал: «Много ли сегодня выпито кофе?» По этому признаку команда пыталась определить настроение капитана. В то же время Дарвин не мог не уважать Фицроя за целеустремленность и упорство, за преданность науке и христианской вере. Каждое воскресенье капитан проводил религиозную службу, на которой Дарвин неизменно присутствовал вместе с членами команды.

Дарвин мечтал снова ступить на твердую землю, но неделя шла за неделей, а такой возможности все не представлялось. Погода и течения не позволили капитану бросить якорь на Мадейре, а в следующем порту — на Канарских островах — бушевала эпидемия холеры. Не желая терять время в карантине, Фицрой просто отказался от стоянки и двинулся дальше.

Наконец, первая стоянка на островах Зеленого Мыса. Как только «Бигль» вошел в порт Сантьяго, Дарвин поспешил покинуть судно. Вокруг было так много интересного! Он метался по острову, заросшему кокосовыми пальмами, и разглядывал все, что попадалось на пути: камни, растения и животных. Он нашел осьминога, способного менять цвет с фиолетового на темно-серый. Кроме того, посаженный в стеклянную банку, он светился в темноте корабельного трюма.

Но больше всего Дарвина интересовала геология острова. За время пути он успел изучить от корки до корки новую книгу «Основные начала геологии», написанную английским юристом Чарльзом Лайелем. Этой книге суждено было изменить взгляды Дарвина на родную планету и в конечном счете привести его к созданию теории эволюции. В ней Лайель критиковал популярную в то время теорию геологических катастроф и извлекал на свет божий давнюю (ей в тот момент стукнуло уже 50 лет) теорию Хаттона о том, что Земля менялась постепенно на протяжении всей своей истории.

Но «Основные начала геологии» не были просто новым пересказом идей Хаттона. Лайель предложил собственную, гораздо

более богатую научными подробностями версию того, как явления, которые и по сей день наблюдает человек, могли постепенно сформировать нашу планету такой, какая она сейчас. Он говорил о том, что при извержении вулканов могут возникать острова, при землетрясениях — подниматься уровень земли, и приводил доказательства; затем показывал, как эрозия может вновь разрушить эти элементы поверхности и сровнять их с землей. Геологические изменения происходят медленно, незаметно, утверждал Лайель, но наблюдать их можно даже на небольшом промежутке человеческой истории. На фронтисписе книги был изображен древнеримский храм Сераписа, на мраморных колоннах которого видны темные полосы — следы окаменевших моллюсков. Очевидно, храм какое-то время был полностью погружен в море, а затем вновь поднялся из океана на поверхность. В отличие от Хаттона, Лайель не считал, что Земля последовательно, раз за разом проходит глобальный цикл возникновения и разрушения. Нет, планета меняется локально, здесь эродирует, там извергается, — в общем, с незапамятных времен находится в непрерывном движении, постоянно меняется.

Дарвина «Основные начала геологии» буквально заворовали. Он понял, что изложенная в книге теория не только убедительно рассказывает об истории Земли, но и предлагает надежный метод сравнения теории с реальностью и ее проверки. В Сантьяго у него появилась первая возможность это сделать. Дарвин облазил вулканические скалы острова и обнаружил свидетельства того, что первоначально лава изливалась под водой, поджаривая попадающих на ее пути моллюсков и кораллы. Должно быть, позже подземные силы подняли получившуюся скалу к поверхности моря — но только для того, чтобы вновь опустить под воду, а затем вновь поднять. Причем некоторая часть этих процессов происходила совсем недавно, понял Дарвин, ведь в скальных утесах можно отыскать ископаемые останки точно таких же моллюсков, какие и ныне живут в окрестных водах.

Да, в 1832 г. на Земле, как и во все эпохи ее истории, тоже происходили изменения.

Позже Дарвин напишет в своей автобиографии: «Первое же место, которое я обследовал, а именно Сантьяго на островах Зеленого Мыса, ясно показало мне чудесное преимущество подхода к геологии Лайеля в сравнении с любым другим автором, с чьими работами я был тогда знаком или даже прочел позже».

Дарвин испытал методы Лайеля и убедился, что они прекрасно работают. С этого дня он стал горячим поклонником автора теории.

## «НЕОБЫЧНОЕ ОЩУЩЕНИЕ НЕУВЕРЕННОСТИ»

В конце февраля 1832 г. «Бигль» подошел к Южной Америке. Простояв три месяца в Рио-де-Жанейро, Фицрой двинулся дальше на юг. Несмотря на то что следующие три года судно почти постоянно двигалось вдоль побережья Южной Америки, большую часть этого времени Дарвин провел на суше. В Бразилии он жил в хижине в глубине джунглей; царивший вокруг биологический рай будто взял его в плен и не хотел отпускать. В Патагонии он неделями разъезжал верхом по окрестностям, каждый раз успевая вернуться вовремя и попасть на «Бигль» до отплытия. Он описывал все, что видел и с чем встречался; в его дневнике есть записи о светлячках, горах, рабах и ковбоях. Пустые банки для образцов в каюте «Бигля» начали наполняться сотнями странных, невиданных существ.

Во время одной из экскурсий на аргентинском побережье, возле Пунта-Альты, при осмотре подножий скал Дарвин обнаружил какие-то непонятные кости. Он осторожно извлек находку из-под гальки и обломков кварца и обнаружил, что она представляет собой громадные зубы и не менее громадные бедренные кости, принадлежащие вымершим гигантским млекопитающим. Он вернулся туда на следующий день и выкопал все, что сумел

найти. В то время лишь в одной из коллекций Англии имелись окаменелые останки древнего вымершего млекопитающего, а в Пунта-Альте Дарвин — только представьте! — нашел целые тонны костей, принадлежавших, как ему показалось, гигантским носорогам и ленивцам. Он не знал, что с ними делать, — ведь на тот момент сам он был всего лишь коллекционером-любителем. Дарвин просто упаковал находки и отправил их в Англию.

В найденных ископаемых останках крылась загадка — одна из многих, с которыми суждено было столкнуться ученому во время путешествия. Как верный последователь Кювье Дарвин считал, что это останки давно вымерших допотопных чудовищ. Но обнаруженные им кости были перемешаны с остатками раковин, почти идентичных раковинам моллюсков, обитающих и сегодня возле аргентинского побережья. Вообще, вся картина говорила о том, что чудовища, кости которых откопал натуралист, не настолько древние, как могло показаться.

В декабре 1832 г. «Бигль» обогнул Огненную Землю. Предполагалось, что именно эта часть плавания будет самой главной для Фицроя — ведь именно здесь он должен был высадить захваченных когда-то индейцев и познакомить таким образом местных обитателей с достижениями цивилизации. Но Огненная Земля и на этот раз обманула капитана. Фицрой попытался основать в бухте Уоллия-Бэй миссию. Он построил три вигвама и заложил два огорода, а также снабдил миссию бокалами, чайными подносами, супницами и тонким постельным бельем, пожертвованными добросердечными, но непрактичными лондонскими дамами. Через несколько недель, когда «Бигль» вновь приплыл в Уоллия-Бэй, миссионер примчался на корабль чуть ли не бегом, умоляя о спасении. За несколько дней островитяне успели растащить или переломать все имущество миссии, и в момент возвращения судна развлекались тем, что выдергивали волоски из бороды миссионера, используя вместо пинцета раковины мидий.

Фицрой мрачно вел «Бигль» вокруг мыса Горн и дальше к восточному побережью Южной Америки. Дарвин воспользовался представившейся возможностью, чтобы забраться в горы. Вспоминая Лайеля, он пытался представить себе, как из глубин океана постепенно поднимались пики Анд. Он вновь присоединился к команде «Бигля», когда судно шло на север от Вальпараисо. На востоке виднелся идеальный конус пика Осорно. Работая под дождем, моряки иногда останавливались, чтобы понаблюдать за клубами дыма над его вершиной. Однажды январской ночью Осорно взорвался, выбросив высоко в воздух тучу камней и столб пламени. Даже самому Лайелю ни разу не довелось наблюдать собственными глазами извержение вулкана!

Но земля на этом не успокоилась. Несколько недель спустя «Бигль» бросил якорь в городе Вальдивия, и 20 февраля 1835 г. под ногами Дарвина планета пустилась в пляс. В тот момент он прогуливался в лесу возле города и решил немного передохнуть. Он совершенно спокойно улегся на землю, твердую и устойчивую, как обычно. И тут земля вздрогнула!

«Все началось внезапно и продолжалось две минуты; но промежуток этот показался мне гораздо более долгим, — писал позже Дарвин. Это понятно: до того момента он жил в геологически спокойной Англии и никогда не был свидетелем землетрясения и вообще каких бы то ни было колебаний почвы. — Устоять прямо на ногах было нетрудно, но от колебаний почвы у меня едва не закружилась голова. В чем-то все это напоминало движение судна при мелкой боковой зыби или скорее то, что испытывает человек, скользящий по тонкому льду, который прогибается под его весом».

Деревья раскачивались на ветру, землетрясение прекратилось. Но Дарвин никогда не забудет испытанное в тот момент ощущение. «Сильное землетрясение мгновенно разрушает привычные связи: земля, самый символ надежности, двигалась у нас под ногами подобно тонкой корочке на поверхности жидкости;

одного такого мгновения достаточно, чтобы поселить в сознании необычное ощущение неуверенности, какого не вызвали бы целые часы размышлений».

Землетрясение закончилось, и Дарвин поспешил вернуться в город, который, как оказалось, почти не пострадал. Но расположенный дальше вдоль побережья город Консепсьон лежал в руинах: на него обрушилось не только землетрясение, но и вызванная им громадная приливная волна. С городского собора, будто громадным резцом, срезало фасад. «Горько и обидно видеть, — записал Дарвин в своем дневнике, — что плоды деятельности человека, стоившие ему столько времени и труда, в одну минуту были обращены в прах». В земле открылись трещины, скалы пошатнулись. За две минуты, как показалось Дарвину, землетрясение нанесло ущерб больший, чем обычный износ и эрозия за целый век.

Землетрясение оставило на побережье еще один след, даже более принципиальный и глубокий, чем разрушенные дома и утонувший скот. Целые полосы земли, прежде находившиеся под водой, поднялись на поверхность и теперь высыхали, покрытые слоем умирающих водорослей и моллюсков. При помощи своих инструментов Фицрой установил, что некоторые части побережья поднялись во время землетрясения на восемь футов. Два месяца спустя он вновь зашел в Консепсьон и убедился, что земля все еще возвышалась.

Дарвин быстро понял, что объяснение происходящему он может найти у Лайеля. Должно быть, извержение Осорно было вызвано давлением расплавленных горных пород, и даже после извержения энергии в очаге напряжения хватило еще и на землетрясение. Новые земли поднялись из океана за счет выдавливания дополнительной порции расплавленного камня. Со временем давление магмы могло поднять здесь в небо целый горный хребет.

Через несколько дней Дарвин предпринял свое последнее крупное путешествие вглубь суши; он снова отправился в горы.

На вершинах гор, окружавших перевал Успалатта, Дарвин увидел те же слои горных пород, какие он видел несколько месяцев назад на востоке, на низких, плоских равнинах. Это были породы, образовавшиеся первоначально из океанских осадков. На перевале он обнаружил лес окаменевших в вертикальном положении деревьев, очень похожих на окаменелости, которые ему довелось видеть в Патагонии.

«Эти деревья, — написал он сестре Сьюзен, — покрыты сверху слоями песчаника и потоками лавы толщиной несколько тысяч футов. Скалы находились под водой; тем не менее ясно, что место, где росли деревья, должно было когда-то находиться выше уровня моря. Поэтому можно сказать с определенностью, что земля должна была опуститься по крайней мере на столько тысяч футов, сколько составляет толщина позднейших подводных отложений.

Накрепко запомнив землетрясения и действующие вулканы, Дарвин сделал вывод: Анды — молодые горы. Когда-то пики высотой 14 000 футов были плоскими, как лежащая к востоку от них пампа. Гигантские млекопитающие, окаменелые останки которых ему удалось найти в горах, тоже бродили по этим равнинам. Позже земли опустились под воду, затем вновь поднялись, подпертые давлением снизу. Дарвин понял, что эти горы, возможно, моложе, чем млекопитающие, и не исключено, что они до сих пор потихоньку поднимаются под ногами людей.

## КОЛЛЕКЦИОНИРОВАНИЕ ПТАШЕК

Закончив картографическую съемку побережья, «Бигль» отплыл на север, в Лиму и затем на запад, прочь от Южной Америки. После ледяных ветров Огненной Земли и пронизывающего холода Анд Дарвин с нетерпением ждал встречи с тропиками. Первая остановка планировалась на необычайном архипелаге под названием Галапагосы.

Сегодня Галапагосские острова известны всему миру как место, где родилась Дарвинова теория эволюции, но сам Дарвин осознал значение этих островов лишь позже, почти через два года после того, как побывал там. Тогда же он больше думал о геологии, чем о биологии, и с нетерпением ждал возможности увидеть землю, которая, согласно Лайелю, создавалась в этот самый момент.

Первым Дарвин посетил остров Чатем (известный теперь как Сан-Кристобаль), голую вулканическую гряду, не освоенную еще растениями и не покрытую почвой. На берегу его приветствовали лишь безобразные игуаны и бесчисленные крабы. «Естественная история этих островов весьма примечательна, — писал позже Дарвин. — Похоже, что это настоящий маленький мирок». Он имел в виду, что мир этот совсем не похож на внешний, большой мир. Здесь жили громадные черепахи с панцирями до семи футов в диаметре; они питались опунциями и не возражали, если Дарвину приходила мысль прокатиться на одной из них. Здесь жили не один, а целых два вида страшных с виду игуан: представители одного вида жили на суше, а другого — ныряли в море и питались водорослями. Птицы на Галапагосах были настолько спокойными, что подпускали Дарвина совсем близко и даже не взлетали.

Дарвин добросовестно пополнил птичками свою коллекцию, но почти ничего не записал о них. У некоторых птиц были крупные толстые клювы, приспособленные к раздавливанию крупных твердых семян; у других — тонкие, похожие на пинцет, пригодные к вытаскиванию труднодоступных мелких семечек. Ориентируясь по клювам, Дарвин выделил среди пернатых воробьев, вьюрков, славок и дроздов. Он не потрудился, однако, записать, на каком острове была поймана та или иная птичка. Он решил, что это южноамериканские виды, колонизировавшие в какой-то момент острова.

Только завершив сбор образцов животного мира, Дарвин понял, что ему следовало быть более аккуратным. Незадолго до от-



плытия «Бигля» он посетил директора исправительной колонии на острове Чарльза (ныне Санта-Мария), англичанина по имени Николас Лоусон. В саду у него вместо кадок и цветочных горшков использовались черепаши панцири, и Лоусон заметил, что черепахи разных островов отличаются друг от друга, и по форме колец и гребней на панцире можно определить, с какого острова черепаха. Иными словами, черепахи каждого острова представляли собой уникальную разновидность, а может быть, и уникальный вид. Дарвин обнаружил также, что растения на разных островах тоже различаются.

Возможно, то же можно было сказать о птицах, но Дарвин не обозначил сразу происхождение большинства своих образцов и не мог уже ничего исправить. Только по возвращении в Англию он найдет время, чтобы рассортировать свою коллекцию галапагосских птиц, и только тогда начнет понимать, каким образом жизнь перетекает из одной формы в другую.

## ЖИЗНЬ УСТРАИВАЕТСЯ

Закончив с Галапагосами, «Бигль» пустился в дальнейший путь по гладкому, как стекло, Тихому океану. Плавание шло быстро, путь до Таити занял всего три недели, еще через четыре экспедиция добралась до Новой Зеландии и еще через две — до Австралии. В Индийском океане задачей «Бигля» было картографирование коралловых рифов. Коралловые рифы — своеобразная живая география; их образуют крохотные полипы, каждый из которых выстраивает для себя твердый внешний скелет. Полипы эти могут жить только у самой поверхности океана. Дело в том, что, как выяснят позже морские биологи, коралловые полипы зависят от фотосинтезирующих водорослей, которые живут в тканях хозяина. «Бигль» обходил риф за рифом, и Дарвин не уставал удивляться тому, что все они имеют совершенную округлую форму, концентрируясь иногда вокруг центрального острова, а иногда

просто вокруг лагуны. И тому, что рифы всегда располагаются близко к поверхности воды, т. е. именно там, где им надлежит быть, чтобы получать достаточно солнечного света для роста.

Дарвин, естественно, был знаком с гипотезой Лайеля о кораллах, изложенной в «Основных началах геологии». Геолог считал, что кораллы формируются только на вершинах подводных вулканических кратеров. Дарвин впервые не согласился с автором. Очень уж неловкой и некрасивой была кратерная гипотеза — ведь если она верна, то каждый риф должен располагаться на верхушке кратера, который совершенно случайно оказался в точности под самой поверхностью океана. Дарвин предложил другое объяснение.

Если Анды, согласно Лайелевой геологии, поднимаются, рассуждал Дарвин, то одновременно какая-то другая часть поверхности планеты должна опускаться. Это вполне может происходить в таких местах, как Индийский океан. Вполне возможно, что первоначально кораллы образовывались на мелководье вокруг новых островов или вдоль побережья материка, которые затем начали опускаться. По мере затопления суши кораллы уходили вглубь. Однако они не обязательно погибали, поскольку на верхушке рифа по мере погружения успевали нарастать новые коралловые слои. Старые кораллы погибали в глубинной тьме, но риф жил. Через некоторое время эрозия могла разрушить и бывший остров, с которого все началось, но сформировавшийся к этому времени риф был уже способен сам поддерживать свое существование вблизи поверхности.

Все коралловые рифы, которые посещал «Бигль», укладывались тем или иным способом в эту схему. На Кокосовых островах (Килинг) топографы «Бигля» обнаружили, что внешний край рифа уходит резко вниз до самого океанского дна. А взяв в самом низу пробы, они выяснили, что весь нижний ярус состоит из мертвых кораллов, что вполне согласуется с предсказаниями, которые сделал Дарвин на основе своей новой теории.

Мы видим, что к этому моменту Дарвин был уже не просто учеником Лайеля, а зрелым самостоятельным мыслителем. Он воспользовался принципами Лайеля, чтобы сформулировать собственное, более убедительное объяснение коралловых рифов, и разработал метод проверки своей гипотезы. Дарвин учился познавать историю — в данном случае историю жизни на Земле — при помощи научных методов. Он не мог смоделировать тысячелетнее развитие кораллов и наблюдать за ростом рифа, но если история развивалась именно так, как он считал, то он мог проверить свои прогнозы. «Мы с одного взгляда получаем представление о системе, сформировавшей эту часть поверхности, примерно так же, хотя, конечно, гораздо менее точно, как это сделал бы геолог, проживший 10 000 лет и все это время следивший за происходящими изменениями», — написал Дарвин позже.

Да, планета кажется неизменной, но Дарвин уже начинал видеть окружающее в масштабе миллионов лет. В его глазах Земля выглядела живым пульсирующим шаром, то взбухающим, то опадающим, на нем, как на переспелом фрукте, то и дело лопалась тонкая кожица. Кроме того, Дарвин начинал видеть, что жизнь в этом масштабе тоже может меняться. Если времени хватит, коралловые рифы могут спастись, даже если океанское дно под ними опустится. На скелетах своих предшественников они способны строить настоящие замки.

Путешествие от коралловых атоллов до Англии вокруг мыса Доброй Надежды через Азорские острова заняло у Дарвина шесть месяцев, и научная репутация успела обогнать его в пути. Хенслоу, его наставник по Кембриджу, отобрал некоторые из его писем и издал выдержки из них в виде научной статьи и брошюры. Найденные им ископаемые кости млекопитающих тоже благополучно прибыли в Англию и вызвали интерес ведущих британских анатомов. Даже кумир Дарвина Лайель с нетерпением ожидал встречи с ним после возвращения.

Пять лет спустя после выхода из Плимута «Бигль» вновь вошел в Ла-Манш. Шел проливной дождь. 2 октября 1836 г. Фицрой провел последнюю воскресную службу, и в тот же день Дарвин сошел с корабля и направился домой. Его путешествие закончилось. Больше он никогда не покинет Великобританию; мало того, он редко будет выезжать из собственного дома.

Ступив вновь на английскую землю, Дарвин понял, что сильно изменился за это время и что не сможет уже мириться с жизнью сельского пастора. За время плавания он стал настоящим натуралистом-практиком и теперь видел свое призвание именно в этом. Помимо всего прочего, он понимал, что будет счастлив только в том случае, если сможет работать независимо, как Лайель, а не как сотрудник одного из университетов. Но если Дарвин хотел вести жизнь независимого ученого, то деньги на это он должен был попросить у отца. Больше, чем когда-либо, он страшился этой встречи.

Дарвин приехал в Шрусбери поздно вечером 4 октября. Он с нетерпением ждал встречи с родными, но был слишком благовоспитан, чтобы беспокоить семью ночью. Чарльз переночевал в гостинице и утром, когда отец и сестры садились завтракать, без предупреждения явился в дом. Сестры расплакались от радости. Отец объявил: «Посмотрите-ка, у него форма головы стала совершенно другой!» Собака встретила Дарвина так, будто он уехал только вчера, и сразу позвала на обычную утреннюю прогулку.

Страх отцовского гнева оказался напрасным. Пока Чарльза не было, его брат Эразм оставил медицину и поселился в Лондоне, став независимым исследователем. Эразм проложил дорогу младшему брату, и отец уже не возражал. Кроме того, Роберт прочитал брошюру Чарльза и преисполнился гордостью за сына. Он понял, что как натуралист Чарльз не растратит свою жизнь напрасно. Он выделил сыну часть капитала и назначил вполне достаточное содержание — 400 фунтов в год.

Чарльз Дарвин никогда больше не будет бояться отца. Однако молодой человек унаследовал тягу Роберта к респектабельности и всю жизнь стремился избегать некрасивых сцен. Этот человек не был по природе бунтарем и по собственной воле никогда бы не стал затевать скандал. Тем не менее всего через несколько месяцев после возвращения домой он, к собственному ужасу, устроит настоящую научную революцию.

## «ЭТО КАК СОЗНАТЬСЯ В УБИЙСТВЕ»

### *Происхождение «Происхождения видов»*

**В** Лондоне Дарвин обнаружил, что брат его на поверку оказался не слишком увлеченным натуралистом. Эразм лучше чувствовал себя на званных обедах и в клубах, чем в лаборатории. Он ввел брата в свой круг, и Чарльз без труда вписался в общество. Но в отличие от Эразма Чарльз еще и работал как проклятый. Он писал статьи по геологии, готовил книгу о кругосветном путешествии, знакомил специалистов с привезенными образцами: ископаемыми, растениями, птицами, плоскими червями.

Уже через несколько месяцев работа Дарвина принесла первые плоды: он приобрел репутацию одного из самых многообещающих молодых геологов Англии. Одновременно у него появился свой секрет. Втайне от всех он исписывал один небольшой блокнот за другим, причем писал не о геологии, а о биологии. Его всецело захватила тревожившая его мысль: что если дед все-таки был прав?

За пять лет, проведенных Дарвином в плавании, биологическая наука сделала большой шаг вперед. Были открыты новые виды, не пожелавшие укладываться в навсегда, казалось бы, установленный порядок. При помощи микроскопа ученые пытались разобраться, как из яйца развивается животное. Британских на-

туралистов уже не устраивало просто провозглашение замысла Божьего на основе разрозненных примеров, которое предлагал Пейли. Его точка зрения не позволяла получить ответ на глубокие вопросы о жизни на Земле. Если Бог действительно придумал и создал жизнь во всем ее многообразии, то как именно Он это сделал? Почему одни виды так похожи, а другие — так не похожи друг на друга? Действительно ли все виды возникли одновременно с возникновением Земли или Бог создавал их позже, с течением времени?

Вообще говоря, британские натуралисты уже не считали, что Бог при сотворении мира вникал в каждую мелочь; скорее, Он создал законы природы и запустил механизм мироздания. Бог, которому приходилось постоянно вмешиваться в ход вещей, представлялся менее могущественным, чем Бог, придумавший и сделавший все правильно — и гибко — с самого начала. Многие натуралисты готовы были признать, что в ходе истории планеты жизнь на ней менялась. Простые группы растений и животных исчезали, сменяясь более сложными. Но весь процесс представлялся медленным и размеренным и управлялся, по мысли ученых, Господней волей; он ничем не напоминал ту независимую эволюцию, о которой в 1800 г. писал Ламарк. Новая волна возбуждения прокатилась по их рядам в 1830-х гг., когда еще один зоолог из Национального музея в Париже предложил свою теорию эволюции. Это был Этьен Жоффруа Сент-Илер.

## АРХЕТИПЫ И ПРЕДКИ

Несколько десятков лет Ламарк и Жоффруа вместе работали в музее и даже дружили, но Жоффруа пришел к пониманию эволюции самостоятельно, в результате собственных исследований по сравнительной анатомии различных животных. Здравый смысл той эпохи склонялся к тому, что животные похожи друг на друга только в тех случаях, когда они и функционируют

примерно одинаково. Но Жоффруа столкнулся с исключениями из этого предполагаемого правила. Так, кости страусов точно такие же, как кости летающих птиц, хотя они и не летают. Кроме того, Жоффруа показал, что уникальные вроде бы признаки, отличающие тот или иной вид от всех остальных животных, часто вовсе не уникальны. К примеру, рог носорога кажется ни на что не похожим, но на самом деле это просто пучок видоизмененных волос.

Пытаясь разобраться в скрытых взаимосвязях между животными, Жоффруа опирался, в частности, на работы немецких биологов, которые рассматривали науку как трансцендентальный поиск скрытого единства жизни. Поэт (и ученый) Гёте утверждал, что различные части растения — от лепестков до колючек — представляют собой варианты одной фундаментальной формы: листа. Немецкие биологи считали, что видимая сложность жизни скрывает под собой некие вневременные образцы, которые они называли архетипами. Жоффруа попытался выявить архетип для всех позвоночных.

Жоффруа предположил, что любая кость в скелете любого позвоночного представляет собой вариацию некоего архетипического позвонка. Затем он пошел еще дальше: заявил, что и беспозвоночные построены по тому же трансцендентальному плану. Омар и утка, согласно его рассуждениям, — это вариации на одну и ту же тему. Омары — членистоногие, т. е. принадлежат к той же группе, что и насекомые, креветки и мечехвосты. Членистоногие немного похожи на позвоночных: их тела симметричны относительно длинной оси; у них есть голова с глазами и ртом. Но различия огромны. Членистоногие строят свой скелет — прочный панцирь — снаружи, тогда как у позвоночных скелет внутри. Вдоль задней части тела позвоночных тянется спинной мозг, а спереди располагается пищеварительный тракт. У омара или любого другого членистоногого все наоборот: кишечник идет вдоль спины, а нервная система — вдоль брюшка.



Может показаться, что все это делает членистоногих и позвоночных несравнимыми, но Жоффруа так не считал. Он утверждал, что членистоногие словно помещены внутрь позвонка. А уж поменять местами спинку и брюшко, превратив таким образом омара в утку, и вовсе ничего не стоит. Членистоногие устроены так же, как позвоночные, только все перевернуто вверх ногами. «В философском смысле слова существует лишь одно животное», — утверждал Жоффруа.

К 1830-м гг. Жоффруа продвинул свою теорию еще на шаг. Трансформации, о которых идет речь, заявил он, — не просто геометрические абстракции; животные на самом деле менялись с течением времени. Тем не менее эти слова не означали, что Жоффруа готов воскресить теорию Ламарка; он не принимал гипотезу о том, что приобретенные на протяжении жизни признаки могут передаваться потомству. Вместо этого Жоффруа предположил, что изменения в среде обитания животного могли нарушить процессы внутриутробного развития. Могли рождаться животные с отклонениями и появляться новые виды.

Историю эволюции, утверждал Жоффруа, можно увидеть, посмотрев на развитие сегодняшних эмбрионов. Немецкие ученые установили, что зародыш за считанные дни переходит из одной причудливой формы в другую, причем формы эти часто совершенно не похожи на взрослых особей вида. Исследователи тщательно каталогизировали возникающие и исчезающие детали и формы, и чем дольше изучали их, тем больше порядка видели в этом кажущемся хаосе. Особенно сильное впечатление произвел на них тот факт, что эмбрион возникает как простая форма и по мере роста постепенно усложняется. Они даже утверждали, что каждая более сложная форма представляет собой новую стадию развития.

Один из немецких ученых, Лоренц Окен, объяснил этот процесс следующим образом: «В процессе внутриутробного развития животное проходит через все стадии животного царства, поднимаясь на следующую ступеньку по мере обретения новых

органов. Зародыш представляет собой все классы животных во времени». Сначала это просто трубочка, похожая на червя. Затем организм обретает печень и сосудистую систему и превращается в моллюска. Получив сердце и пенис, становится улиткой. Отрастают конечности, и зародыш становится насекомым. Развиваются кости — наступает стадия рыбы; мышцы — стадия рептилии и т.д., вплоть до человека. «Человек — венец природы, апогей ее развития», — заявил Окен.

Жоффруа предположил, что зародыш не просто карабкается вверх по лестнице природы; он как бы повторяет собой всю историю развития. Предки человека на самом деле были рыбами; и жабры, которые появляются у нас на ранней стадии нашего развития, тому доказательство.

Жоффруа выступал в защиту эволюции, а европейские исследователи тем временем открывали новые виды, которые, как он утверждал, идеально укладывались в его теорию. К примеру, австралийский утконос — млекопитающее, но имеет клюв как у утки и к тому же откладывает яйца; все это побудило Жоффруа назвать его промежуточной формой между млекопитающими и рептилиями. В Бразилии исследователи нашли двоякодышащую рыбу, которая обладает легкими и способна дышать воздухом, а потому представляет собой связующее звено между позвоночными моря и суши.

В Англии ведущие ученые отвергли Жоффруа так же легко, как прежде Ламарка. Адам Седжвик, увлеченный кембриджский геолог, объявил работу этих двух французов «грубым (и, осмелюсь сказать, грязным) взглядом на физиологию». Но хотя большинство британских ученых отнеслось к эволюции с пренебрежением, задача сразиться с ней один на один выпала в 1830-х гг. на долю одного человека: блестящего молодого исследователя по имени Ричард Оуэн.

Оуэн часто первым среди британских анатомов изучал новые виды, такие как утконос и двоякодышащие рыбы, и пользовался

этим, чтобы опровергнуть заявления Жоффруа. Оуэн показал, что утконос на самом деле выделяет молоко, а это главный признак млекопитающих. А двоякодышащие рыбы, может, и имеют легкие, но, судя по всему, не имеют ноздрей, которыми снабжены все наземные позвоночные. Для Оуэна этого было достаточно, чтобы низвести их до статуса обычных рыб.

Тем не менее самого Оуэна тоже не устраивало простое заявление, что Бог создал жизнь и что ее устройство отражает Его бесконечную благость. Оуэн хотел открыть естественные механизмы творения. Он отбрасывал дикие фантазии Жоффруа, но был слишком хорошим натуралистом, чтобы не признать, что кое в чем француз прав. Сходство между видами и тот факт, что среди них можно выделить группы как бы последовательных трансформаций, были слишком очевидны.

Оуэн решил, что Жоффруа просто зашел слишком далеко в своей интерпретации данных. Так, он знал, что представления француза о том, как формируется зародыш, устарели и противоречат новым исследованиям. Прусский ученый Карл фон Бэр показал, что жизнь — не просто ведущая вверх лестница, где сложные эмбрионы повторяют до какого-то момента развитие более примитивных. Действительно, на первых стадиях эмбрионального развития все позвоночные похожи друг на друга, но только потому, что представляют собой минимальный набор клеток. С течением времени они растут и становятся легко различимыми. Да, у рыб, птиц, пресмыкающихся и млекопитающих имеются конечности, и в зачаточном состоянии все они похожи. Но со временем зачатки конечностей превращаются в плавники, руки, копыта, крылья и другие виды конечностей, характерные для различных категорий позвоночных. При этом одни категории не формируются из других. «Линейная классификация животных в порядке совершенства, — писал фон Бэр, — невозможна».

Оуэн мечтал объединить работы фон Бэра, Жоффруа и других великих биологов того времени в единую теорию жизни. Он

стремился бороться против эволюции, но не с пустыми руками, а вооружившись знанием новых законов природы, которые помогли бы ученым понять, о чем говорят с ними ископаемые останки и эмбрионы.

Оуэн впервые встретился с Дарвином спустя три недели после возвращения «Бигля». Оба они присутствовали на обеде в доме Лайеля. Дарвин развлекал присутствующих рассказами о землетрясении в Чили. После обеда Лайель представил молодых людей друг другу (Оуэн был всего на пять лет старше Дарвина). Они разговорились, и Дарвин решил, что Оуэн достаточно известен, чтобы привлечь внимание всех британских биологов к его ископаемым млекопитающим. Он в тот же вечер спросил Оуэна, не хочет ли тот посмотреть привезенные образцы. Оуэн с удовольствием принял предложение. Это была прекрасная возможность проверить свои идеи на ископаемых останках, которых еще никто не видел.

Ему неоткуда было знать, что в один прекрасный день Дарвин, если можно так выразиться, превратит его самого в ископаемое, памятник прежних эпох.

## ЗАМЕШАТЕЛЬСТВО И ЕРЕСЬ

Примерно через четыре месяца по возвращении «Бигля» Дарвин начал получать отзывы экспертов о привезенных им коллекциях ископаемых и современных животных. Поначалу эти отзывы лишь приводили его в замешательство. Так, Оуэн осмотрел найденных Дарвином млекопитающих и объявил, что это гигантские разновидности животных, до сих пор живущих в Южной Америке. Грызуны размером с бегемота, муравьеды величиной с лошадь. Вопросов у Дарвина возникало больше, чем было получено ответов. Почему, к примеру, существует преемственность между вымершими животными и теми, кто сейчас живет в той же точке планеты? Возможно ли, что ныне живущие виды

произошли — в измененной форме — от тех, чьи ископаемые останки он обнаружил?

Собранных на Галапагосах птиц Дарвин передал Джеймсу Гулду, одному из ведущих британских орнитологов. Вообще, коллекцией галапагосских птиц он особенно не занимался, да и собирал их скорее между делом — но теперь, услышав выступление Гулда на заседании Зоологического общества, пожалел о своей небрежности. Сам Дарвин установил по форме клюва, что в коллекции у него имеются воробьи, вьюрки и дрозды. Гулд же объяснил, что все эти птицы — вьюрки. Просто их клювы были похожи на клювы воробьев или дроздов, что позволяло птицам питаться определенными видами пищи.

Позже, уже в лаборатории, Гулд объяснил Дарвину, что при сборе коллекции тот сделал еще одну, куда более серьезную ошибку. Он, за редкими исключениями, не записал, с какого конкретно острова происходит тот или иной экземпляр — в то время эта информация не казалась ему важной. Нашлась, однако, случайная отметка о том, что все три пересмешника добыты на разных островах, и Гулд продемонстрировал Дарвину, что эти птицы принадлежат к трем новым — и разным — видам.

Дарвин не понимал, почему так близко друг к другу существует три разных вида пересмешников. И почему на разных островах живут разные виды вьюрков. Дарвин связался с Фицроем и попросил прислать Гулду птиц, собранных членами команды «Бигля». К счастью, моряки оказались организованнее Дарвина и пометили для себя, на каком острове подстрелили ту или иную птичку. Как и с пересмешниками, оказалось, что вьюрки с разных островов принадлежат к разным видам.

Дарвин понял, что что-то здесь не так. Почему на островах — столь похожих друг на друга — так много уникальных видов? Он открывал свои записные книжки и снова и снова пытался найти в них объяснение для галапагосских вьюрков. Окружающие не замечали перемены в Дарвине, казалось, он продолжал

по-прежнему заниматься геологией, писал о коралловых рифах и повышении уровня земли, о форме вулканов. Но втайне от всех он был захвачен необычайной мыслью. Что если выюрки не были созданы в своем нынешнем виде? Что если они эволюционировали?

В конце концов, земля, на которой обитали все эти виды, не оставалась неизменной. В настоящее время Дарвиновы выюрки жили на островах, которые когда-то поднялись из глубин океана. Скорее всего, после появления Галапагосских островов их заселили выюрки одного вида из Южной Америки, но со временем потомки тех, первых выюрков на каждом острове изменились и образовали новый вид со своими особенностями строения тела, приспособленными к определенному образу жизни. Потомки первых поселенцев разбились на несколько отдельных кланов. Точно такое же разделение могло произойти и среди млекопитающих Патагонии — какими бы они ни были, — и тогда животные, оставившие после себя гигантские окаменелые кости, могли дать начало сегодняшним куда более мелким млекопитающим.

В записной книжке Дарвина появился рисунок дерева, где старые виды ветвились и давали начало новым.

От такой идеи Дарвин пришел в ужас. У него начались приступы сердцебиения и желудочные боли, он начал просыпаться в середине ночи от странных снов и даже кошмаров. Чарльз понимал, что законы, которым подчиняется эволюция выюрков или муравьедов, в принципе должны быть применимы и к роду человеческому. Сам того не замечая, он постепенно начал воспринимать человечество как всего лишь один из многочисленных видов животных, хотя и обладающий необычными умственными способностями. «Абсурдно считать одно животное выше другого, — записал он в своем блокноте. — Люди часто говорят о чуде появления разумного Человека — но появление насекомых, обладающих иными чувствами, еще более чудесно... Кто, глядя на лицо земли, покрытое красивейшими саваннами и ле-

сами, отважится сказать, что разум — единственная достойная цель на свете?»

Может быть, человек — такой же результат эволюции, как галапагосские вьюрки. Дарвин посетил зверинец, чтобы взглянуть на недавно пойманную самку орангутанга по кличке Джени, и увидел на ее лице ту же смену выражений, какую можно видеть у маленького ребенка. «Человек — от обезьяны?» — записал он в блокноте.

Хотя новые идеи были еще в зачаточном состоянии, Дарвин понимал, что они опасны. Публичное заявление о том, что человек произошел от обезьяны, могло настроить против него Лайеля и других натуралистов, которых он уважал и от которых зависела его карьера. Тем не менее Дарвин продолжал исписывать блокнот за блокнотом, развивая свою теорию и собирая факты в ее поддержку.

Дарвин пытался выяснить, как наследственные черты передаются от поколения к поколению и как они при этом меняются. Он с пристрастием допрашивал садовников, содержателей зверинцев и любителей голубей. Он расспрашивал своего парикмахера о разведении собак. Он всюду видел признаки того, что биологические виды не вечны, но по-прежнему не понимал, каким образом какой бы то ни было вид может принять новую форму. Ламарк утверждал, что животное может измениться за время жизни и передать вновь приобретенные качества потомству, но данных о том, что это происходит в действительности, практически не было. Дарвин искал другое объяснение, другую движущую силу для механизма эволюции.

Он отыскал это объяснение в мрачной книге о неизбежных страданиях рода человеческого. В 1798 г. сельский пастор Томас Мальтус опубликовал свой «Опыт о законе народонаселения». В этой книге он указывал, что население страны, если его не ограничивают голод или болезни, может резко вырасти всего за несколько лет. Если бы каждая пара могла вырастить

четверых детей, за 25 лет население удвоилось бы и после этого каждые четверть века продолжало бы удваиваться. Оно росло бы не арифметически — в 3, 4, 5 и т. д. раз, а геометрически — в 4, 8, 16 раз и т. д.

Если в стране произойдет такой взрыв численности населения, предупреждал Мальтус, то вскоре обязательно возникнет недостаток пищи. Расчистка новых земель для земледелия и повышение урожайности может дать некоторый эффект, но в любом случае урожай может расти только арифметически, но не геометрически. Ничем не сдерживаемый рост населения неизбежно приведет к голоду и страданиям. Человечество не живет в постоянном голоде только потому, что его рост всегда ограничивают такие силы, как чума, детоубийство, и просто тот факт, что вступление в брак часто откладывают до среднего возраста.

Мальтус указывал, что силы плодovitости и голода, сформировавшие человеческий род, управляют также жизнью животных и растений. Если бы мухам не мешали производить личинок, мир скоро утонул бы в них по колено. Большая часть мух (как и большая часть представителей других видов) должна умирать, не оставив потомства.

В мрачном «Опыте» Мальтуса Дарвин нашел наконец искомый механизм — вероятную движущую силу эволюции. Выбор тех немногих счастливиц, которым удастся оставить потомство, не должен быть совершенно случайным. Нет, у некоторых особей должны быть черты, которые облегчают им выживание в определенных условиях. Может быть, они вырастают крупнее других, или обладают особенно тонким клювом, или мех у них гуще. Особи, обладающие с рождения этими чертами, оставляют потомство с большей вероятностью, чем слабые представители того же вида. А поскольку дети обычно похожи на родителей, полезные черты передаются и следующему поколению.

Вероятно, это несоответствие выражено слишком слабо, чтобы проявиться в ближайшем поколении. Но Дарвин уже



привык думать о незаметных геологических изменениях, в результате которых на Земле возникают горы. Здесь речь шла о биологическом аналоге горообразования. Если бы некая популяция птиц оказалась на одном из Галапагосских островов, то отдельные особи, лучше других приспособленные к жизни именно на этом острове, произвели бы на свет следующее поколение. И если бы времени было достаточно, эти изменения привели бы к возникновению нового вида.

Дарвин придумал хорошую аналогию этому процессу. Фермеры, ухаживая за растениями, всегда отбирают лучшие из них. Затем они используют для посева семена только этих лучших растений, получая из них растения нового поколения. Если этот процесс продолжается достаточно долго, растения этого фермера начинают отличаться от других разновидностей. Но в природе нет фермера. Там есть только животные и растения, конкурирующие друг с другом за выживание — за свет, или воду, или пищу. Они тоже подвергаются отбору, или селекции, — селекции без селекционера. А в результате, понял Дарвин, жизнь могла возникнуть сама по себе, и в отдельных актах творения не было нужды.

## «ВСЕ РАВНО ЧТО ПРИЗНАТЬСЯ В УБИЙСТВЕ»

Дарвин ненадолго отвлекся от еретических размышлений и записей, чтобы найти себе жену. До путешествия он был влюблен в женщину по имени Фанни Оуэн, но вскоре после отплытия экспедиции она вышла замуж за другого. Вернувшись, он некоторое время размышлял, стоит ли ему вообще жениться. Будучи методичным ученым, Чарльз и здесь решил собрать все аргументы воедино и записал их на листочке — «за» и «против». Слева он написал «Жениться», справа — «Не жениться», а в середине добавил: «Вот в чем вопрос». Новоявленный Гамлет рассуждал о том, что как у холостяка у него будет больше времени для научных занятий и разговоров в мужских клубах. Ему не придется думать

о заработке ради детей. С другой стороны, жена привнесет в его жизнь «легкую женскую болтовню» и постоянное дружеское общение в старости. В конце Дарвин просуммировал аргументы и вывел окончательное заключение: «Жениться — Жениться — Жениться. QED\*».

В жены Дарвин выбрал свою кузину Эмму Веджвуд. Его не интересовали светские женщины, которых он встречал в Лондоне. Вместо этого он обратил внимание на племянницу матери, выросшую, как и он сам, в деревне. Сама девушка давно интересовалась Дарвином и с удовольствием общалась с ним во время его нечастых визитов в Веджвуд-Хаус. Она с радостью принимала его ухаживания, хотя ухаживал он неуклюже, делая туманные намеки и непонятные жесты. Тем не менее Эмма оказалась совершенно не готова, когда в один прекрасный день он нервно выпалил, что хочет на ней жениться. Она ответила согласием, но была настолько потрясена, что тут же ушла проводить обычное занятие в воскресной школе.

Вскоре, однако, она привыкла к мысли выйти замуж за человека, обладающего, по ее мнению, «идеальным мягким характером». В общем, Эмма была счастлива. Дарвина же беспокоила мысль о том, что за время, проведенное на «Бигле», он сделался слишком замкнутым и нелюдимым для женитьбы; надежду вселяла лишь мысль о браке с Эммой. «Я думаю, что вы смягчите мою натуру, — писал он ей, — и быстро поможете мне понять, что в мире существует большее счастье, чем строить теории и собирать факты в тиши и одиночестве».

Эмму тревожило лишь одно: разговоры Чарльза о природе и о законах, которые, возможно, ею правят. Эмма, набожная прихожанка англиканской церкви, видела, что у Чарльза есть сомнения относительно Библии. «Сделайте мне одолжение», — писала она ему, прося перечитать Евангелие от Иоанна: «Заповедь

---

\* Что и требовалось доказать (лат.). — Прим. пер.

новую даю вам, да любите друг друга; как Я возлюбил вас, так и вы да любите друг друга». Эмме казалось, что, начав с любви, Дарвин еще может стать настоящим христианином.

В ответном письме он написал, что «полон энтузиазма в этом вопросе», но даже беглый взгляд на записные книжки того времени убедил бы нас, что жених не был до конца искренен. Он склонялся к мысли, что религия — больше вопрос инстинкта, нежели какой-то там любви к истинному Богу. Но любовь — любовь к Эмме — не позволяла Дарвину полностью раскрыть ей все, что он думал по этому поводу.

После свадьбы Чарльз привез Эмму в Лондон, и у молодой четы началась спокойная размеренная жизнь. Эмма продолжала тревожиться о душе Чарльза, эта тема присутствует практически во всех написанных мужу письмах. Так, в письме 1839 г. она тревожилась о том, что Чарльз так поглощен поисками истины в природе, что полностью закрывается от истины иного сорта — той, что может раскрыть перед человеком только религия. Он верит лишь в то, что можно доказать, и потому не в состоянии принять «иные вещи, которые не могут быть доказаны тем же способом и которые, если истинны, окажутся, вероятно, выше нашего понимания». Она умоляла Чарльза не забывать, что сделал Иисус для него лично и для остального мира. Дарвин оставил это письмо без ответа, но запомнил на всю жизнь.

В 1839 г. Дарвин опубликовал «Дневник изысканий по естественной истории и геологии стран, посещенных во время кругосветного плавания корабля ее величества “Бигль” под командой капитана королевского флота Фицроя». Книга имела громадный успех и еще больше укрепила и без того прочную репутацию Дарвина как натуралиста. К моменту ее выхода Чарльз и Эмма были женаты уже три года и имели двоих детей; молодые люди решили, что пора покинуть Лондон. Им надоела преступность, угольная пыль, оседающая на одежду, и лошадиный помет, который так и норовил прилипнуть к подметкам. Они хоте-

ли растить детей в деревне, где выросли сами. Дарвины подобрали себе небольшое имение Даун-Хаус — 18-акровую ферму в Кенте, в 16 милях от Лондона. Чарльз стал, как тогда говорили, фермером-джентльменом; он посадил на своей земле цветы, завел лошадь и корову. Он совершенно перестал появляться в научных обществах. Необходимую информацию он получал по переписке или в беседах с приглашенными на уик-энд тщательно подобранными гостями. (Эразм, кстати сказать, не любил уезжать из Лондона и навещать брата; он с иронией относился к деревенским пристрастиям Чарльза.)

Все это время Дарвин продолжал втайне обдумывать свою теорию эволюции. Он написал короткую статью с обоснованием теории естественного отбора и в 1844 г., закончив ее, оказался в сложном положении. Он не знал, что делать дальше. Он не мог даже поговорить с кем-нибудь о своей теории. Готовя доказательства в ее пользу, он собирал сведения у десятков самых разных людей, но никому из них Дарвин не рассказывал, для чего ему эта информация. Мальчик, который боялся сказать отцу, что не сможет стать врачом, превратился в мужчину, который боялся поведать кому бы то ни было о своих опасных идеях.

Но вечно так продолжаться не могло. Дарвин должен был поделиться с кем-нибудь своими мыслями. Он должен был найти ученого, способного квалифицированно оценить его теорию и, может быть, найти в ней принципиальную ошибку, которую сам он, Дарвин, не заметил. Его выбор пал на Джозефа Гукера, молодого ботаника. После возвращения «Бигля» именно он изучал привезенные из кругосветного путешествия образцы растений, и теперь Дарвин надеялся, что Гукер окажется достаточно восприимчивым к новому и не отметет его теорию с порога, назвав автора богохульником. Он написал Гукеру:

«С самого моего возвращения я занят одной весьма дерзкой работой, и я не знаю ни одного человека, который не назвал бы ее весьма

глупой. Меня так поразило распространение галапагосских организмов и пр., что я решил наугад собирать любые факты, имеющие хоть малейшее отношение к вопросу о том, что такое виды. Я прочел горы книг по сельскому хозяйству и растениеводству и ни на миг не прекращал собирать факты. Наконец появились проблески света, и теперь я почти убежден (в противоположность первоначальному моему мнению), что виды (это как сознаться в убийстве) не постоянны... Я считаю, что нашел (вот дерзость!) простой способ, при помощи которого виды точно приспосабливаются к самым разным условиям. Вы охнете и подумаете про себя: “На какого человека я тратил свое время и письма”. Я бы и сам пять лет назад так подумал».

Гукер полностью оправдал надежды Дарвина. «Я с большим интересом знакомлюсь с вашими представлениями о том, как могли происходить такие изменения, — написал он в ответ, — поскольку ни одно из существующих сегодня мнений на эту тему меня не удовлетворяет».

Реакция Гукера немного приободрила Дарвина, и через несколько месяцев он набрался смелости показать свое эссе Эмме. Он понимал, что жену это встревожит, но хотел подстраховаться: он хотел, чтобы в случае его безвременной смерти работа была опубликована. Эмма прочла эссе. Она не стала рыдать или падать в обморок. Она просто указала на места, написанные менее внятно. После утверждения Дарвина о том, что, по его мнению, естественный отбор мог создать даже такой сложный орган, как глаз, она подписала: «Сильное допущение».

## СНОВА В ТЕНЬ

Теперь, когда о секрете узнали еще двое, Дарвин стал медленно набираться уверенности для публикации своего эссе. Но всего через месяц вся его уверенность испарилась как дым. В октябре 1844 г. из типографии вышла книга под названием «Начала

естественной истории творения». Ее автор, шотландский журналист Роберт Чемберс, пожелал остаться неизвестным — он зашел в этом желании так далеко, что постарался скрыть даже путь, которым его издатель переводил ему отчисления с продаж. Надо сказать, его осторожность оказалась вполне оправданной.

Начиналась книга Чемберса достаточно невинно; описывалась Солнечная система и соседние звезды, формирование Земли из газового диска рассматривалось с точки зрения законов физики и химии. Чемберс постепенно разворачивал геологическую летопись, как ее тогда понимали, и отмечал изменение окаменелых останков. Сначала появлялись простые, затем — сложные. Время шло, все более сложные высшие формы жизни оставляли в геологических слоях свои следы. И здесь Чемберс делал скандальное заявление. Если люди способны признать, что Бог собрал небесные тела в соответствии с естественными законами, «что мешает нам признать, что органическое творение — тоже результат действия естественных законов, которые точно так же представляют собой выражение Его воли?». В этом предположении больше смысла, чем в предположении о том, что Бог лично создавал каждый вид креветок или ящериц. «Ясно, что эта идея слишком нелепа, чтобы всерьез ее рассматривать».

Переходя к вопросу о том, как именно работают эти естественные законы, Чемберс предлагал читателю бессмысленную мешанину из химии и эмбриологии, в которых сам не слишком разбирался. Он утверждал, что электрическая искра могла превратить неживую материю в простейших микробов. После этого жизнь должна была эволюционировать, меняя способ развития. Здесь Чемберс полагался на устаревшие представления немецких биологов. Он указывал, что врожденные дефекты часто возникают из-за неверного прохождения всех ступеней развития — к примеру, младенец может родиться с двухкамерным, как у рыбы, а не четырехкамерным сердцем. Предположительно подобные дефекты — результат «неспособности к развитию в ор-

ганизме матери в связи со слабым здоровьем или несчастьем». В обратном случае, мать может родить детеныша, который выйдет на новую ступень развития. Так, у гусыни может в принципе появиться гусенок с телом крысы — первый утконос. «Таким образом, возникновение новых форм, как показывает нам геологическая летопись, всегда сводилось лишь к новой ступени прогресса в развитии зародыша».

Чемберс считал, что читателей не оскорбит предположение о том, что они происходят от рыб. Последовательность событий, которую он описывал, представляла собой «чудеса высочайшего толка, ибо в каждом из них мы должны видеть действие Всемогущей Воли, которая устроила все вокруг в такой гармонии с внешними физическими обстоятельствами». Британский читатель «Начал», принадлежащий к среднему классу, мог продолжать жить по-прежнему и руководствоваться прежними моральными нормами. «Так мы, как надлежит, воспринимаем с уважением то, что открывается нам посредством природы, в то же время полностью сохраняя почтение к тому, что привыкли считать священным, и ни одной малости из всего этого нам, скорее всего, не придется менять».

«Начала» имели громадный успех, были проданы десятки тысяч экземпляров. Широкая английская публика впервые познакомилась с концепцией эволюции. Но ведущие британские ученые подвергли книгу уничижительной критике. «Мне кажется, автор — женщина, — писал Адам Седжвик, — отчасти из-за полного невежества в области здоровой научной логики, которое демонстрирует книга». Еще больше Седжвика ужаснул вызов благопристойности. Если книга правдива, заявил он, то «религия — ложь; человеческий закон — смесь глупости и несправедливости; мораль — иллюзия».

Сила и ярость реакции ученых на книгу Чемберса повергла Дарвина в шок и заставила вновь уйти в тень. Он даже не представлял, насколько Седжвик и другие его учителя не приемлют

эволюцию. Но он не мог уже отказаться от своей новой теории. Вместо этого он решил, что придумает, как избежать судьбы Чемберса.

Дарвин видел, что у «Начал» есть очевидные недостатки. Будучи журналистом, Чемберс просто взял чужие идеи и слепил из них дешевую теорию. В каком-то смысле этим грешил и сам Дарвин — его идеи основывались на информации, которую он вычитал или слышал от десятков самых разных людей: Лайеля, Мальтуса, даже своего парикмахера. В геологии он теперь был признанным авторитетом, но его тревожило, что, дойди дело до биологии, к нему вновь отнесутся как к дилетанту. Чтобы быть принятым всерьез, он должен был заранее проявить себя первоклассным натуралистом и доказать, что способен справиться с самыми сложными загадками природы.

Он обратился к привезенным на «Бигле» образцам, не приведенным в порядок за восемь лет после завершения экспедиции. В одной из банок плавала ракушка, известная как морская уточка. Большинство людей думает о морских уточках как о существах, которыми обрастают днища судов и от которых их периодически приходится очищать. На самом же деле эти существа — одни из самых необычных в океане. Поначалу зоологи считали морских уточек моллюсками, такими же, как устрицы и другие двустворчатые моллюски, которые умеют прикреплять свои твердые раковины к плоской поверхности. На самом деле морская уточка — ракообразное, как омар или креветка. Ее подлинная природа выяснилась только в 1830 г., когда один британский военный хирург взглянул на ее личинки и обнаружил их сходство с молодыми креветками. При попадании в морскую воду личинка морской уточки сразу ищет место, где прикрепиться — будь то корпус корабля или раковина двустворчатого моллюска, — и устраивается на выбранном месте головой вниз. После этого она теряет форму, характерную для ракообразных, образуя коническую раковину. Из этой раковины уточка высо-



вывает конечность, при помощи которой достает пищу, отфильтровывая воду.

В 1835 г. у побережья Чили Дарвин подобрал образец, где на внутренней стороне раковины моллюска устроились морские уточки размером с булавочную головку. Теперь, взглянув на них в микроскоп, Дарвин понял, что каждый рачок на самом деле представляет собой пару — крупную самку и прикрепленного к ней миниатюрного самца. В то время гораздо лучше были изучены гермафродитные формы морских уток, снабженные как мужскими, так и женскими репродуктивными органами. А эти рачки размером с булавочную головку оказались такими необычными, что Дарвин был уверен: это новый род.

Открытие оказалось началом нового долгого пути. Поначалу Дарвин планировал просто написать короткую статью с описанием находки. Однако для этого нужно было разобраться, какое место она занимает среди множества известных видов морских уток и как ее можно классифицировать. Он попросил Оуэна одолжить ему несколько образцов других рачков и посоветовать, как правильно все сделать.

Оуэн объяснил Дарвину, что ему необходимо связать своего рачка — каким бы необычным он ни казался — с фундаментальным архетипом ракообразных. К 1840-м гг. Оуэн решил, что именно архетипы — ключевое понятие зоологии. Сам он в то время пытался реконструировать архетип позвоночных; ему казалось, что архетип этот должен подразумевать лишь позвоночный столб, ребра и рот. Тело с такой структурой в природе не существует, утверждал Оуэн; это всего лишь принцип, который Бог держал в уме и на основе которого создавал все более и более сложные формы. Связь с архетипом несложно увидеть, если сравнить несколько разных позвоночных.

Возьмите, к примеру, летучую мышь, ламантина и птицу. У летучей мыши есть крыло, образованное перепонкой между удлинненными пальцами. У ламантина есть ласты для плавания.

У птицы тоже есть крыло, но состоит оно из перьев, закрепленных на костях кисти, сросшихся в шарнирный стержень. Конечности каждого из этих позвоночных приспособлены к среде обитания и образу жизни, но в то же время соответствуют друг другу в точности, косточка к косточке. У всех из них есть пальцы, которые крепятся к костям запястья, а те, в свою очередь, — к двум длинным костям, которые соединяются в локте с одной длинной костью. Для Оуэна подобные соответствия (ученые называют их гомологиями) означали, что тела всех позвоночных строятся по одному принципу.

Оуэн посоветовал Дарвину искать гомологии между морскими утками и другими ракообразными. Вообще-то Дарвину архетипы Оуэна казались несостоящей чепухой. Он считал, что сходство различных позвоночных указывает на их происхождение от общего предка. Но чтобы проследить эволюцию морских уток от менее необычных ракообразных, Дарвину потребовалось бы изучить множество морских уток (на сегодняшний день известно 1200 видов). Он позаимствовал у других натуралистов их коллекции, изучил доступные образцы соответствующих окаменелостей и даже проник в запасники Британского музея. В результате на изучение морских уток у Дарвина ушло восемь лет. Все это время его теория эволюции, идея не менее революционная, чем гелиоцентрическая космология Коперника, пролежала на полке.

Почему такая задержка? Может быть, оттягивать неизбежную конфронтацию с наставниками Дарвина заставлял страх. Еще одна причина могла состоять в том, что Дарвин просто устал. Пять лет, проведенные в плавании, дались ему нелегко; за ними последовали восемь лет неустанный труда, подготовки книг и статей. После возвращения в Англию его здоровье резко ухудшилось, и теперь он регулярно испытывал изматывающие приступы рвоты. В свои 35 лет Дарвин жаждал покоя.

Была и еще одна причина для задержки — горе. Любимая дочь Дарвина Анна умерла от гриппа в 1851 г. в возрасте 10 лет.

Наблюдая ничем не заслуженные страдания и агонию девочки, Дарвин окончательно отказался от веры в высшие силы. После смерти Анны он не мог уже говорить с Эммой о вере. Возможно, изучение необычных рачков стало для него способом спрятаться от самого себя и от своего горя.

Но вообще, если оставить в стороне страх, усталость и горе, изучение морских уток захватило Дарвина. Эти рачки оказались идеальным объектом для изучения механизма действия эволюции. К примеру, Дарвин пришел к выводу, что предки чилийских уток могли произойти от гермафродитов, а затем эволюционировать через несколько переходных форм и начать производить мужские и женские особи. Кроме того, сильное впечатление на него произвели вариации, обнаруженные им среди представителей одного вида рачков. Ни одна деталь анатомии морских уток не отличалась единообразием. В этом, понял Дарвин, огромный запас материала для естественного отбора. Первоначально он считал, что виды подвергаются естественному отбору только в определенные периоды — к примеру, когда возникают острова или начинают погружаться континенты. Но при таком количестве вариантов, из которых можно выбирать, естественный отбор может работать постоянно.

Эти «крамольные» мысли не вошли в труды Дарвина о морских уточках. Опубликованный им 1000-страничный том принес естествоиспытателю похвалы, награды и уважение, в которых он так нуждался. К 1854 г. Дарвин был готов вернуться к размышлениям о естественном отборе.

## ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР ВЫХОДИТ ИЗ ТЕНИ

Дарвин начал с того, что ответил на некоторые сомнения, высказанные Джозефом Гукером. В частности, Дарвин утверждал, что растения и животные островов не были там созданы, что они представляют собой изменившихся потомков случайно попав-

ших на острова особей. Если это так, то в первую очередь необходимо было установить, каким образом эти самые особи могли добраться до островов. Гукер, опытный ботаник, прекрасно знал, что ветер и вода способны переносить семена на многие мили, но высказывал сомнение в том, что речь может идти о таких громадных расстояниях.

В ответ Дарвин поместил семена в емкость с соленой водой и убедился, что они сохраняют всхожесть даже после четырех месяцев пребывания в воде. Он обнаружил также, что птицы могут переносить семена на лапах и что семена могут даже быть съедены совами, пройти по пищеварительному тракту, выйти с пометом — и при этом сохранить всхожесть. То есть теория Дарвина породила первую гипотезу — и гипотеза эта прошла проверку и получила подтверждение.

Кроме того, Дарвин продолжил свое знакомство с разведением животных. Он пил джин с голубеводами, и они объясняли ему, как использовать крохотные отклонения от стандарта для получения совершенно новых форм. Дарвин и сам начал разводить голубей; он убивал птиц и вываривал тушки, очищая скелеты от мягких тканей, чтобы измерить размеры костей и оценить изменчивость. Он обнаружил, что каждая порода голубей так отличается от других, что, будь эти птицы дикими, каждая порода рассматривалась бы как отдельный вид. Почти каждая деталь голубиной анатомии — от ноздрей, формы и размера крыльев до ребер — может отличать одну породу от другой. При этом, если можно так сказать, все без исключения породы домашних голубей происходят от единственного вида дикого скалистого голубя.

К 1856 г. Дарвин нашел так много дополнительных доказательств эволюции, что вернулся к эссе 1844 г. и начал его перерабатывать. Небольшое эссе вскоре разрослось до громадного опуса, насчитывавшего сотни тысяч слов. Автор включил в свой труд все, что узнал за эти годы — во время кругосветного путешествия, из книг и разговоров, из собственных исследований

усоногих рачков и всхожести семян. Он решил завалить противников эволюции целой лавиной фактов.

После памятного дня в 1844 г., когда Чарльз показал Эмме свою рукопись, он практически не заговаривал о новой теории. Но теперь почувствовал себя более уверенно и отважился познакомить с ней еще несколько человек — в основном молодых ученых, более открытых всему новому. Среди избранных оказался и блестящий молодой зоолог, с которым Дарвин недавно подружился, по имени Томас Гексли.

Гексли не мог, подобно Дарвину, заниматься наукой как джентльмен-любитель. Он родился в крохотной квартирке над лавкой мясника. У его отца, учителя в разорившейся школе, а затем директора разорившегося банка, не было денег на образование сына. В 13 лет Гексли стал помощником врача, а тремя годами позже переехал вместе с ним в Лондон. Там он с большим трудом выучился на хирурга, едва сводя концы с концами при помощи крохотных стипендий и скромных займов у дальних родственников. Единственным способом рассчитаться с долгами стало поступление на военно-морскую службу: он стал помощником хирурга на корабле «Гремучая змея» и отправился в рейс к берегам Новой Гвиней. Гексли уже тогда испытывал серьезный интерес к зоологии и понимал, что в плавании у него будет возможность собрать столько экзотических видов, сколько захочется.

Четыре года спустя, в 1850 г., Гексли вернулся в Англию. Подобно Дарвину, за время путешествия он стал настоящим ученым. Как и в случае с Дарвином, научная слава обогнала корабль, поскольку статьи Гексли были опубликованы в Англии еще до его возвращения. Статьи эти были посвящены странным созданиям вроде португальского кораблика — загадочного животного, которое на поверку оказалось целой колонией особей. После этого Гексли смог получить на флоте трехлетний отпуск с сохранением жалованья — для продолжения исследований. Не имея никакой

ученой степени, в 26 лет он был избран членом Королевского общества.

Адмиралтейство трижды приказывало Гексли вернуться на действительную службу, и после третьего отказа он был вычеркнут из списков. Он попытался найти в Лондоне другую работу и в конце концов устроился на полставки в Школу горного дела. Он писал в газеты обзоры и рецензии — и всего заработанного едва хватало на содержание семьи. Гексли всегда возмущал тот факт, что первые роли в науке играют исключительно богачи — просто потому, что могут себе это позволить. Тем не менее он сумел заслужить отличную репутацию и не боялся нападать на патриарха английских биологов Ричарда Оуэна.

В то время Оуэн обдумывал идею своего рода божественной эволюции. Со временем, предполагал он, Бог создавал новые виды, всегда опираясь на собственные архетипы. Оуэн представлял, как величественно разворачивалось полотно жизни в соответствии с божественным планом — от общего к частному: «упорядоченное непрерывное становление», как он это называл. Чтобы успокоить своих поклонников и покровителей, приверженцев натуральной теологии и неизменности видов, Оуэн не забывал повторять, что биология все же «связана с высочайшими нравственными соображениями».

Гексли в публичных выступлениях и рецензиях насмехался над попытками Оуэна превратить Бога в инженера, а летопись ископаемых расценивать как модификации проекта. Сам Гексли не принимал эволюцию ни в какой форме — ни в божественной, ни в материалистической. Он не видел прогресса ни в истории Земли, ни в истории жизни. Но в 1856 г., когда Дарвин пригласил Гексли на уик-энд в свой загородный дом, все изменилось.

Дарвин изложил ему свою версию эволюции, помогающую объяснить природные закономерности без участия высших сил и вообще без особого внешнего вмешательства. Он показал

Гексли своих голубей и семена. Гексли это полностью убедило, и в дальнейшем он стал лучшим союзником Дарвина.

Медленное, осторожное движение Дарвина к опубликованию теории продолжалось, но 18 июня 1858 г. в Даун-Хаус пришло неожиданное письмо. Письмо это было отправлено Дарвину с другого конца света, и автором его был путешествующий натуралист Альфред Рассел Уоллес. В то время Уоллес занимался исследованием Юго-Восточной Азии, собирал образцы, чтобы оплачивать дальнейшие путешествия и искал доказательства эволюции. В возрасте 21 года он прочел «Начала», и идея о непрерывном развитии природы во времени от простого к сложному покорила его. Немного позже, познакомившись с путевыми записками Дарвина, он решил, что тоже отправится путешествовать.

Для начала Уоллес предпринял в 1848 г. путешествие на Амазонку. Позже он побывал в Индонезии, где рассчитывал найти орангутангов и больше узнать о предках человека. Одновременно он зарабатывал себе на жизнь тем, что отправлял домой целые ящики жуков, птичьих шкурок и других образцов дилерам и постоянным клиентам в Лондоне. Дарвин был одним из постоянных клиентов; он получал от Уоллеса птичьи шкурки для своих исследований. Неудивительно, что два натуралиста начали обмениваться письмами.

Дарвин рекомендовал Уоллесу думать об эволюции теоретически и масштабно и как-то признался, что имеет собственную теорию возникновения видов. Уоллес решил написать Дарвину письмо и изложить свои мысли на этот счет. Когда Дарвин вскрыл письмо, у него упало сердце. Уоллес тоже читал Мальтуса и размышлял о том, как природа должна реагировать на перенаселенность. Подобно Дарвину, он тоже пришел к выводу о том, что в результате действия внешних факторов существующие виды должны изменяться и возникать новые.

В тот момент Дарвин планировал поработать над своей теорией еще несколько лет, прежде чем публиковать ее. Письмо

Уоллеса спутало все планы. Дарвин держал в руках значительную часть собственной теории, изложенную другим ученым. Конечно, теории не совпадали: так, Уоллес не придавал особого значения конкуренции между особями одного вида. Он предположил просто, что среда отбраковывает неприспособленных особей. Но Дарвин не собирался лишать Уоллеса заслуженной славы и признания. Он был глубоко честным человеком и скорее сжег бы собственную книгу, чем допустил, чтобы кто-нибудь заподозрил его в обмане Уоллеса.

Так что Дарвин договорился с Лайелем о том, что доклады по его работе и работе Уоллеса будут заслушаны в Линнеевском обществе одновременно. 30 июня 1858 г. обществу были представлены отрывки из эссе Дарвина 1844 г., часть письма, написанного им Гукеру в 1857 г., и статья Уоллеса. Двадцать лет осторожных исследований и тайных тревог неожиданно подошли к концу. Результаты трудов были представлены на суд научной общественности и всего мира.

Но научная общественность не спешила с оценками. Работы Дарвина и Уоллеса, озвученные в Линнеевском обществе в разгар длинного насыщенного сезона, были встречены молчанием. Возможно, доклады оказались слишком сжатыми, слишком осторожными, чтобы слушатели могли понять, о чем, собственно, ведут речь авторы. Дарвин решил: пора изложить свои аргументы в научном журнале.

Несколько следующих месяцев он пытался сделать из гигантского тома «Естественного отбора» короткую и убедительную статью, которую можно было бы опубликовать в журнале. Но в процессе работы статья вновь и вновь раздувалась до книжных размеров. У Дарвина просто было слишком много аргументов и доказательств — и они были совершенно необходимы для отражения контратак со стороны противников эволюции; в том, что контратаки будут, Дарвин не сомневался. Он связался с Джоном Мюрреем, издателем «Записок натуралиста», и спро-



сил, не согласится ли тот издать еще одну книгу. «Записки» имели большой успех, так что Мюррей согласился опубликовать вторую книгу Дарвина, получившую название «О происхождении видов путем естественного отбора».

В это время здоровье Дарвина вновь пошатнулось. Первый экземпляр своей книги в великолепной зеленой обложке он получил в ноябре 1859 г. в Йоркшире, на водах. Вскоре прибыли и авторские экземпляры, и Дарвин сразу же отправил один из них Уоллесу в Индонезию. К книге была приложена записка: «Бог знает, что подумает публика».

## «ЕСТЬ ВЕЛИЧИЕ В ЭТОМ ВОЗЗРЕНИИ»

К моменту выхода в свет «Происхождения видов» теория, представленная в книге, ушла далеко вперед от первоначальной своей формы 1844 г. Она стала гораздо шире и включала теперь всеобъемлющее объяснение жизни на Земле.

Дарвин решил начать изложение темы не с далеких Галапагосских островов, не с океанских глубин и коралловых рифов, а с привычных реалий английской жизни. Он начал с рассказа о том, какое множество форм принимают растения и животные в умелых руках селекционеров. Голубеводам удалось удвоить обычное количество перьев в хвосте трубастого голубя и превратить в настоящий капюшон перья на шее якобина. В природе подобные черты могли бы определить отдельный вид птиц — а селекционеры получили их всего за несколько поколений.

Далее Дарвин признавал, что никто по-настоящему не понимает, каким образом наследственность позволяет селекционерам проделывать подобные чудеса. Селекционеры просто знают, что некоторые черты обычно наследуются вместе. К примеру, голубоглазые кошки неизменно глухи. Но если сама по себе наследственность — загадка, ясно все же, что родители, как правило,

производят на свет похожих на себя детенышей — хотя в каждом поколении наблюдается некоторая степень изменчивости.

Если бы в природе вам довелось встретить трубастого голубя или якобина, вы могли бы принять их за разные виды птиц, которые, как ни странно, способны скрещиваться между собой и давать жизнеспособных птенцов. Вообще, указывал Дарвин, в дикой природе очень тяжело отличить вид от разновидности. Биологи много лет спорят о том, принадлежат ли некоторые разновидности дуба одному виду. Дарвин предположил, что путаница здесь возникает потому, что вариации обладают некоторыми из характеристик вида. И еще потому, что они часто представляют собой зарождающиеся виды.

Как может такой зарождающийся вид превратиться в полноценный? Здесь Дарвин обратился к Мальтусу. Даже долгоживущие и медленно размножающиеся виды, такие как человек или кондор, способны удвоить свою численность за 20–30 лет. Ясно, что при такой скорости размножения любой из этих видов всего за несколько тысяч лет заполонил бы планету. Но растения и животные регулярно уничтожаются в поразительных количествах. Дарвин припомнил, как однажды четыре пятых всех птиц вокруг Даун-Хауса погибли в результате кратковременного резкого похолодания. Кажущаяся безмятежность природы скрывает под собой постоянное массовое убийство.

Некоторым представителям вида удастся выжить в подобных катаклизмах; части из них просто везет, а часть обладает определенными свойствами, которые увеличивают вероятность выживания. Уцелевшие оставляют потомство, а плохо приспособленные погибают. Иными словами, природа — тоже селекционер, причем гораздо более искусный, чем люди. Человек может выводить новую породу голубей лишь по одному признаку — к примеру, по хвостовым перьям, — тогда как природа постоянно ведет отбор по бесчисленному количеству признаков, и не только телесных; немалое значение имеют и инстинкты.

«Она может влиять на всякий внутренний орган, на каждый нюанс конституциональной особенности, на целый жизненный механизм, — писал Дарвин. — Человек отбирает только ради своей пользы; Природа — только ради пользы охраняемого существа».

И если человек может вести отбор на протяжении лет или в лучшем случае десятилетий, то в распоряжении природы — громадные промежутки времени. «Можно сказать, что естественный отбор ежедневно и ежечасно расследует по всему свету мельчайшие изменения, — писал Дарвин. — Мы совершенно не замечаем этих малых изменений, пока рука времени не отметит истекших веков».

Если естественный отбор будет работать над вариацией достаточно долго, она превратится в новый отдельный вид. После тысячи-другой поколений один вид птиц, состоящий из двух вариаций, может образовать два отдельных вида. Особи каждого вида борются за существование, как между собой, так и с особями других видов. При этом наиболее интенсивной оказывается конкуренция между двумя близкими видами. Со временем один из них даже может исчезнуть с лица земли. Именно этим, утверждал Дарвин, объясняются все окаменелости животных, которых сегодня невозможно найти на Земле. Они не просто исчезли — они были вытеснены другими животными.

Чтобы помочь читателю представить себе этот процесс, Дарвин нарисовал иллюстрацию — единственную во всей книге. Внизу страницы он обозначил несколько первоначальных видов, которые подобно веткам на дереве образовывали со временем новые побеги. Большая часть этих побегов засыхала — это были вымершие вариации или виды, — но некоторые из них доходили до самого верха страницы. Жизнь — не Великая цепь бытия, утверждал Дарвин, а ветвистое дерево.

«Происхождение видов» — книга, написанная с оборонительных позиций человеком, который много лет молча выслушивал,

как другие ученые осмеивают эволюцию, и представлял себе, что они смеются над ним. Он выдвигает свои аргументы один за другим. Если старые виды постепенно превращались в новые, то почему разные животные так отличаются друг от друга? Ответ Дарвина состоял в том, что если конкуренция между двумя сходными видами часто приводит к вымиранию одного из них, то живущие сегодня животные — всего лишь случайная выборка из всех когда-либо существовавших видов.

Но разве не должны мы видеть эти промежуточные формы хотя бы в окаменелостях? Дарвин напоминал читателям, что окаменелости по природе своей представляют лишь отдельные фрагменты истории жизни. Чтобы превратиться в окаменелость, труп древнего животного должен оказаться удачно погребенным под слоем осадочных пород, превратиться в камень, а затем еще не исчезнуть в результате какого-нибудь извержения, землетрясения или просто эрозии. Шансы на это чрезвычайно малы, поэтому вид, включавший прежде миллионы особей, может дойти до нас в виде единственной окаменелости. Пробелы в этой летописи не должны удивлять нас — это правило, а не исключение. «Земная кора — обширный музей, — писал Дарвин, — но его естественные коллекции собирались очень несовершенным образом и лишь через долгие промежутки времени».

Как мог естественный отбор создавать сложные органы и даже целые организмы, состоящие из множества взаимозависимых частей? Как, к примеру, он мог сотворить летучую мышь или глаз? Странно было бы ожидать, что окаменелости расскажут нам эту историю целиком. Вместо этого Дарвин обратился за аналогиями к существующим животным и показал по крайней мере, что такая трансформация не невозможна. В случае с летучими мышами он указал на белок. Многие живущие на деревьях белки обладают лишь четырьмя обычными лапами и тонким хвостом. Но есть виды, у которых хвост упло-

щен, а кожа на теле висит свободно. Существуют также белки, у которых между лапами и даже хвостом натягивается широкая перепонка и которые могут прыгать с деревьев и скользить по воздуху. Кроме того, указывал Дарвин, бывают планирующие млекопитающие, известные как летающие лемуры: у них удлинённые пальцы и перепонка, которая натягивается от нижней челюсти до хвоста.

Получился относительно плавный переход от обычного четвероногого млекопитающего к существу с анатомией, близкой к анатомии летучей мыши. Возможно, предки летучих мышей прошли подобную эволюционную цепочку и, не остановившись на этом, сделали ещё один шаг, развив у себя мускулы, необходимые для настоящего полета.

Точно так же и глаз необязательно должен был разом появиться на голове животного. Беспозвоночные, такие как плоские черви, имеют всего лишь особые нервы, окончания которых покрыты светочувствительными пигментами. У некоторых ракообразных уже есть глаза, но это всего лишь слой пигмента, покрытый мембраной. Со временем такая мембрана вполне могла отделиться от пигмента и взять на себя роль простой линзы. Так, путем небольших изменений подобный глаз мог превратиться в те точнейшие телескопы, которыми пользуются птицы и млекопитающие. Поскольку даже слабое зрение лучше, чем никакого, каждый шагок на этом пути должен подхватываться и вознаграждаться естественным отбором.

С открытием естественного отбора Дарвин вновь обратился к идеям других ученых и показал, что в рамках его теории они обретают дополнительный смысл. В молодости Дарвин восхищался теорией Пейли, но теперь показал, как природные структуры могли возникнуть без вмешательства творца. Карл фон Бэр продемонстрировал, что зародыши различных животных на ранних стадиях развития очень похожи между собой, а собственные характерные черты обретают позднее. Для Дарвина этот факт

был указанием на общее происхождение животных и на то, что различия в развитии возникли уже после того, как предки этих животных разошлись на пути эволюции.

Мало того, Дарвин принял даже архетипы Оуэна. «В архетипах Оуэна я вижу больше, чем идеал, я вижу реальное представление о том, как совершеннейшее мастерство и величайшее обобщение может представлять предка позвоночных», — написал он однажды коллеге-ученому. По Оуэну, гомология между крылом летучей мыши и ластой ламантина говорит о том, как работал разум Создателя. По Дарвину, эта гомология — признак общего наследия.

Дарвин в книге очень осторожно обходил острые углы и старался не писать о том, что его теория означает для рода человеческого. «В отдаленном будущем я вижу широкое поле для гораздо более значительных исследований. Психология будет строиться на новом фундаменте, на идее, что всякая умственная способность осваивается постепенно. Это прольет свет на происхождение человека и его историю».

Он не собирался повторять ошибку, которую сделал в своих «Началах» Роберт Чемберс. Дарвин намеревался изложить научную теорию и не хотел примешивать к этому делу эмоции. Тем не менее совсем без эмоций не обошлось. В заключительных строках своей книги Дарвин попытался не дать унынию овладеть читателем. «Таким образом, — писал он, — из борьбы в природе, из голода и смерти непосредственно вытекает самый высокий результат, какой ум в состоянии себе представить, — образование высших животных. Есть величие в этом воззрении; ведь изначально жизнь вдохнулась лишь в несколько форм или в одну; и между тем как наша планета продолжает вращаться согласно неизменным законам тяготения, из такого простого начала развилось и продолжает развиваться бесконечное число самых прекрасных и самых изумительных форм».

## ОБЕЗЬЯНА ПРОТИВ ЕПИСКОПА

В ту зиму, когда Англию засыпало снегом, тысячи людей по всей стране сидели у пылающих каминов и читали книгу Дарвина. Первый тираж в 1250 экземпляров был раскуплен в один день, и в январе издатель напечатал еще 3000 экземпляров его книги. Гексли в письме похвалил труд Дарвина, но предупредил о грядущих баталиях. «Я готов, точу когти и клюв», — написал он. Газеты в большинстве своем отозвались на книгу Дарвина лишь короткой статьей, но в периодических журналах, где традиционно ученый мир обсуждал великие идеи XIX в., реакция на нее была более эмоциональной. Гексли и другие союзники Дарвина хвалили книгу, но многие другие рецензенты увидели в ней богохульство. Журнал *The Quarterly Review* объявил, что теория Дарвина «противоречит обнаруженной связи творения с его Творцом» и «несовместна с полнотой славы Его».

Больше всего разозлила Дарвина рецензия, опубликованная в *Edinburg Review* в апреле 1860 г. Она была анонимной, но всякий, кто был знаком с Ричардом Оуэном, мог сказать, что написал ее именно он. Рецензия поражала своей враждебностью. В ней Оуэн называл книгу Дарвина «надругательством над наукой». Он жаловался на то, что Дарвин и его последователи называют естественный отбор единственным возможным естественным законом творения. В принципе, Оуэн не выступал против эволюции; ему просто не нравился, как он выразился, слепой материализм.

И все же Дарвин сумел сделать то, что не удалось Оуэну. В свое время Оуэн тоже пытался свести воедино открытия биологической науки, но пришел лишь к туманным рассуждениям об архетипах и непрерывном творении. А Дарвин объяснил сходство между видами наличием конкретного механизма, работающего в каждом поколении.

Оуэн написал свою рецензию в приступе гнева не только на Дарвина, но и на Гексли. В былые времена Гексли публично

критиковал Оуэна так ядовито, что тот был буквально шокирован. Гексли презирал Оуэна не только за низкопробную, как он считал, науку, но и за то, что тот всегда старался понравиться аристократам. Он называл теорию непрерывного творения абсурдной и открыто высмеивал ее. Оуэна так раздражали эти постоянные нападки, что однажды во время публичной лекции заявил, глядя прямо на Гексли, что у всякого, кто не рассматривает палеонтологическую летопись как прогрессивное проявление божественного разума, имеется, должно быть, «какой-то, возможно врожденный, дефект сознания».

Самые яростные их схватки пришлось на последние годы перед выходом в свет «Происхождения видов». Оуэн пытался доказать, что человек принципиально отличается от всех прочих животных. В 1850-х гг. орангутанги, шимпанзе и гориллы начали привлекать серьезный интерес ученых. Оуэн препарировал тела обезьян и изучал их скелеты, пытаясь отыскать хоть какую-нибудь малость, которая отличала бы человека от этих животных. Если мы — всего лишь вариация высших приматов, то что станет с моралью?

Оуэн решил, что больше всего человека от животных отличают мыслительные способности: умение говорить и рассуждать. Поэтому Оуэн обратился к мозгу человекообразных обезьян и попытался найти там принципиальное анатомическое отличие. В 1857 г. он заявил, что нашел ключевой момент: в отличие от мозга обезьяны, мозговые полушария человека простираются так далеко назад, что образуют третью долю с особым строением, которую Оуэн называл малым гиппокампом. Он объявил, что уникальность этой структуры позволяет поместить человека в отдельный подкласс. Наш мозг отличается от мозга шимпанзе так же, как мозг шимпанзе отличается от мозга утконоса.

Гексли подозревал, что Оуэн ошибся отчасти потому, что изучал плохо сохранившиеся образцы мозга. Вообще, в основе его тщательно проработанной классификации лежит фунда-



ментальная ошибка. (Гексли любил говорить, что теория Оуэна возвышается «как коринфский портик на коровьем дерьме».) На самом деле, утверждал Гексли, человеческий мозг отличается от мозга гориллы не более, чем мозг гориллы от мозга бабуина. «Я не принадлежу к тем, кто пытается обосновать достоинство человека строением большого пальца на ноге или утверждает, что мы пропали, если у какой-нибудь обезьяны найдется малый гиппокамп, — писал Гексли. — Напротив, я сделал все, что мог, чтобы избавить человечество от подобного тщеславия».

Яростная рецензия Оуэна на дарвиновское «Происхождение видов» лишь усилила напряжение между ним и Гексли, и через несколько месяцев, в июне 1860 г., произошел взрыв. На ежегодное собрание Британской ассоциации содействия науке в Оксфорде собрались тысячи человек. 28 июня Оуэн, президент Ассоциации, прочел доклад, в котором еще раз объяснил, чем именно человеческий мозг отличается от мозга человекообразных обезьян. Гексли заранее спланировал и подготовил ответный шаг. После доклада Оуэна он встал и объявил, что только что получил письмо от одного шотландского анатома, который недавно препарировал свежий мозг шимпанзе и обнаружил, что он чрезвычайно похож на человеческий мозг, включая и малый гиппокамп. На глазах переполненного зала Оуэн оказался беззащитен перед Гексли. Более публичного места для разгрома и унижения противника и выдумать было бы трудно.

Выиграв давний спор о мозге, Гексли решил на следующий день покинуть Оксфорд. Но тут он столкнулся с Робертом Чемберсом, по-прежнему анонимным автором «Начал». Услышав, что Гексли собирается уехать, Чемберс пришел в ужас. Разве Гексли не знает, что должно произойти завтра?

По всему Оксфорду носились слухи о том, что на следующий день епископ Уилберфорс собирался публично разгромить Дарвина. Уже многие годы Уилберфорс был олицетворением голоса церкви в борьбе против концепции эволюции. В 1844 г. он нападал

на «Начала», называя их грязной спекуляцией. Теперь епископ готовился громить книгу Дарвина; особой разницы между двумя книгами он не видел. На следующий день был запланирован доклад некоего американского ученого по имени Уильям Дрейпер о «дарвинизме» и его значении для человеческого общества. Уилберфорс собирался воспользоваться случаем и публично разоблачить Дарвина на важнейшем научном форуме Британии. Все эти дни Оуэн жил в доме Уилберфорса и, без сомнения, готовил епископа к схватке. Чемберс убедил Гексли остаться на доклад Дрейпера и защитить Дарвина.

На следующий день заседание, как всегда, открыл Оуэн. В аудиторию набилось больше тысячи человек. Оуэн объявил: «Давайте же всегда серьезно относиться к задаче научного исследования, отдавая себе отчет в том, что чем больше мы упражняем таким образом и, упражняя, улучшаем, наши интеллектуальные способности, тем более достойными станем, тем лучше будем готовы приблизиться к нашему Богу».

Доклад Дрейпера назывался «Об интеллектуальном развитии Европы в контексте теории мистера Дарвина и других о том, что прогресс организмов определяется законом». По любым критериям доклад этот был скучным, длинным и слабо аргументированным. Джозеф Гукер, присутствовавший в аудитории, назвал доклад Дрейпера «напыщенной чепухой». В холле стало жарко, но, несмотря на духоту, никто не уходил. Все хотели услышать епископа.

Когда Дрейпер закончил, Уилберфорс встал и заговорил. Он недавно написал рецензию на книгу Дарвина и теперь вкратце пересказал ее. Он не утверждал, что науку необходимо поверять по Библии, но все же написал в рецензии: «Очень важно указывать в научной области на научные ошибки, особенно если ошибки эти умаляют славу Божию в творении».

Дарвин сделал именно такую ошибку. Его книга основана на диких предположениях и лишена практически всяких дока-

зательств. Вся его теория держится на известной всем нам новой идее — идее естественного отбора. И все же Уилберфорс писал: «Был ли обнаружен хотя бы один такой случай? Не побоюсь заявить: ни одного».

Вместо этого Уилберфорс высказался за некую неопределенную смесь из Пейли и Оуэна. «Все создания представляют собой материальное воплощение идей, вечно существующих в сознании Всевышнего, — порядок в абсолютном совершенстве пронизывает Его труды, поскольку существует как бы в их центре».

Закончив свою речь, Уилберфорс посмотрел на Гексли и полусмешливо спросил его, с какой стороны — со стороны бабушки или дедушки — он происходит от обезьяны.

Позже Гексли рассказывал Дарвину и остальным, что в тот момент он повернулся к сидевшему рядом приятелю, стукнул того кулаком по коленке и объявил: «Господь сам отдал его в мои руки». Он встал и ответил Уилберфорсу. Он заявил, что епископ не сказал совершенно ничего нового, если не затрагивать вопроса о предках самого Гексли. «И если, сказал я, мне задают вопрос о том, предпочел бы я иметь в качестве дедушки несчастную обезьяну или человека, щедро одаренного природой, обладающего огромными средствами и влиянием, но при этом использующего все эти качества и это влияние лишь для того, чтобы опошлить пустым зубоскальством серьезную научную дискуссию, я без колебаний подтверждаю, что предпочел бы обезьяну».

Аудитория взорвалась смехом, но неожиданно в центре поднялся, по описанию Гукера, «седовласый пожилой джентльмен с греческим носом». Джентльмен дрожал от ярости. Это был капитан Фицрой.

За годы, пролетевшие после экспедиции, Фицрой и Дарвин охладели друг к другу. Капитан считал, что в книге о плавании «Бигля» Дарвин преследовал своекорыстные цели и почти не упоминал о помощи, которую получал от Фицроя и команды. Хотя в свое время капитан интересовался геологической историей

Лайеля, позже он вернулся к буквальному прочтению Библии. В своей книге о памятном путешествии Фицрой попытался связать все найденные им и Дарвином окаменелости с Всемирным потопом. Тот факт, что Дарвин пошел еще дальше по пути ереси, отрицая не только Всемирный потоп, но и Божье творение, — его шокировал.

Капитан приехал в Оксфорд, чтобы прочитать доклад о штормах, и случайно услышал разговоры о докладе Дрейпера. После слов Гексли Фицрой встал и заговорил о том, в какое смятение привели его взгляды Дарвина, откровенно противоречащие Библии. Он заявил, что чтение «Происхождения видов» причинило ему «острейшую боль». Он поднял над головой обе руки с зажатой в них Библией и попросил аудиторию верить Богу, а не человеку. Эти слова вызвали взрыв протеста, и все попытки капитана вновь заговорить были заглушены криками.

Наконец настал черед Джозефа Гукера. Нападая на Уилберфорса, он даже влез на подиум. Позже он писал Дарвину об этой своей речи: «Я решил продемонстрировать, что: 1) он точно не читал вашей книги и 2) он абсолютно невежествен в азах ботанической науки; после этого заседание было распущено, и вы остались хозяином положения».

Если Дарвин и остался хозяином положения, то хозяином отсутствующим. Теперь, в возрасте 50 лет, он жил практически затворником и, естественно, не поехал в Оксфорд. Пока Гукер и Гексли защищали его, он проходил в деревне Ричмонд очередной курс лечения от своей хронической болезни. Там он с болезненным трепетом читал письма друзей, в которых описывались развернувшиеся дискуссии. «Я скорее умер бы, чем попытался ответить епископу в такой аудитории», — написал он Гукеру.

Оксфордская встреча быстро стала легендой и, как это всегда случается с легендами, подлинные события скрылись в густом тумане приукрашенных описаний. Каждый из игроков той драмы предлагал слушателям собственную версию, в которой сам мог

блеснуть наилучшим образом. Уилберфорс был убежден, что победил в дебатах, тогда как Гексли и Гукер считали — каждый со своей стороны, — что именно он нанес епископу решающий удар. До сего дня неясно, что именно произошло в оксфордской аудитории в тот теплый июньский день, и самому Дарвину тоже нелегко было в этом разобраться. Ему было ясно одно: 20 лет жизни в безвестности закончились.

Еще при жизни Дарвин был признан одним из величайших ученых. К 1870-м гг. теорию эволюции признали почти все серьезные ученые Британии, хотя некоторые из них готовы были спорить с Дарвином по некоторым ее аспектам. Его статуя стоит в Музее естественной истории в Лондоне, а сам он похоронен в Вестминстерском аббатстве, неподалеку от Ньютона.

Но в судьбе «Происхождения видов» заключена и величайшая ирония — ведь только в XX в. проявилась подлинная мощь теории Дарвина. Только в XX в. палеонтологи и геологи разработали научную хронологию жизни на Земле. Только в XX в. биологи открыли молекулы, без которых невозможны ни наследственность, ни естественный отбор. И только в XX в. ученые начали понимать мощь эволюции, управляющей всем на Земле, от вируса простуды до человеческого мозга.

## ПОГРУЖАЯСЬ В ГЛУБЬ ВРЕМЕН

*История земной жизни обретает датировки*

У геологов есть собственная Мекка, и находится она в долине реки Акаста в глубине канадских Северо-Западных территорий. Добраться туда можно только в каноэ, потратив несколько дней на борьбу с течением, или на гидросамолете. В этом случае вам придется отправиться на север из городка Йеллоунайф и пролететь над громадным пустынным пространством, покрытым наполовину водой, наполовину сушей. Вода здесь принимает вид тысяч больших и малых озер самой причудливой формы, иногда словно нанизанных бусинами на нить какой-нибудь неторопливой речушки. Вы приводнитесь возле длинного узкого острова посередине реки. Берег здесь густо зарос черной елью, оленьим мхом, вереском и лишайниками. Тишину нарушает лишь щебетание ржанок, а ваша кожа подвергается непрерывным атакам мошки и комаров.

Геологические обнажения спускаются к самой воде, и вы тоже можете спуститься между валунов. Скалы здесь гранитные, темно-серые, с вкраплениями полевого шпата — в общем, в точности похожие на любые другие гранитные скалы, которые вам, возможно, приходилось видеть. Они исключительны лишь в одном: некоторым из этих скал более 4 млрд лет, что делает

их старейшими скалами, известными на Земле. Минералы, из которых они состоят, держатся вместе с тех самых пор, когда Земля была еще совсем юной; за время их жизни континенты не раз расходились и сходились вновь.

Возраст этих скал столь огромен, что трудно даже вообразить. Представьте себе, что год равен длине ваших вытянутых рук. Тогда, чтобы показать возраст скал Акасты, людям пришлось бы образовать цепочку, которая опоясала бы Землю по экватору 200 раз. И насколько нам трудно представить себе эту картину, настолько же она способна была бы осчастливить Дарвина.

Выдвигая свою теорию эволюции, Дарвин не мог ничего знать о возрасте скал Акасты. До открытия физических законов, которые позволили определить их возраст, оставалось еще 50 лет. Дарвин подозревал, что мир вокруг чрезвычайно стар, что, конечно, вполне соответствовало его теории постепенной, поколение за поколением, эволюции. Но только в XX в. палеонтологи и геологи смогли точно датировать этапы истории Земли. Был найден способ установить не только порядок, в котором на Земле появлялись новые формы жизни, но и реальные даты — от первых ее следов (3,85 млрд лет назад)\* до первых животных (600 млн лет назад) и первых представителей нашего собственного вида (150 000 лет назад).

## СЛИШКОМ ТЕПЛАЯ, ЧТОБЫ БЫТЬ СТАРОЙ

Из всех — религиозных, биологических или геологических — возражений против теории эволюции самым неприятным для Дар-

---

\* В настоящее время возраст пород с древнейшими на Земле следами жизни скорректирован: оценки составляют 3,6–3,5 млрд лет и относятся к южноафриканским геологическим образованиям. Это касается рассуждений об изотопном составе графитов в Гренландии в следующем разделе. Тщательный анализ этих графитов показал, что они происходят из другого, более молодого слоя, так что их нельзя считать древнейшими следами земной жизни. — *Прим. науч. ред.*

вина был вопрос о возрасте нашей планеты. Задал этот вопрос не епископ, не биолог и даже не геолог; он пришел с совершенно неожиданной стороны: от физика.

Уильям Томсон (более известный как лорд Кельвин) в момент публикации «Происхождения видов» был одним из ведущих мировых физиков. Для Кельвина Вселенная представляла собой вихрь энергии, электричества и тепла. На публичных выступлениях он демонстрировал, как электричество вело себя подобно жидкости, буквально как вода. Он показывал также, что во Вселенной правит энтропия: все движется от порядка к хаосу, если для сохранения структуры не поступает энергия извне. Сожгите свечу до основания, и сажа, газы и тепло, выделившиеся при этом, никогда уже не соединятся вновь в целую свечу.

На первый взгляд работа Кельвина может показаться почти эзотерической, но она помогла ему разбогатеть: он применил ее, когда руководил работами по прокладке первых трансатлантических кабелей, обеспечивших телеграфную связь между Европой и Северной Америкой. Иногда, покачиваясь на борту кабельного судна посреди Атлантики, Кельвин задумывался о том, насколько стара или молода наша планета. Кельвин был религиозен, но не мог признать, что Земле всего несколько тысяч лет просто потому, что кто-то решил, что так сказано в Библии. Он считал, что лучше определить верхний предел возраста нашей планеты научными методами — по теплу.

Кельвин знал, что при рытье шахт чем глубже уходит ствол, тем горячее становятся породы вокруг. Кельвин объяснял это тепло тем, что Земля образовалась из миниатюрных неудавшихся планеток и энергия их столкновения создала внутри нее расплавленное ядро (предположение, которое позже подтвердилось). Кельвин считал, что после окончания процесса «сборки» планете неоткуда больше получать тепло, поэтому она будет постепенно остывать, как погасший уголек. Быстрее всего остыла поверхность, тогда как внутренняя часть по сей день остается



горячей. Но когда-то в далеком будущем ядро Земли станет таким же холодным, как ее поверхность.

Кельвин и другие физики вывели уравнения, по которым можно точно предсказать скорость остывания объекта, и Кельвин решил применить ее к Земле как единому объекту. Он попытался измерить, с какой скоростью скалы теряют тепло и насколько жарко в самых глубоких шахтах, и оценил по этим данным возраст планеты. В 1862 г. он сделал вывод: Земля остывает не более 100 млн лет.

Первоначальной целью Кельвина было показать, насколько неточна геология по сравнению с физикой. Однако, познакомившись с «Происхождением видов», он решил использовать свои выводы против Дарвина и его теории эволюции. Дарвин, хорошо знакомый с древней геологией Лайеля, полагал, что постепенные изменения в результате естественного отбора могут идти так медленно и так долго, как потребуется, — времени хватит. Но выводы Кельвина сильно ограничивали это время. Сам Кельвин не был фанатичным антиэволюционистом — в принципе, он не стал бы возражать, если бы оказалось, что вся жизнь началась с одного микроба, — но он рассматривал сегодняшнюю жизнь как свидетельство замысла Божия и Его мастерства. Поэтому воспользовался своей оценкой возраста Земли, чтобы одним махом сразить Дарвина.

В попытке защитить Дарвина Гексли пошел на компромисс, хотя вообще-то не был склонен к компромиссам с критиками. Он сказал, что биологи должны принять оценку возраста Земли, данную геологами и физиками, и установить, как могла эволюция все успеть за этот промежуток времени. Если Земле всего 100 млн лет, эволюция может быть очень быстрой. Уоллес пошел еще дальше, предположив, что иногда эволюция может идти гораздо быстрее, чем сегодня. Может быть, при колебаниях наклона земной оси планета испытывает резкие изменения климата, которые подстегивают процесс эволюции.

Дарвина такой вариант не устраивал. «Меня очень беспокоит малый возраст нашего мира по сэр У. Томсону», — писал он в одном из писем. А Кельвин тем временем получал новые данные о температуре планеты и раз за разом пересматривал свою оценку все время в сторону уменьшения. В конце концов, он довел возраст Земли до всего лишь 20 млн лет. И все это время Дарвину оставалось только скрипеть зубами — сделать что-либо в то время было невозможно. Он пытается развивать и конкретизировать свою теорию эволюции, но — «тут, как жуткий призрак, появляется сэр У. Томсон».

## ЧАСЫ ВНУТРИ АТОМА

Свои расчеты возраста Земли Лорд Кельвин основывал на фундаментальном (и, как оказалось, ошибочном) предположении: наша планета не имеет собственного источника тепла. На самом деле такой источник тепла существует, и Кельвин его не учитывал. В 1896 г., через 14 лет после смерти Дарвина, французский физик Анри Беккерель завернул кусок урановой соли и фотопластинку в светонепроницаемый материал. Проявив пластинку, он обнаружил на ней четкие яркие точки. Он понял, что уран испускает какие-то лучи. Еще через семь лет Пьер и Мария Кюри показали, что кусок радия непрерывно излучает тепло.

Беккерель и Кюри установили, что источник этой энергии кроется в фундаментальной структуре атомов. Сами атомы построены из «кирпичиков» трех видов: протонов, нейтронов и электронов. Электроны, несущие отрицательный заряд, носятся вдоль внешней границы атома, а положительно заряженные протоны покоятся в центре. В атоме каждого элемента присутствует уникальное, только для этого элемента характерное число протонов. В атоме водорода — один протон, гелия — два, а углерода — шесть. Кроме протонов, в атомах присутствуют нейтральные частицы — нейтроны. Два атома одного и того же

элемента могут содержать разное количество нейтронов. Самая распространенная на Земле форма углерода имеет шесть протонов и шесть нейтронов (это углерод-12), но имеются также следовые количества углерода-13 и углерода-14. Именно такие различные версии атомов, известные как изотопы, позволяют определить геологическое время.

Протоны и нейтроны в атоме немного напоминают горки апельсинов на прилавке с фруктами: в некоторых сочетаниях они абсолютно стабильны, в других — рано или поздно распадаются. Апельсины в горке удерживаются на месте благодаря гравитации, а протоны и нейтроны удерживаются вместе другими силами. При распаде нестабильного изотопа высвобождается порция энергии, а также одна или несколько частиц (все это вместе известно как радиация). Одновременно атом может превратиться в атом другого элемента. Уран-238, к примеру, распадается с высвобождением пары нейтронов и пары протонов и превращается при этом в торий-234. Но торий-234 тоже нестабилен; он превращается в протактиний-234, который также распадается. Возникает цепочка с 13 промежуточными звеньями, пройдя по которой, уран-238 в конце концов становится стабильным свинцом-206.

В какой момент распадется тот или иной атом, точно предсказать невозможно, но в целом атомы подчиняются определенным статистическим законам. В заданный промежуток времени каждый атом распадается с определенной вероятностью. Скажем, в некоем булыжнике присутствует миллион радиоактивных изотопов одного из элементов, и данный вид изотопа распадается за год с вероятностью 50%. После первого года в камне останется 500 000 атомов; из них 50% распадется за второй год. Останется 250 000. Год за годом половина оставшихся атомов будет распадаться, и наконец примерно через 20 лет этот изотоп в камне полностью сойдет на нет. Для скорости исчезновения изотопа у физиков имеется специальная величина — период

полураспада: время, которое требуется для распада половины от любого заданного количества радиоактивного элемента. Уран-238, к примеру, имеет период полураспада 4,47 млрд лет; есть элементы с периодом полураспада в десятки миллиардов лет, но есть и другие, у которых этот параметр составляет лишь несколько минут или секунд.

Законы, управляющие жизнью атомов, не слишком понятны с точки зрения простого здравого смысла, но они работают. Если бы эти законы не работали, наши компьютеры не могли бы перемалывать числа в таком количестве, а атомные бомбы не взрывались бы. Но задолго до изобретения атомной бомбы — всего через несколько лет после работ Беккереля и Кюри — физики поняли, что эти законы помогают вскрыть принципиальную ошибку в рассуждениях Кельвина о юности Земли. Ведь внутри планеты может присутствовать уран и другие радиоактивные элементы, такие как торий и калий; там они могут разлагаться с выделением тепла. Кельвин считал, что Земля молода, так как не успела слишком сильно остыть за время, прошедшее после ее рождения. Но радиоактивность позволяет планете оставаться горячей гораздо дольше!

Провозвестником этих новых веяний стал физик Эрнест Резерфорд. Он разработал многие фундаментальные принципы радиоактивности и показал, что это явление напоминает природную алхимию, поскольку способно превращать один элемент в другой. В 1904 г. он приехал из Монреаля, где преподавал в Университете Макгилла, в Англию, чтобы прочесть доклад о новых открытиях в этой области.

«Я вошел в полутемную комнату и сразу же заметил в аудитории лорда Кельвина — и понял, что мне гарантированы проблемы в последней части доклада, где речь идет о возрасте Земли и где мои взгляды расходятся с его взглядами. К моему облегчению, Кельвин быстро заснул, но когда я дошел до важной части, то увидел,

что старый волк выпрямился, приоткрыл один глаз и устремил на меня злобный взгляд! Внезапно на меня накатило вдохновение, и я сказал, что лорд Кельвин определил верхний предел возраста Земли на тот случай, если не будет обнаружено дополнительного источника тепла. Это пророческое заявление касается того, что мы сегодня обсуждаем, радия! И что же! Старик буквально расцвел!»

Может быть, Резерфорд запомнил этот день именно таким, но сам Кельвин никогда публично не признавал ошибочности своих старых оценок. Два года спустя после лондонской лекции Резерфорда он все еще писал письма в лондонскую *Times* и уверял, что внутри Земли недостаточно радиоактивности, чтобы разогревать ее.

Резерфорд понял, что радиоактивность не только указывает на большой возраст Земли, но и позволяет определить этот возраст. Любой уран, оказавшийся внутри остывающей породы, должен постепенно превращаться в свинец. А поскольку период полураспада урана ученым известен с большой точностью, то, измерив относительное содержание свинца и урана в породе, можно без труда определить ее возраст.

Вскоре при помощи этого метода геологи уже оценивали возраст конкретных горных пород не в миллионы, а в миллиарды лет. Позже ученые придумали способ сделать Резерфордовы часы еще более точными. Вместо того чтобы измерять содержание свинца и урана в какой-то одной точке, стали проводить несколько измерений на разных участках породы. Это позволяло сравнивать те участки породы, где изначально урана было очень мало, с теми, где его было много. Если уран по всей толще минерала разлагался с одинаковой скоростью, все образцы должны указывать один и тот же возраст. Во многих случаях так и происходит.

Геологи научились также измерять время по двум часам одновременно. Помимо урана-238, в некоторых минералах со-

держится вдобавок уран-235, который при распаде образует другой изотоп свинца — свинец-207. Кроме того, у урана-235 другой период полураспада — всего 704 млн лет. Используя два независимых теста для определения возраста одной и той же породы, геологи часто могут еще больше повысить точность измерения.

Кроме того, можно исключить сомнения по поводу того, не попал ли в породу уран или свинец уже после ее формирования. Так, при образовании некоторых типов горных пород атомы циркония и кислорода объединяются в кристаллическое вещество, известное как циркон. Кристаллы циркона похожи на микроскопические ловушки: любым атомам урана или свинца, оказавшимся внутри циркона, очень трудно убежать оттуда, и к ним практически не проникают извне новые атомы. Поэтому уран в цирконовой клетке медленно распадается без всякого внешнего вмешательства. Геофизики определили возраст скал Акасты в 4,04 млрд лет именно таким способом: путем исследования содержащихся в них цирконовых кристаллов. Они направляли на кристалл поток заряженных частиц и определяли изотопный состав выбиваемой пыли. Благодаря всевозможным тестам и сочетанию различных методов ученые смогли оценить возраст скальных пород с погрешностью всего лишь 12 млн лет. Конечно, для нас 12 млн лет — это уйма времени, но для скал Акасты это означает ошибку в определении возраста менее чем в 0,3%.

Скалы Акасты — древнейшие известные горные породы на нашей планете, но и они сформировались тогда, когда Земле было уже 500 млн лет. Для определения ее подлинного возраста геологам потребовался дар небес. В 1940-х гг. геологи начали изучать содержание изотопов свинца в метеоритах. Большинство метеоритов представляют собой куски космического хлама, оставшегося со времен образования Солнечной системы. В 1953 г. геолог из Калифорнийского технологического института Клэр

Паттерсон измерила содержание свинца и урана в метеорите, оставившем после удара о Землю кратер шириной 1,2 км в Аризоне. Оказалось, что в нем практически не осталось урана, потому что почти все его атомы успели превратиться в свинец. Этот метеорит сформировался на заре Солнечной системы и с тех пор летал вокруг Солнца практически в неизменном виде.

Метеориты и наша планета сформировались из одного и того же изначального вещества, но в результате соотношение различных элементов (в том числе урана и свинца) в каждом из них оказалось различным. Сравнив количество изотопов урана и свинца в земных породах и в метеоритах, таких как метеорит из Аризонского кратера, Паттерсон определила возраст Земли — 4,55 млрд лет.

Почему между рождением Земли и формированием ее самых древних пород лежит промежуток в 500 млн лет? Геологи выяснили — отчасти при помощи методов датирования геологических пород, — что Земля постоянно разрушает собственную кору и создает на ее месте новые породы. Более того, на самом деле кора нашей планеты представляет собой совокупность дрейфующих плит. Магма поднимается из глубин Земли и добавляет новые породы с одного края плиты, а другой край при этом уходит вниз, под соседнюю плиту. По мере погружения в недра планеты породы на этом краю разогреваются и частично плавятся. Любые окаменелости (если таковые встречаются в этих породах) гибнут вместе с ними.

Материки — плавающие острова пород низкой плотности, вершины подвижных плит. Когда одна литосферная плита уходит под соседнюю плиту, материк не обязательно затягивает вниз вместе с ней. Если породе повезет оказаться в глубине материка, она может остаться наверху и избежать погружения в огненные глубины — вместе с окаменелостями и другими свидетельствами истории жизни на Земле, что в ней содержатся. Скалы Акасты — именно такая геологическая диковинка.

## ЧАСОВ МНОГО, ИСТОРИЯ ОДНА

По урану можно определить возраст не всякой горной породы. Цирконы, эти точные природные часы, образуются только при остывании определенных сортов вулканической лавы. При исследовании осадочных пород система определения времени уран—свинец почти бесполезна. Еще одна проблема заключается в том, что образование заметного количества свинца из урана занимает миллионы лет. Там, где речь идет о тысячах лет — в масштабах человеческой истории, — уран не работает. К счастью, геохимики не ограничены в своем выборе только ураном и свинцом. В зависимости от предмета и области исследований они могут обратиться к десяткам других радиоактивных элементов. К примеру, абсолютные даты человеческой истории ученые определяют по одному из изотопов углерода — углероду-14, период полураспада которого составляет всего 5700 лет. По этим часам можно довольно точно определять время в пределах последних 40000 лет.

Углерод-14 возникает при столкновении заряженных частиц, которые непрерывным дождем падают на Землю из космоса, с атомами азота в атмосфере. Это временное превращение: со временем атомы углерода-14 распадаются обратно до атомов азота, выделяя при этом несколько элементарных частиц. Живые растения поглощают из воздуха двуокись углерода, в том числе и образованную свежими атомами углерода-14, и тем самым поддерживают постоянное содержание углерода-14 в своих тканях. То же происходит и с травоядными животными. Но как только растение или животное умирает, процесс поглощения углерода-14 прекращается и его количество начинает снижаться — изотоп распадается с образованием азота. Измерив содержание углерода-14 в мертвых тканях животного или растительного происхождения, можно определить их возраст.

Изотопные часы позволили палеонтологам привязать историю жизни на Земле к абсолютной временной шкале. Во времена



Дарвина невозможно было определить не только возраст Земли, но и возраст любой окаменелости. Максимум, что мог сказать любой ученый той эпохи, — это то, что данная окаменелость принадлежит к тому или иному геологическому периоду. Древнейший период, в породах которого обнаруживались окаменелости, был назван кембрийским, а все породы еще более древних слоев просто получили название докембрийских. Для Дарвина появление кембрийских окаменелостей — ни с того ни с сего, без всяких предшественников — представляло загадку не менее сложную, нежели остывание Земли, о котором говорил Кельвин.

«Если теория верна, — писал он об эволюции путем естественного отбора, — то перед образованием глубочайших кембрийских пластов, бесспорно, протекли долгие периоды... и на протяжении всего этого времени мир кишел живыми существами... На вопрос о том, почему мы не находим богатых окаменелостями залежей, которые относились бы к этим предположительным ранним периодам до кембрийской системы, я не могу дать удовлетворительного ответа. Пока этот вопрос остается открытым; в самом деле, он может выдвигаться как серьезный аргумент против изложенных здесь взглядов».

Теперь палеонтологи знают, что докембрийские просторы действительно кишели живыми существами — и было это 3,85 млрд лет назад и даже раньше. Древнейшие свидетельства жизни обнаружены на юго-западном побережье Гренландии. Там нет окаменелостей, по крайней мере в общепринятом смысле этого слова. Организм, конечно, может оставить после себя видимый и вполне материальный след — череп, раковину, отпечаток цветочного лепестка, — но, кроме этого, остаются еще особые химические вещества; сегодня ученые научились их находить.

Отношение содержания углерода-13 к углероду-12 в органических веществах, к примеру, в древесине или волосах, ниже, чем в неорганическом углероде, выделившемся при извержении вулкана в виде двуокиси. Таким образом, можно определить, на-

ходил ли углерод данной геологической породы когда-нибудь в живом существе. Рассмотрим, к примеру, лист, растущий на ветке вяза. Он накапливает в себе С-13 и С-12 в низком количественном соотношении, т. е. легкого изотопа сравнительно больше. Если этот лист съест гусеница, углерод из него перейдет в ее ткани. Уровень С-13 в них также будет низким, — как и в тканях птицы, которая склюет гусеницу. И птицы, и гусеницы, и листья рано или поздно умирают, и когда это происходит, они становятся частью почвы; потоки воды смывают почву в океан, частицы оседают на дно и становятся осадочными породами. И даже эти породы, в которых углерод, принимавший участие в метаболизме жизни, составляет лишь часть, сохраняют низкий уровень С-13. А в любых осадочных породах, сформировавшихся до появления жизни на Земле, уровень вулканического С-13 будет высоким.

В 1996 г. американские и австралийские ученые отправились к извилистым фьордам и голым островам юго-западной Гренландии, где можно найти древнейшие осадочные породы на Земле. Через их слои проходит слой вулканических пород, и ученые при помощи ураново-свинцовых «часов» в цирконах определили его возраст в 3,85 млрд лет. Затем они внимательнейшим образом исследовали соседние осадочные слои. За время существования эти мягкие породы претерпели множество метаморфоз: разогревались до высоких температур, подвергались жуткому давлению и всевозможным другим воздействиям; они изменились почти до неузнаваемости. Но исследователи все же нашли микроскопические углеродные частицы в этих осадочных породах, в минерале под названием апатит. Они привезли образцы в свои лаборатории, распылили при помощи ионного пучка и определили содержание в них изотопов углерода. Выяснилось, что для углерода в апатите характерно то же низкое содержание С-13, что и в современном биологическом углероде, — содержание, источником которого могла стать только жизнь.

Ученые не могут сказать, как долго существовала жизнь на Земле, прежде чем оставила эту отметку на скалах Гренландии, поскольку породы старше 4 млрд лет до наших дней не сохранились. Но можно с уверенностью сказать, что зарождение жизни происходило в адской обстановке. Первые 600 млн лет Землю буквально бомбардировали гигантские астероиды и миниатюрные планеты. Некоторые из них были достаточно крупными, чтобы вскипятить верхние несколько метров Мирового океана и убить в них всякую жизнь. Возможно, жизнь переживала подобные катаклизмы возле термальных источников на океанском дне, где и сегодня живут бактерии. Когда же моря остывали и вновь наполнялись дождями, микробы получали возможность выйти из своего убежища.

Но, как бы жизнь ни начиналась, к тому моменту, когда она оставила свой след в гренландских породах, она, должно быть, уже набрала силу. В то время океаны кишели бактериями, которые, как и сегодня, уже умели производить свою собственную пищу — из солнечного света или химических веществ в горячих источниках. Эти самодостаточные микробы, вероятно, служили пищей хищным бактериям — а также хозяевами для вирусов.

Возраст древнейших настоящих окаменелостей бактерий — 3,5 млн лет, это на 350 млн лет позже первых химических признаков присутствия жизни на планете. Эти окаменелости были обнаружены в 1970-х гг. в западной Австралии; состоят они из тончайших микробных цепочек, которые выглядят точно так же, как сегодняшние синезеленые водоросли (известные еще как цианобактерии). На протяжении миллиардов лет эти бактерии формировали обширные илистые ковры в многочисленных мелких водоемах, а 2,6 млн лет назад покрыли тонкой корочкой и сушу.

Конечно, жизнь — это не только бактерии. Мы, люди, принадлежим к обширной группе организмов, известных как эукариоты; в нее входят животные, растения, грибы и простейшие.

На древнейшие следы эукариотов указывает не традиционный анализ ископаемых, который дает датировки порядка 1,2 млрд лет, а их молекулярное исследование. Есть множество признаков, по которым эукариоты отличаются от бактерий и других форм жизни. Среди них — конструкция их клеточной оболочки. Эукариоты придают своей клеточной оболочке жесткость при помощи семейства жирных кислот, известных как стерины. (Например, к семейству стеринов принадлежит холестерин; если при слишком большом содержании в крови он может быть опасен, то жить совсем без него вы бы просто не смогли. Ваши клетки распались бы.)

В середине 1990-х гг. группа геологов из Австралийского национального университета под началом Йохена Брокса пробурила скважину в древних сланцах северо-западной Австралии на глубину 700 м и добралась до формаций, возраст которых при помощи ураново-свинцового метода был определен в 2,7 млрд лет. В толще сланцев геологи обнаружили микроскопические следы нефти с содержанием стеринов. Поскольку из всех земных организмов только эукариоты способны производить эти молекулы, команда Брокса сделала вывод: эукариоты — вероятно, простые амебоподобные существа — появились не позже 2,7 млн лет назад.

## КОГДА ЖИЗНЬ РАСЦВЕЛА

«Еще миллиард лет или около того эукариоты оставались микроскопическими, наподобие бактерий. Но примерно 1,8 млрд лет назад появляются первые окаменелости многоклеточных организмов в виде таинственных спиралей около двух сантиметров длиной. Возраст древнейших узнаваемых многоклеточных организмов — красных водорослей — составляет 1,2 млрд лет. Наша ветвь многоклеточных — животные — оставила для нас первые окаменелости лишь 575 млн лет назад. Причем «животные» — это достаточно вольное определение для существ, оставивших эти

следы. Среди них есть диски с трехлучевыми выступами, напоминающие монеты какой-то неведомой империи. Есть «листья» с рядами узких прорезей; под водой они, должно быть, выглядели как некие фантастические жалюзи. На дне древних морей встречаются ребристые отпечатки, формой напоминающие отпечатки гигантского большого пальца.

Эти существа известны как эдиакарская фауна (название происходит от Эдиакарской возвышенности в Австралии, где представители этой фауны найдены во множестве). В прошлом палеонтологи пытались классифицировать их как растения, лишайники или даже какой-то неизвестный нам тип многоклеточных, оказавшийся тупиковой ветвью эволюции. Сегодня многие специалисты считают, что по крайней мере некоторые из этих организмов являются древними родичами основных групп (называемых типами) современных животных. Не исключено, что некоторые из окаменелостей находятся в родстве с медузами\*. Гигантский отпечаток пальца на самом деле может оказаться ближе к аннелидам, или кольчатым червям, — группе, в которую входят земляной червь и пиявка. «Листья» могут быть морскими перьями, которые и сегодня живут на коралловых рифах. Тем не менее многие эдиакарские жители еще ждут тех, кто пожелал бы их определить. К примеру, никто пока не рискнул взяться за «монеты».

Среди подобных эдиакарских окаменелостей присутствуют и следы «перспективных моделей» животного царства. В скалах, возраст которых составляет 550 млн лет, есть остатки червоточин и следов, которые могли быть сделаны только мускулистыми существами. Они указывают на существование сложных животных, способных активно зарываться и ползать, в противоположность закрепленным эдиакарским организмам и дрейфующим

\* Сейчас доказано, что эти медузоподобные отпечатки представляют прикрепительные диски неизвестных организмов, а вовсе не медуз или их родственников. — *Прим. науч. ред.*

медузам. Возможно, у этих таинственных животных уже развились многие признаки сложных животных, такие как мускульная стенка или кишка. У примитивных животных, таких как медуза, этих структур нет, а у таких животных, как насекомые, плоские черви, морские звезды или люди, есть. Разница в том, как формируются их зародыши. Тело медузы формируется из двух зародышевых слоев. У других животных три слоя: эктодерма, из которой в конечном итоге развиваются кожа и нервы; мезодерма, из которой формируются мышцы, кости и многие внутренние органы; и энтодерма, из которой строится кишечник. Считается, что именно эти трехслойные организмы 550 млн лет назад оставили после себя червоточины и следы, но до сих пор окаменевшие остатки этих существ не обнаружены.

В 1998 г. в процессе поиска ранних трехслойных организмов палеонтологи совершили одно многообещающее открытие: были обнаружены докембрийские зародыши. Группа американских и китайских исследователей нашла скопление мелких окаменелостей возрастом 570 млн лет. Среди них есть одноклеточные оплодотворенные яйца. Некоторые яйца находились на первой стадии деления и представляют собой двухклеточный шарик. В некоторых уже четыре клетки, в некоторых — восемь, шестнадцать и т. д. Палеонтологи представления не имеют, что именно выросло бы из этих зародышей, но, судя по размерам и схеме деления, лучше всего на эту роль подходят трехслойные организмы.

К началу кембрийского периода, около 530 лет назад\*, эдиакарские организмы пришли в упадок и исчезли. В это же время появляется множество окаменелостей трехслойных организмов. Среди них уже можно обнаружить первых животных, явно родственных многим живущим сегодня группам. Наш собственный тип, к примеру, представлен здесь фоссилизрованными остатками

\* Современные датировки начала кембрийского периода составляют 542 млн лет. — *Прим. науч. ред.*

существ, внешне похожих на миногу и миксина; практически это воплощенный архетип позвоночных Оуэна.

Внешность новобранцев из других типов еще более экстравагантна. Так, родич сегодняшних моллюсков выглядел как подушечка для иголок, утыканная наконечниками стрел. Сегодняшних плеченогих, или брахиопод, представляла *Halkieria*, которая напоминала бронированного слизня. *Opabinia* имела пять глаз, торчавших из головы, подобно грибам, и рыхлила морское дно хоботком с раздвоенным рыльцем; им же она могла схватить и отправить в рот жертву. Похоже, *Opabinia* была древним родичем сегодняшних членистоногих. Некоторые типы, сегодня существующие в жалкой безвестности — к примеру, онихофоры или сипункулиды, — процветали во время кембрийского взрыва в таком разнообразии, какого позже им никогда не удавалось достичь.

Опасение Дарвина по поводу кембрийского периода оказалось беспочвенным. Теперь, когда исследователи научились считывать показания изотопных часов и распознавать молекулярные ископаемые, им удалось показать, что за миллиарды лет до кембрия в мире действительно кипела жизнь, как и предполагал Дарвин. Докембрий вовсе не был таинственным прологом к эволюции; на самом деле на него приходится 85% истории жизни. А у палеонтологов сегодня имеется замечательная коллекция докембрийских окаменелостей, включая окаменелости ископаемых бактерий, простейших, водорослей, эдиакарских организмов, сверлильщиков и зародышей животных. Но нет никаких сомнений в том, что кембрийский период, история которого известна по окаменелостям гораздо лучше, представляет собой самый замечательный эпизод эволюции животных. Как бы долго животные ни таились в океане до этого, ясно, что 535 млн лет назад видообразование среди них резко ускорилось и приняло поистине взрывной характер. Точное ураново-свинцовое датирование позволило ученым определить, что весь кембрийский взрыв продолжался всего лишь 10 млн лет.

Кембрийский взрыв полностью проходил под водой\*. В тот момент, когда появлялись все эти новые существа, континенты еще были пусты, лишь покрыты бактериальными корками. Но оставалось уже недолгое время — по геологическим, конечно, меркам — до того, как на эти берега должна была выплеснуться многоклеточная жизнь. Первыми были растения. Около 500 млн лет назад зеленые водоросли постепенно развили у себя водонепроницаемую оболочку, которая позволила им проводить на воздухе без воды все больше и больше времени. Вероятно, первые наземные растения выглядели как сегодняшние мхи и печеночники; они образовали по берегам рек и морей низкий насыщенный влагой ковер. Около 450 млн лет назад эту новую экосистему начали исследовать многоножки и другие беспозвоночные. Появились новые виды растений, способные поддерживать себя в вертикальном положении, и уже 360 млн лет назад деревья на суше вырастали до 20 метров в высоту. В какой-то момент из прибрежных топей выползли и наши предки — первые позвоночные, способные передвигаться по суше.

В истории жизни на Земле выход живых существ на сушу и вся наземная часть эволюции выглядит небольшим и не очень существенным отрезком. Девять десятых нашей эволюции составляет ее подводная часть. Но с нашей точки зрения последние несколько сотен миллионов лет на суше — самая интересная часть эволюции. Окаменелости древнейших наземных позвоночных показывают, что около 320 млн лет назад они разделились на две ветви. Одна из ветвей — амфибии — поначалу произвела на свет некоторое количество неуклюжих гигантов, но сегодня представлена лишь лягушками, саламандрами и другими мелкими существами. Как правило, они должны всегда оставаться

---

\* Согласно новым данным, население наземных экосистем в начале кембрия развивалось столь же быстро, как и морских. Об этом свидетельствует ископаемая летопись пресноводных и почвенных животных. — *Прим. науч. ред.*



влажными и откладывают мягкие яйца, которые могут легко высохнуть. Другая ветвь — амниоты, или высшие позвоночные, — получила в процессе эволюции прочную водонепроницаемую оболочку для зародыша. Из амниотов около 250 млн лет назад выделились динозавры; они завоевали господство на суше и сохраняли его, пока большинство ветвей динозавров не вымерло (уцелели только птицы, которые на самом деле представляют собой летающих динозавров с перьями) примерно 65 млн лет назад. Хотя первые млекопитающие появились почти одновременно с первыми динозаврами, господство на суше они получили только тогда, когда вымерли их соперники-рептилии. Наши предки — приматы — вероятно, появились примерно в этот же момент, но самые древние ископаемые *Homo sapiens* обнаружены в геологических пластах, образованных лишь 600 000 лет назад. Все люди, живущие сегодня на Земле, могут проследить свою родословную до общего предка, жившего всего лишь 150 000 лет назад.

Эти несколько страниц не могут, конечно, в полной мере отразить величественные глубины истории жизни на Земле, но ясно одно: время нашего собственного существования во Вселенной выглядит на этом фоне крохотным, почти незаметным мгновением. Историю человечества невозможно изобразить на шкале естественной истории. Если представить себе, что 4 млрд лет существования жизни на Земле — это долгий летний день, то последние 200 000 лет, вместившие в себя расцвет современного человека, возникновение сложного языка, искусства, религии и торговли, зарождение сельского хозяйства, городов и всю письменную историю, уложились бы в краткую вспышку светлячка на закате.

В конце концов Дарвин получил почти неограниченное время, которого так жаждал. Но летопись окаменелостей, хотя и демонстрирует наглядно примерный ход эволюции жизни, ничего не говорит о том, как именно все происходило. Этот вопрос

Дарвину также не удалось прояснить до конца жизни — ведь ни он сам, ни другие ученые того времени не знали, как работает наследственность.

Уже в XX в., пока геологи и палеонтологи восстанавливали историю жизни, другие ученые решали вопрос наследственности и разгадывали ее связь с механизмами естественного отбора. Связь эта — как и свидетельства древности жизни — скрыта в молекулах и атомах. Если в первом случае необходимые атомы миллиардами лет оказались заключены в глубине горных пород, то в случае наследственности они прячутся в ядрах наших собственных клеток.

## СВИДЕТЕЛИ ПЕРЕМЕН

*Гены, естественный отбор и эволюция в действии*

Загадка наследственности — как два человека могут произвести на свет дитя, обладающее качествами обоих родителей, — в начале XIX в. породила множество самых диких идей и предположений. Одной из нелепейших, по крайней мере с современной точки зрения, была так называемая гипотеза пангенеза. В ней предполагалось, что наследственность передается посредством мельчайших частиц, которые отщепляются от всех клеток тела. Эти частицы (получившие название геммулы), подобно триллионам мигрирующих лососей, устремляются к половым органам, где и концентрируются в сперме или яйце. Когда яйцо оплодотворяется спермой, геммулы обоих родителей смешиваются. Поскольку каждая частица происходит от конкретной клетки в конкретной части тела одного из родителей, все вместе они формируют нового человека с признаками обоих родителей.

Гипотеза пангенеза оказалась неверной, но предложивший ее ученый не канул в безвестность и не угодил в списки чокнутых. Его репутация устояла благодаря нескольким другим идеям, которые успешно выдержали испытание временем. Автором теории пангенеза был Чарльз Дарвин.

Наследственность наряду с возрастом Земли была одним из величайших разочарований Дарвина. К концу XIX в. «Происхождение видов» убедило большинство ученых в том, что эволюция реальна, но многие продолжали скептически относиться к предложенному Дарвиным механизму изменений — а именно, к естественному отбору. Многие вместо этого обратились к давним идеям Ламарка. Может быть, существует встроенный механизм управления эволюцией, утверждали они, или, может быть, взрослые особи могут приобретать за время жизни определенные качества и передавать их потомству. Если бы Дарвин мог показать, что законы наследственности запрещают такую передачу, но разрешают естественный отбор, он легко одержал бы верх над критиками. Но эти знания не были доступны ни Дарвину, ни другим ученым тех дней.

Уже после смерти Дарвина ученые начали постепенно разбираться в том, как работает наследственность. Только тогда стало ясно, что неоламаркисты ошибаются. Только тогда стало ясно, что законы наследственности делают естественный отбор не только возможным, но и неизбежным, и как при этом возникают новые виды. Для того чтобы это выяснить, потребовался многолетний труд не только генетиков, но также зоологов и палеонтологов. К середине XX в. их совместные усилия сложились в так называемую «синтетическую теорию эволюции». Молодые ученые основывали на синтетической теории эволюции свои новые исследования. Они начали понимать, как проходит эволюция на молекулярном уровне. В результате естественный отбор сегодня уже не та ускользающая невидимая сила, какой ее считал Дарвин. На самом деле сегодня можно наблюдать и действие естественного отбора в дикой природе, и разделение видов. Для этого ученым даже не надо следить за животными, растениями или микробами: можно видеть, как естественный отбор работает внутри нашего тела и даже среди искусственных форм жизни в компьютере.

## МОНАХ И НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ

Если бы история обернулась иначе, ученые могли раскрыть тайны наследственности еще при жизни Дарвина. Еще не была закончена работа над «Происхождением видов», а один моравский монах уже открывал в собственном саду фундаментальные законы генетики.

Грегор Мендель родился в 1822 г. на территории сегодняшней Чехии в семье небогатого фермера и вырос в крошечном домике, состоявшем всего из двух комнат. Заметив способности мальчика, учителя устроили его послушником в монастырь в Брюнне в тогдашней Моравии (в настоящее время Брно). В этом монастыре было много монахов, преданных науке не меньше, чем молитве; там глубоко изучали геологию, метеорологию и физику. Мендель узнал от других монахов о последних достижениях ботаники — к примеру, о новых методах искусственного оплодотворения, позволявших выводить все более качественные сорта. Через некоторое время Менделя направили в Венский университет, где он продолжил изучение биологии. Помимо этого, он изучал физику и математику, и можно сказать, что именно эти науки сформировали Менделя как ученого. Физики научили его проверять гипотезы при помощи экспериментов — тогдашние биологи этим практически не занимались. Математики научили Менделя пользоваться статистикой и находить порядок, скрытый в случайном вроде бы наборе данных.

В 1853 г. Мендель вернулся в Брюнн. Ему было уже за тридцать, он был широкоплеч и немного склонен к полноте, имел высокий лоб, а его живые голубые глаза скрывались за стеклами очков в золотой оправе. Он работал школьным учителем, преподавал естественную историю и физику ученикам второй и третьей ступени. У него было 100 учеников и шесть рабочих дней в неделю, но при этом Мендель умудрялся вести жизнь настоящего ученого, регулярно наблюдал за погодой и следил за научными

журналами. Именно в это время он решил поставить эксперимент, чтобы больше узнать о наследственности растений.

Некоторые из венских профессоров Менделя упорно пытались понять, что придает биологическим видам уникальность, почему каждый вид производит на свет подобное себе потомство. Эти вопросы сошлись вместе в тайне гибридов. Селекционеры знали, как развить определенные качества цветка или плода, как получить нужный сорт, и умели скрещивать виды для получения гибридов. Многие гибриды оказывались стерильными, а среди тех, кто мог производить потомство, новые поколения часто возвращались к формам предков. Но если растения могут каким-то образом производить гибриды, это может означать, что виды не вечны и могут меняться. В XVIII в. шведский биолог Карл Линней рассуждал о том, что виды растений одного рода произошли когда-то от общего предка путем гибридизации.

На протяжении почти всего XIX в. ученые считали, что наследственность работает через смешение родительских качеств в потомках. Но Мендель предложил совершенно иной вариант: родители могут передавать потомству свои качества, но качества эти не смешиваются. Для проверки этой идеи Мендель разработал эксперимент, в котором предполагалось скрещивать разновидности растений и отслеживать цвет, размер и форму полученных новых поколений. Для своего эксперимента Мендель выбрал горох и в течение двух лет испытывал всевозможные его сорта и их потомство. В конце концов он остановился на 22 сортах и семи различных признаках, которые предполагалось отслеживать. Горошины в отобранных им сортах могли быть гладкими или сморщенными, зелеными или желтыми. Стручки также могли быть зелеными или желтыми, гладкими или ребристыми. Сами растения могли быть высоко- или низкорослыми, цвести на кончиках или в середине побегов. Мендель собирался фиксировать все эти признаки в каждом новом поколении.

Осторожно помещая пыльцу одного сорта на цветок другого, Мендель скрестил два сорта (с гладкими и сморщенными горошинами) и получил тысячи гибридных семян. Затем он посадил эти семена в монастырском саду и дождался цветения. Получив урожай и вышелушив стручки, он увидел, что все гибридные горошины получились гладкими. Признак сморщенности не наблюдался вообще. После этого Мендель скрестил полученные семена между собой и вырастил второе поколение. Здесь некоторые горошины вновь оказались сморщенными (и морщинки на горошинах были не менее глубокими, чем у их сморщенных предков). Получалось, что признак сморщенности не отсутствовал в гладком поколении; он как бы спрятался в гибридах и позже вновь проявился.

Число сморщенных горошин на каждом кусте было разным, но, проверив большое количество растений, Мендель получил следующее соотношение: одна сморщенная горошина на три гладких. Он проследил судьбу других признаков при скрещивании и получил тот же общий результат: одна зеленая горошина на три желтых, одна белая оболочка семени на три серых, один белый цветок на три фиолетовых.

Мендель понял, что обнаружил закономерность в запутанной проблеме наследственности, но ботаники того времени не обратили на его работу практически никакого внимания. Он умер в монастыре в 1884 г., так и не получив признания в ученом мире; коллеги считали, что Мендель растратил себя на пустяки. На самом же деле этот монах был настоящим первопроходцем в генетике — науке, которая возникла лишь через 16 лет после его смерти. Сегодня, после ста с лишним лет исследований, мы понимаем, почему горох у Менделя рос именно так.

Горох, как и любой другой организм на Земле, несет в каждой из своих клеток сборник молекулярных рецептов по строительству собственного тела. Молекулы — носители этой информации представляют собой дезоксирибонуклеиновую кислоту, более из-

вестную как ДНК. По форме они напоминают скрученную в спираль лесенку; информация заключена в «перекладинах» лестницы, каждая из которых состоит из пары химических структур, известных как азотистые основания. Именно основания служат буквами в рецептах жизни, но в отличие, к примеру, от 26 букв английского алфавита код ДНК записан всего четырьмя: это аденин, цитозин, гуанин и тимин.

Каждый ген — участок ДНК, обычно охватывающий несколько тысяч пар оснований, — представляет собой рецепт изготовления какого-нибудь белка. Для выработки этого белка наши клетки создают одноцепочечную копию гена (известную как РНК) и доставляют ее в нужное место. Белки, или протеины, — это длинные молекулярные цепочки, как ДНК и РНК, но состоят они не из оснований, а из соединений другой группы — аминокислот. Опираясь на информацию, заключенную в основаниях РНК, наши клетки подбирают нужные аминокислоты и соединяют их в цепочку; если кусок РНК пройден до конца, новый белок готов. Взаимное притяжение атомов свеже созданного белка заставляет его молекулу свернуться; этот процесс немного напоминает самопроизвольное складывание оригами. Белки могут принимать тысячи разных форм, и роли их не менее многообразны — они могут служить проводниками в клеточных мембранах, придавать жесткость ногтям или разносить кислород от легких по кровеносной системе.

Отношение 3:1, которое Мендель обнаружил при скрещивании гороха, объясняется особым механизмом, при помощи которого рецепты, заключенные в ДНК, передаются от одного поколения к другому. У растений и животных генные рецепты организованы в несколько томов, называемых хромосомами. К примеру, у нас, людей, 25 000 генов, объединенных в 23 пары хромосом. Хромосомы в паре могут иметь одинаковые версии каждого конкретного гена, а могут и разные. При делении обычной клетки каждая из двух дочерних клеток получает полный



набор хромосом и, соответственно, генов. Но когда образуются половые клетки — сперматозоиды или яйцеклетки, — то каждая из них получает по одной хромосоме из каждой пары. Какую из двух половинок она получит — дело случая. Когда сперматозоид оплодотворяет яйцо, два набора хромосом сливаются в новые пары, образуя генетический код будущего организма.

Цвет растений гороха у Менделя, их текстура и остальные признаки, которые он регистрировал, контролировались различными генами. Представьте, что один из генов, которые наследовали его растения, существовал в двух различных вариантах; один из них делал горошины гладкими, другой — сморщенными. Сортовой горох с гладкими горошинами имел две одинаковые копии «гладкого» гена; сортовой горох со сморщенными горошинами — две копии гена, дающего сморщенность. Когда Мендель скрещивал два эти сорта, он получал гибриды, у каждого из которых было по одной копии гена «гладкости» и по одной — «сморщенности»; при этом все горошины у такого растения получались гладкими. Генетики до сих пор не до конца понимают почему, но гены, подобные гену «гладкости» гороха, способны доминировать над своими партнерами.

Но ген «сморщенности» в гибридах, хотя и молчит, никуда не исчез. Каждая из половых клеток — и женских, и мужских — такого гибрида получает лишь одну форму этого гена, так что их непосредственные отпрыски могут унаследовать один из родительских вариантов гена с вероятностью 50:50. Это соотношение приводит к тому, что четверть получит два гена сморщенности, четверть — два гена гладкости, а половина — по одной копии каждого типа. Поскольку новые гибриды (те растения, которым досталось по одной копии того и другого гена) опять дадут гладкие горошины, в новом поколении отношение гладких горошин к сморщенным составит 3:1.

Наследование большинства признаков гораздо сложнее, чем то, что видел Мендель при скрещивании гороха. Очень ча-

сто вид может иметь не два варианта одного гена, а гораздо больше. И редко случается, чтобы за какой-то признак отвечал один-единственный ген. В большинстве случаев бывает задействовано множество разных генов. Род человеческий не делится на тех, кто несет в себе «ген высокого роста» и достигает двух метров роста, и тех, кто из-за «гена маленького роста» вырастает только до полутора метров. В формировании роста человека участвуют многие гены, так что замена одного из них даст совсем небольшую разницу. Если наша ДНК – это поваренная книга, то наше тело – это «шведский стол». Если использовать при выпечке хлеба соль вместо дрожжей, разница получится очень заметной, но если в соус чили по ошибке попадет тимьян вместо душицы, никто даже не заметит.

## ПЕРЕПИСЫВАЯ ПОВАРЕННУЮ КНИГУ ЖИЗНИ

Разновидности, которые Дарвин наблюдал у своих голубей и усоногих рачков – и которые никак не мог объяснить, – возникают при изменении структуры ДНК. Вообще-то клетки способны воспроизводить ДНК почти безошибочно, но время от времени в процесс все же вкрадываются нарушения. Корректирующие белки находят и исправляют большую часть ошибок, но некоторые остаются. В основном такие редкие отклонения, известные как мутации, меняют всего лишь единственную букву в коде ДНК, но иногда они могут оказаться куда более радикальными. Бывает, что отдельные участки ДНК самопроизвольно «вырезают» себя из одного места и снова вставляются в другое, изменяя тем самым ген, в котором находят себе новый дом. Иногда при копировании ДНК во время деления клетки целый ген, а то и группа генов, случайно дублируется.

Еще в 1920-х гг. ученые начали осознавать, что мутации играют громадную роль в процессе эволюции и возникновении новых

видов. Исследователи — в их числе британский математик Рональд Фишер и американский биолог Сьюэлл Райт — объединили естественный отбор и генетику, обеспечив Дарвиновой теории куда более прочное основание.

Когда ДНК мутирует, клетка, в которой это происходит, может просто потерять жизнеспособность и погибнуть, а может начать бешено размножаться и образовать опухоль. В любом из этих случаев со смертью организма-носителя мутация исчезнет. Но если мутация изменяет ДНК яйцеклетки или сперматозоида, она получает шанс на бессмертие. Она может попасть в гены детенышей, потом детенышей детенышей и т. д. От результата этой мутации — благоприятного, неблагоприятного или нейтрального — будет зависеть то, насколько часто она будет встречаться у будущих поколений. Мутации часто причиняют вред и даже убивают своего носителя раньше, чем он успеет родиться, — или сказываются на его способности к размножению. Если мутация заметно снижает шансы особи на репродуктивный успех, она постепенно исчезнет.

Но иногда вместо вреда мутация приносит некоторую пользу. Она может изменить структуру белков, сделав их более эффективными в переваривании пищи или разложении ядовитых веществ. Если действие мутации позволяет организму произвести на свет в среднем больше отпрысков, чем организмам, у которых ее не было, то постепенно она получит большое распространение в популяции. (Биологи сказали бы, что этот мутант более приспособлен, чем остальные.) Если потомство мутанта преуспевает, мутация, носителями которой они являются, получает большее распространение; иногда мутация оказывается настолько успешной, что прежняя версия гена просто исчезает. Естественный отбор, как показали Фишер и Райт, в значительной мере заключается в различной судьбе разных форм генов.

Особенно важным стал вывод Фишера о том, что естественный отбор действует через накопление множества мелких мута-

ций, а не через отдельные гигантские мутации. Фишер доказывал свой вывод при помощи хитроумной математики, но прояснить этот вопрос можно и на простом гипотетическом примере. Рассмотрим стрекозиные крылья. Они не должны быть слишком короткими — в этом случае стрекоза не сможет развить достаточную подъемную силу, чтобы оставаться в воздухе, — но не должны быть и слишком длинными — иначе ими будет слишком тяжело махать. Где-то между слишком малой и слишком большой длиной находится оптимальная длина крыльев, которая делает стрекозу максимально приспособленной. Если построить график зависимости приспособленности от длины крыла, мы получим график в виде пологого холма с максимумом на уровне оптимальной длины крыла. Если бы мы на самом деле переловили множество стрекоз и перемерили у них крылья, полученные точки, скорее всего, сосредоточились бы вокруг вершины холма.

А теперь представьте, что произошла мутация, которая изменила длину стрекозиных крыльев. Если приспособленность насекомого от этого уменьшится, другие насекомые с лучшей конструкцией крыла выиграют в конкурентной борьбе у потомков мутанта. Но если мутация подтолкнет стрекозу ближе к вершине нашего графика, естественный отбор будет ей благоприятствовать. Другими словами, естественный отбор, как правило, подталкивает жизнь к максимальной приспособленности.

В подобной ситуации лучшей стратегией могут показаться гигантские мутационные скачки, позволяющие видам быстро эволюционировать. Вместо медленного подъема по склону холма одна-единственная мутация могла бы закинуть стрекозу на самую его верхушку и обеспечить ей максимальную приспособленность. Но мутации — катапульты без прицела. Они происходят случайным образом и могут забросить нашу стрекозу в любую точку эволюционного поля. Вместо того чтобы приземлиться точнехонько на вершине холма, она может оказаться где-нибудь совершенно в другом месте и обнаружить, что до-

ставшиеся ей крылья слишком длинны или слишком коротки. С другой стороны, мутации небольшого действия могут гораздо надежнее подтолкнуть стрекозиный вид в нужном направлении. Даже небольшое преимущество, которое позволит особи оставить чуть больше потомков, чем ее товарки, может позволить соответствующей мутации через несколько десятков поколений широко распространиться в популяции.

Конечно, этот холм и подъем по склону к вершине — всего лишь метафора, к тому же сильно упрощенная. С одной стороны, эволюционный ландшафт не постоянен. Любые изменения окружающей среды — подъем или падение температуры, вторжение или уход видов-конкурентов, развитие других генов — могут привести к тому, что холмы станут долинами, а долины — холмами. Вообще, эволюционный ландшафт похож скорее на слегка волнующуюся океанскую поверхность.

Кроме того, эволюция не всегда производит наилучшее сочетание генов. К тому же иногда гены распространяются без какого бы то ни было участия естественного отбора. Вообще, наследственность напоминает шарик на колесе рулетки. Если бросать шарик достаточно долго, то в половине случаев выпадет черное, в половине — красное. Но если ограничиться лишь несколькими бросками, может оказаться, что все они придутся на красное. Так и с генами. Пусть при скрещивании двух гибридных растений гороха получено четыре новых растения. Каждое из них с вероятностью 25% унаследует два гена гладкости, с вероятностью 25% — два гена сморщенности, а с вероятностью 50% останется гибридным. Но это не значит, что из четырех реальных растений одно будет со сморщенными горошинами, одно — «чистокровное» с гладкими, а два оставшихся будут гибридами. На самом деле они все могут оказаться гладкими и даже все сморщенными. Каждое растение гороха — это отдельный бросок генетической кости.

Конечно, в больших популяциях серьезных статистических флуктуаций не бывает, но маленькие популяции могут иногда

развиваться вопреки вероятностям Менделя. Если несколько десятков лягушек в изолированном пруду скрещиваются только между собой, то мутантный ген может появиться и распространиться среди них без всякой помощи естественного отбора — благодаря всего лишь случайному повороту эволюционной рулетки. При этом стоит мутантному гену распространиться по всей популяции, и прежний ген пропал навсегда.

## СИНТЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ

Фишер, Райт и другие ученые, первыми показавшие, как генетика обеспечивает ход эволюции, не были биологами-практиками. В основном это были экспериментаторы, работавшие в лабораториях, и теоретики, увлеченные математическими методами. Но в 1930-х гг. другие исследователи начали применять их идеи на практике: искать закономерности видового разнообразия в окружающей природе и систематизировать окаменелости — свидетельства развития жизни с древнейших времен. Если Фишер и Райт создали сплав генетики и эволюционной теории, то следующее поколение ученых добавило к этому новые ингредиенты из экологии, зоологии и палеонтологии. К 1940-м гг. недарвинистские объяснения эволюционных идей — о внутренних силах, направляющих ламаркианскую трансформацию, или о гигантских мутациях, создающих новые виды за одно поколение, — стали казаться безнадежно устаревшими.

Серьезный шаг к созданию синтетической теории эволюции был сделан в 1937 г.; им стала публикация книги «Генетика и происхождение видов» советского ученого Феодосия Добжанского. За девять лет до выхода книги Добжанский приехал в США работать в лаборатории Томаса Моргана в Колумбийском университете; биологи этой лаборатории изучали плодовую мушку *Drosophila melanogaster*, пытаясь понять подлинную природу мутаций. Добжанский в лаборатории выглядел чужаком;

для остальных сотрудников «мушиной комнаты» существовали только те плодовые мушки, которые жили в молочных бутылках в их тесной лаборатории, но Добжанский занимался изучением насекомых в дикой природе с самого детства, которое он провел в Киеве. Подростком он считал целью жизни собрать для своей коллекции все виды божьих коровок, обитающие в регионе. «Вид божьей коровки до сих пор вызывает у меня прилив гормонов, — скажет Добжанский много лет спустя. — Первая любовь не забывается».

Добжанский научился безошибочно выделять естественные вариации в различных популяциях божьих коровок. Прочитав о работе Моргана по исследованию мутаций, он заинтересовался тем, нельзя ли таким способом разобраться и с любимыми божьими коровками. Однако генетика божьих коровок оказалась слишком сложной, и Добжанский тоже переключился на *Drosophila melanogaster*, хорошо изученных мушек Моргана.

Добжанский быстро приобрел репутацию блестящего генетика и в возрасте 27 лет получил приглашение приехать в Нью-Йорк и познакомиться с новейшими методами «мушиной комнаты». Когда Добжанский с женой появились в Колумбийском университете, лаборатория Моргана выглядела ужасно: крохотная комнатка буквально кишела тараканами. Но в 1932 г. ситуация изменилась к лучшему, и Морган собрал чемоданы и перебрался в Калифорнийский технологический институт. Добжанский последовал за ним и прекрасно устроился среди апельсиновых рощ.

В Калифорнии Добжанский сумел наконец подступить к ответам на вопросы, которые задавал себе еще в юности: какие генетические законы определяют разницу между популяциями одного вида? Большинство биологов того времени считало, что внутри одного вида все особи имеют практически идентичный набор генов. В конце концов, Моргану, чтобы зарегистрировать среди своих мушек естественную мутацию, потребовалось несколько лет. Но эти идеи родились в лаборатории.

Добжанский же начал изучать гены плодовых мушек в дикой природе. Он путешествовал от Канады до Мексики, отлавливая особей вида *Drosophila pseudoobscura*. Сегодня биологи могут расшифровать каждую букву в генетическом коде вида, но во времена Добжанского технологии были гораздо грубее. Он мог судить о разнице между хромосомами только на глаз, разглядывая их под микроскопом. Но даже при помощи таких простых методов он сумел установить, что набор генов в разных популяциях *D. pseudoobscura* не идентичен. У каждой популяции плодовых мушек, которую он изучал, обнаруживались в хромосомах характерные маркеры, отличавшие их от особей остальных популяций.

Несколько десятилетий спустя, когда генетики придумали более точные способы сравнения ДНК, выяснилось, что изменчивость, обнаруженная Добжанским среди плодовых мушек, — это правило, а не исключение. К примеру, многие биологи когда-то считали, что генетические коды людских рас сильно различаются между собой. Некоторые даже утверждали, что расы — это отдельные виды. Но современные исследования генетики человека доказывают ошибочность этих представлений. «Биологический взгляд на расы, к которому мы привыкли, не имеет ничего общего с генетической реальностью, которую мы сегодня обнаруживаем», — говорит генетик из Стэнфордского университета Маркус Фельдман.

Из 25 000 генов человеческого генома примерно 6000 существуют в различных версиях (известных как аллели). Особенно, по которым мы традиционно делим наш вид на расы, — цвет кожи, волос, форма лица — определяются всего лишь несколькими генами. Громадное большинство вариативных генов не имеют отношения к так называемым расовым границам. Гораздо больше разнообразия внутри любой отдельно взятой популяции людей, чем между популяциями. Если бы все люди на Земле, за исключением какого-нибудь небольшого племени в уединенной долине



Новой Гвинее, были уничтожены, уцелевшие все равно сохранили бы 85% генетического разнообразия всего нашего вида.

Открытие Добжанского о генетическом разнообразии внутри вида поставило перед учеными серьезный вопрос: если не существует стандартного набора генов, характерного для данного вида, что в таком случае определяет биологический вид и границы между видами? Добжанский нашел верный ответ: половое размножение. Вид — это всего лишь группа организмов, члены которой скрещиваются главным образом между собой. Два животных, принадлежащих разным видам, вряд ли смогут спариться, и даже если это произойдет, вряд ли будет жизнеспособное потомство. Биологи давно знали, что межвидовые гибриды часто погибают прежде, чем вылупляются из яйца, или вырастают во взрослые особи, неспособные к размножению. Эксперименты, проведенные Добжанским на фруктовой мушке, показали, что такую несовместимость вызывают специфичные гены, которые у разных видов конфликтуют.

В книге «Генетика и происхождение видов» Добжанский дал краткое объяснение, как на самом деле возникают новые виды. Мутации происходят постоянно. Некоторые мутации при определенных обстоятельствах могут оказаться вредными, но значительное их число — как это ни удивительно — никак не сказывается на жизнеспособности. Эти нейтральные изменения проявляются и закрепляются в разных популяциях, создавая разнообразие гораздо большее, чем можно было вообразить. С эволюционной точки зрения это хорошо, поскольку при изменении внешних условий нейтральные мутации могут оказаться полезными и будут подхвачены естественным отбором.

Кроме того, разнообразие — сырье, из которого образуются новые виды. Если мухи некой популяции начинают скрещиваться только между собой, их генетический профиль начинает отдаляться от генетического профиля остальной части вида. В изолированной популяции возникают новые мутации, некоторые

из них подхватываются естественным отбором и распространяются до тех пор, пока все мухи популяции не станут их носителями. Однако, поскольку эти изолированные мухи скрещиваются только внутри собственной популяции, мутации не распространяются на остальные виды. Изолированная популяция становится все более генетически обособленной. При этом некоторые из ее новых генов могут оказаться несовместимыми с генами остальных мушек вида.

Если изоляция продлится достаточно долго, утверждал Добжанский, мухи могут полностью потерять способность к скрещиванию. Они могут просто лишиться физической возможности — или тяги — к спариванию с другими мухами. Даже если такая пара произведет потомство, гибриды могут оказаться стерильными. Если это произойдет, то даже после прекращения изоляции эти мушки смогут жить рядом с другими, очень похожими насекомыми — и все же скрещиваться только между собой. Родится новый вид.

Книга Добжанского вышла в 1937 г. и произвела сильное впечатление на биологов далеко за пределами узкой области — генетики. К примеру, в горах Новой Гвинеи орнитолог по имени Эрнст Майр нашел ее чрезвычайно полезной. Майр занимался поиском новых видов птиц и нанесением на карту их ареалов. Это была очень трудная задача, и не только из-за малярии или охотников за головами. Как и другие орнитологи, Майр испытывал трудности, пытаясь разобраться, заслуживает ли та или иная группа птиц права называться самостоятельным видом. К примеру, можно определять виды райских птиц по цвету перьев, но иногда среди них наблюдается огромное разнообразие по другим признакам — на одной горе птицы могут отличаться особенно длинным хвостом, на другой — их хвост может быть срезан под прямым углом.

Как правило, биологи стремились внести в этот хаос порядок, выделяя подвиды — местные популяции вида, у которых до-

статочно отличий, чтобы обозначить их отдельным названием. Но Майр видел, что навешивание ярлычка «подвид» — далеко не лучшее решение. В некоторых случаях подвиды не имели четких различий, а плавно переходили друг в друга, подобно цветам радуги. В других случаях то, что выглядело как подвид, могло оказаться самостоятельным видом.

Прочитав «Генетику и происхождение видов», Майр понял, что исследователи не должны считать загадку видов и подвидов лишней головной болью: на самом деле это живое доказательство эволюционных процессов, о которых писал Добжанский. Вариации возникают в разных точках ареала и создают разницу между популяциями. В одной части ареала они могут породить длинный хвост, в других — хвост срезанной формы. Но поскольку птицы спариваются со своими соседями, эти вариации не выделяются в отдельный вид.

Один из ярчайших примеров того, чем способен обернуться перенос генов между популяциями, — феномен, известный как «кольцевой вид». К примеру, в Северном море обитает вид птиц, известный как серебристая чайка. У нее серая спинка и розовые лапки. Если двигаться на запад по ее ареалу, то в Канаде вы снова встретите серебристых чаек, которые, за исключением незначительной разницы в окраске, выглядят примерно так же, как их родичи в Северном море. Однако к тому моменту, когда вы пересечете Канаду, разница будет уже бросаться в глаза, а в Сибири у этих чаек будет темно-серая спинка и не розовые, а скорее желтые лапки. Тем не менее, несмотря на различия, в науке все эти птицы классифицируются как серебристые чайки. Если вы продолжите двигаться на запад, в Европу, спинка у чаек будет становиться все темнее, а лапки все желтее. Вместе с темными желтоногими чайками вы доберетесь до самого Северного моря, откуда начали свое путешествие. Здесь эти птицы, известные как черноспинные чайки, живут рядом с сероспинными розовоногими серебристыми чайками.

Поскольку эти две группы птиц выглядят по-разному и не спариваются, к ним относятся как к представителям разных видов. Однако менее крупные черноспинные чайки и серебристые чайки живут на разных концах непрерывного перекрывающегося кольца, внутри которого все птицы могут спариваться со своими непосредственными соседями. При существующих путях возникновения и распространения мутаций кольцевые виды — это именно то, что должно было получиться.

Популяция птиц, отрезанная от соседей, может развиваться в самостоятельный вид. Майр утверждал, что чаще всего это происходит при географическом обособлении популяции. Так, язык ледника может перегородить горную долину, разделив один вид птиц на две изолированные популяции. Подъем уровня океана может превратить полуостров в цепь островов, создав на каждом из них обособленную популяцию птиц. Подобная изоляция не обязательно должна продолжаться вечно; достаточно, чтобы барьер просуществовал какое-то время и чтобы изолированная популяция успела за это время стать генетически несовместимой с остальными особями вида. Если ледник растает или уровень океана опустится, вновь превратив острова в единый полуостров, птицы уже не смогут скрещиваться между собой. Они будут жить бок о бок, но их эволюционные пути разойдутся.

Биологи, такие как Майр и Добжанский, внесли серьезный вклад в синтетическую теорию эволюции; материалом для их исследований служили ныне обитающие на Земле виды животных. Но если они правы, то те же процессы должны были протекать не только сегодня, но и миллионы и миллиарды лет назад — начиная с того самого момента, когда на планете зародилась жизнь. Однако даже в 1930-х гг. многие палеонтологи еще отказывались видеть в ископаемых останках и окаменевших костях результат действия естественного отбора. Они видели в эволюции древних животных долгосрочные тенденции, которые, казалось, следовали в одном, раз и навсегда заданном направлении. Лошади,

казалось, неуклонно развивались из существ размером с собаку во все более крупные формы; в то же время пальцы на ногах у них столь же неуклонно уменьшались, пока наконец не превратились в копыта. Предки слонов первоначально были размером со свинью, и для того, чтобы их потомки превратились в колоссальных зверей, потребовались десятки миллионов лет; одновременно зубы этих животных последовательно усложнялись и увеличивались в размерах. Палеонтологи утверждали: нет никаких признаков того, что природа экспериментировала случайным образом, нет тупиковых ветвей, нет разнонаправленных изменений, которые мог бы дать естественный отбор.

Генри Осборн, президент Американского музея естественной истории, объявил эти тенденции доказательством того, что эволюцией — в значительной степени — управляет не естественный отбор. Каждая из линий развития млекопитающих уже в самом начале несет в себе потенциал стать тем, чем и становится впоследствии, — лошадью или слоном. «Потенциал чего-то, что может проявиться со временем», — как выразился Осборн. Причем раскрыть этот потенциал вид может только в борьбе со стихиями и с другими животными. «Докажите, что принцип Ламарка неверен, и мы должны будем признать, что в эволюции существует некий третий фактор, о котором мы пока ничего не знаем», — заявил Осборн в 1934 г.

Но один из студентов Осборна палеонтолог Джордж Симпсон не захотел принять этот обновленный ламаркизм. Гораздо сильнее впечатлило Симпсона то, как Добжанский сумел связать генетику и естественный отбор. Прочитав «Генетику и происхождение видов», он решил сам проверить, применимы ли генетические принципы Добжанского к палеонтологической летописи.

Симпсон внимательнее присмотрелся к тенденциям, которые, по утверждению Осборна, свидетельствовали в пользу однонаправленной эволюции. При тщательном исследовании линейные варианты развития развернулись вдруг в густые эволюционные

деревья с многочисленными ответвлениями. Оказалось, к примеру, что лошади за последние 50 млн лет принимали самые разные размеры, да и анатомия копыта менялась неоднократно; многие из этих вариантов давно вымерли и не имеют непосредственного отношения к происхождению сегодняшних лошадей.

Если за трансформацию древних видов в сохранившихся образцах действительно отвечал естественный отбор, который ученые исследовали в лабораториях, он должен был развиваться достаточно быстро, чтобы произвести изменения, заметные для палеонтологов. Экспериментаторы «мушиной комнаты» тщательно замерыли, как часто появляются мутации у плодовых мушек и как быстро они могут распространяться по популяции путем естественного отбора. Симпсон изобрел собственный метод измерить скорость эволюционных изменений по останкам. Он просмотрел всю громадную коллекцию костей, собранных палеонтологами за предыдущее столетие, тщательно измерил их и построил график их изменения во времени. Симпсон обнаружил, что эволюция в далеком прошлом могла протекать с разной скоростью, быстро или медленно, и что даже внутри одной линии развития она могла ускоряться и замедляться со временем. Кроме того, Симпсон обнаружил, что даже максимальная скорость изменений в останках уступает скорости эволюции, зарегистрированной у плодовых мушек. Таким образом, Симпсону, чтобы разобраться в своих костях, не потребовался никакой загадочный ламарковский процесс; хватило и синтетической теории эволюции.

К 1940-м гг. создатели синтетической теории эволюции успели показать, что генетика, зоология и палеонтология рассказывают, в сущности, одну и ту же историю. Основа эволюционных изменений — мутации; в сочетании с Менделевой наследственностью, переносом генов, естественным отбором и географической изоляцией они способны создавать и новые виды, и новые формы жизни; а за миллионы лет они вполне мог-

ли породить все те изменения, которые зафиксировала палеонтологическая летопись. Успех синтетической теории эволюции сделал ее движущей силой всех эволюционных исследований последних 50 лет.

## ПТИЧЬИ КЛЮВЫ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ РЫБОК ГУППИ

Дарвин и помыслить не мог, что можно наблюдать естественный отбор в действии. Максимум, что можно получить, как ему казалось, — вариации голубей на голубятне. В дикой природе, считал он, эволюция идет слишком медленно и постепенно, чтобы ее различало наше сознание, настроенное на короткий срок человеческой жизни, — точно так же невозможно увидеть, как дождь размывает и уносит с собой гору. Но в наши дни биологи, вооруженные синтетической теорией эволюции, научились отмечать вспышки эволюционных изменений, происходящие прямо у нас на глазах.

Дэвид Резник, биолог из Университета Калифорнии в Риверсайте, наблюдает эволюцию в лесах Тринидада, где в ручьях и небольших озерах плавают рыбки гуппи. На равнинах и в предгорьях гуппи угрожают хищники, но выше в горах они могут жить спокойно, поскольку мало кто из хищников способен подняться против течения через водопады и отвесные скалы. Резник начал наблюдать за гуппи в конце 1980-х.

Жизнь гуппи, как и жизнь любого другого животного, проходит по определенному графику — в каком возрасте рыбки достигают половой зрелости, как быстро растут, как долго живут во взрослом состоянии. Биологи-теоретики предсказывали, что график жизни животных может эволюционировать, если мутации, которые вызовут его изменения, дадут животным репродуктивные преимущества. Резник решил проверить эти предсказания.

В озерах, кишмящих хищниками, гуппи, жизнь которых проходит быстро, должны быть более успешными, чем те рыбки, которые взрослеют медленно. Под постоянной угрозой гибели для гуппи лучше всего расти как можно быстрее, чтобы как можно раньше начать спариваться и произвести на свет как можно больше отпрысков. Конечно, такая стратегия дорого обходится виду. Слишком быстрый рост может уменьшить естественную продолжительность жизни, а поспешность в производстве потомства не позволяет самке гуппи снабдить детенышей достаточным количеством энергии, и они рискуют погибнуть, не достигнув зрелости. Но Резник рассудил, что риск в любой момент погибнуть от зубов хищников перевешивает все остальные риски.

Чтобы посмотреть, действительно ли происходит такой обмен, Резник выловил в одном из нижних озер, населенных хищниками, несколько гуппи и поселил их в озера, где хищных рыб почти не было. Через 11 лет, проведенных в таких условиях, гуппи стали — в среднем — менее светлыми в своем жизненном цикле. Взросление стало занимать у них на 10% больше времени, чем у их предков, а весить к моменту наступления зрелости они стали на 10% больше. Кроме того, у них уменьшился объем помета, зато каждая молодая гуппи стала появляться на свет более крупной.

Может показаться, что потратить 11 лет на наблюдения за тем, как рыбки гуппи становятся на 10% больше, — пустая трата времени. Но в истории жизни 11 лет — это крохотная доля мгновения. Скорость эволюции, которую наблюдал Резник, в тысячи раз превосходит ту скорость, которую Джордж Симпсон вычислил по палеонтологической летописи. Симпсон, оценивая скорость эволюционных изменений по ископаемым останкам, мог сравнивать ее только со скоростью эволюции плодовых мушек в лабораториях. При этом никто не мог сказать, можно считать развитие в лаборатории естествен-



ным или нет. Но теперь ученые, подобные Резнику, показали, что даже в дикой природе животные могут эволюционировать с невероятной скоростью.

Иногда природа без всякой помощи человека ставит собственные эволюционные эксперименты. В этих случаях биологам остается только наблюдать. После того как Дарвин побывал на Галапагосах, ученые каждые несколько десятков лет возвращаются туда, чтобы заново изучить его загадочных выюрков. В 1973 г. супруги-биологи Питер и Розмари Грант, работающие в настоящее время в Принстонском университете, прибыли на острова с целью изучить воздействие естественного отбора на этих птиц.

Погода на Галапагосах обычно меняется по стандартной схеме. Первые пять месяцев года там жарко и дождливо, а затем наступает прохладный сухой период. Но в 1977 г. период дождей так и не наступил. Периодические волнения в Тихом океане, называемые Ла-Нинья, изменили погоду на Галапагосских островах и вызвали катастрофическую засуху.

На островах Дафнии в центре архипелага, где работали Гранты, засуха оказалась просто смертельной. Из 1200 средних земляных выюрков (*Geospiza fortis*) погибло больше тысячи. Но Гранты обнаружили, что отбор не был случайным. *G. fortis* питается в основном семенами, которые расщепляет своим крепким клювом. Мелкие особи могут раскалывать лишь мелкие семена, тогда как более крупные птицы способны раскалывать и более крупные. Через несколько месяцев засухи у мелких *G. fortis* закончились мелкие семена, и птицы начали гибнуть. Но крупные выюрки уцелели — они питались семенами, до которых не смогли добраться более мелкие особи. (В частности, речь идет о растении василек колючеголовый, семена которого защищены шипастой оболочкой.)

Пережившие засуху 1977 г. птицы спарились в 1978 г., и Гранты могли своими глазами наблюдать след эволюции на их потом-

стве. Родилось новое поколение *G. fortis*, и ученик Грантов Питер Боут обнаружил, что в среднем клювы у них стали на 4% больше, чем у птиц предыдущего поколения. Большеклювые вьюрки, которые легче перенесли засуху, передали эту свою особенность детям и изменили тем самым генетический профиль всей популяции.

В годы, следовавшие за засухой, птицы продолжали меняться. К примеру, в 1983 г. шли сильные дожди и семена были в изобилии; мелкоклювым птицам жилось хорошо, и Гранты обнаружили, что к 1985 г. средний размер клюва уменьшился на 2,5%. Вьюрки могут меняться быстро, и создается впечатление, что они меняются то туда, то обратно, подобно маятнику. По наблюдениям 4300 средних земляных вьюрков на островах Дафни в период с 1976 по 1993 г. Гранты не смогли обнаружить никакой общей тенденции в изменении размеров их клюва. Если вьюрок имеет клюв, который позволяет ему пережить первый, критичный год жизни, он, скорее всего, выживет и произведет на свет немало потомков. Но в некоторые годы полезен большой клюв, а в некоторые — маленький.

Краткосрочные климатические флуктуации могут заставить популяцию животных гонять по кругу естественного отбора. Но если обстоятельства изменятся, он может долгое время подталкивать популяцию в одном направлении. К примеру, вместо стандартного цикла засух и дождей климат острова столетиями будет становиться все более влажным. Или может случиться так, что группа вьюрков поселится на острове, где местные особи давно специализировались на питании семенами определенного вида; в этом случае эволюция может выделить в «новеньких» гены, которые позволят им питаться другими видами пищи. Тогда они смогут избежать конкуренции с местными вьюрками и риска проиграть в этой конкурентной борьбе. И в том и в другом случае, если хватит времени, на свет может появиться новый вид вьюрка.

## КАК ВОЗНИКАЮТ ВИДЫ

Хотя Гранты не могут сказать наверняка, какие именно долгосрочные факторы действовали на Дарвиновых вьюрков после их появления на Галапагосах, одно известно точно: эволюция не всегда двигалась по кругу. Из одного общего предка она создала 14 видов, каждый из которых отличают характерные только для него адаптационные особенности. Свидетельства эволюции прочно вписаны в гены этих птиц.

По мере того как популяции вьюрков испытывают на себе действие естественного отбора и изоляции, их ДНК становятся все более непохожими друг на друга. Гранты решили поискать генетическую разницу между 14 видами Дарвиновых вьюрков и заручились для этого помощью немецких генетиков. Кроме того, они решили сравнить ДНК галапагосских птиц с ДНК эквадорских тиарисов, которые, по мнению орнитологов, являются ближайшими родственниками островных вьюрков на материке. Исследователи сравнили полученные данные и построили генеалогическое древо. Обнаружив два вида, гены которых были ближе друг к другу, чем к генам остальных видов, они соединяли их ветви, обозначая точкой соединения их вероятного общего предка. Затем соединяли их с более отдаленными родичами — и так до тех пор, пока все птицы не оказались объединены в единое дерево.

Результаты этого исследования, опубликованные в 1999 г., показывают, что все вьюрки и правда происходят от одного общего предка. Все 14 островных видов находятся между собой в более близком родстве, чем любой из них с тиарисом. Первоначальная популяция птиц, похожих на тиариса, появилась на Галапагосах несколько миллионов лет назад и дала начало четырем разным линиям вьюрков. Первыми отделились славковые вьюрки — группа видов, использующих тонкий клюв для ловли насекомых. Затем — вьюрки-вегетарианцы; клюв у них короткий и толстый, птицы с его помощью поедают цветочные почки,

бутоны и мякоть фруктов. Наконец, возникли еще две линии: древесные вьюрки, приспособившиеся ловить насекомых на деревьях (к примеру, дятловый древесный вьюрок выковыривает насекомых из щелей при помощи колючки кактуса и держит ее при этом в клюве, формой напоминающем долото), и земляные вьюрки, среди которых и питающийся семенами *G. fortis*.

Орнитологи делят земляных вьюрков на шесть видов, но, если судить по построенному Грантами и их немецкими коллегами дереву, эти виды едва сформированы. Их гены легко отличимы от генов остальных галапагосских вьюрков, но различить их между собой почти невозможно. Земляные вьюрки по-разному выглядят и ведут себя, но, как и прежде, способны спариваться и давать полноценные гибриды. Другими словами, это шесть нарождающихся видов.

Вьюрки Галапагосских островов, хотя и расходятся на отдельные виды довольно быстро, не являются в этом вопросе рекордсменами. Крупнейший всплеск видообразования на Земле произошел в озере Виктория и других крупных озерах Восточной Африки. Озеро Виктория занимает более 27 000 кв. миль и отличается очень ровным дном — плоским, как бильярдный стол. Это место обитания группы рыб, известных как цихлиды. В озере Виктория живет 500 видов этих мелких ярко окрашенных рыбок, и ни один из этих видов не встречается нигде больше на Земле. Для каждого вида цихлид характерна какая-то черта, которая отличает его от всех остальных обитателей озера. Некоторые цихлиды соскребают водоросли с камней зубами; другие раскалывают раковины моллюсков; третьи выедают глаза у цихлид других видов. У некоторых видов существует ритуал ухаживания, при котором самцы строят на дне озера настоящие замки из песка, а самки их потом оценивают. Некоторые цихлиды носят своих мальков во рту.

В 1995 г. на озеро Виктория прибыла группа геологов; ученые намеревались исследовать донные отложения озера и заглянуть

с их помощью на несколько сотен тысяч лет в прошлое. Дело в том, что реки приносят в озеро пыльцу растений, пыль и грязь, которые год за годом аккуратно откладываются на дне. Геологи считали, что, пробуравив дно озера, получают керн из озерных отложений за сотни тысяч лет и смогут прочитать по нему историю окружающих лесов и саванн. Но им удалось забуриться в ил всего лишь на 9 метров — другими словами, дойти до ила, сформировавшегося 14 500 лет назад — когда все следы озера исчезали.

Извлеченные со дна керны показали, что 14 500 лет назад самые глубокие участки озера Виктория были покрыты травой. Судя по всему, во время оледенения в этих местах стоял прохладный сухой климат. Реки, питающие озеро, пересохли, и вся вода из озера попросту испарилась. На протяжении последних миллионов лет оледенения приходили и уходили, и котловина озера Виктория то пересыхала, то вновь наполнялась водой. В последний раз, когда растаяли ледники, озеро за несколько столетий разлилось до нынешних размеров.

Пересохшее озеро — неподходящее место для рыб. Предки викторийских цихлид в то время, скорее всего, обитали в окрестных ручьях, а когда вода вернулась в озеро, туда же попал и единственный вид этих рыбок. Все цихлиды, живущие сегодня в озере Виктория, находятся в близком родстве между собой, но сильно отличаются от цихлид из других рек и озер. У этих рыб сходные гены, как у братьев и сестер. Гены показывают, что после наполнения озера туда проник единственный вид — рыбки, которые носят своих мальков во рту. После этого за время, примерно соответствующее возрасту человеческой цивилизации, из этой единственной линии возникло 500 видов. Вглядитесь в воды озера Виктория с точки зрения эволюции — и вы увидите биологический взрыв.

Судя по всему, этот эволюционный бум произошел потому, что нужное животное оказалось в нужном месте в нужное время. Цихлиды — идеальная рыба для быстрой специализации. С одной

стороны, у них есть дополнительная пара челюстей в глубине рта; если использовать ее для измельчения пищи, передние челюсти останутся свободными и смогут развиваться в какой-нибудь специализированный инструмент для хватания, соскребания водорослей или иных действий. Их зубы тоже продемонстрировали удивительную эволюционную гибкость, превратившись в тупые пеньки, острые шильца или плоские лопаточки. В результате тело цихлиды оказалось прекрасным материалом в руках эволюции, которая в короткий срок изваяла из него поразительное количество самых разных форм.

Не исключено, что свою роль в эволюционном взрыве сыграла изошренная половая жизнь цихлид. Цихлиды-самцы прикладывают для привлечения самок невероятные усилия, танцуют сложнейшие танцы или строят из песка и гальки настоящие замки. Если самке нравится увиденное, она выпускает икру, которую самец тут же оплодотворяет. Выбор самки определяется генами, и у некоторых самок может проявиться предпочтение определенного оттенка красного цвета, или особенно крутых стен песчаного замка, или какого-то определенного коленца брачного танца. Подобные предпочтения распространяются среди самок, и они дружно перестают обращать внимание на остальных самцов. Со временем брачные предпочтения могут привести к изоляции некоторой популяции рыб и превратить ее в новый вид.

Когда 14 000 лет назад цихлиды попали в озеро Виктория, они освободились от эволюционных ограничений, с которыми приходилось считаться их предкам в ручьях и реках. Реки часто меняют свои русла, они подвержены внезапным разливам и засухам. В таких условиях эволюция не поддерживает рыб, слишком специализированных для жизни только на одном участке реки; успешны, как правило, только рыбки, способные выжить в самых неожиданных условиях. Но цихлиды, заселившие озеро Виктория, оказались в куда более стабильных условиях, где можно было спокойно приспосабливаться к конкретным местам обита-

ния: скалистым берегам или более глубоким участкам с ровным песчаным дном. Можно было быстро адаптироваться к очень конкретному образу жизни — и не быть за это наказанными.

В настоящее время биологи изучают генетические различия между цихлидами и пытаются определить, как именно формировались виды в озере Виктория, но времени у ученых почти не осталось. В 1950-х и 1960-х гг. в озере появился новый вид рыб. Нильский окунь давно обитает в некоторых других озерах Восточной Африки и вырастает до двух метров длиной; мелочь вроде цихлид вполне ему по вкусу. Эта рыба была намеренно завезена в озеро Виктория как новый источник пищи для окрестных жителей. Нильскому окуню в озере понравилось, и уловы рыбаков с тех пор выросли вдесятеро. Но процветает этот хищник за счет поедания цихлид.

Одновременно вспашка земель и вырубка лесов вызвали сильную эрозию почв вокруг озера. Верхний слой почвы попадает в озеро, делая прозрачную прежде воду мутной. Цихлиды, столь чуткие к внешнему облику партнера, уже не могут различить необходимые признаки; дело заканчивается тем, что самки спариваются с самцами других близкородственных видов. Нарушается репродуктивная изоляция, которая и заставляла этих рыб принимать сотни самых разных форм.

Всего за 30 лет илистая муть и нильский окунь уничтожили половину всех видов цихлид в озере Виктория. Похоже, что человек, едва познакомившись с взрывным видообразованием, сразу же положит ему конец.

## БОРЬБА С ПРОСТУДАМИ И ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР

В XX в. концепция естественного отбора прошла большой путь. В 1900 г. многие ученые сомневались — не столько, может быть, в реальности естественного отбора, сколько в его значении. К 2000 г. ученые получили возможность наблюдать, как есте-

ственный отбор меняет жизнь и формирует новые виды. Мало того, ученые обнаружили, что естественный отбор действует в самых неожиданных местах. Везде, где имеются три основных условия, сформулированные Дарвиным, — размножение, изменчивость и репродуктивные преимущества через конкуренцию, — можно почувствовать действие естественного отбора.

К примеру, наше тело борется с болезнями при помощи иммунной версии естественного отбора. Когда какой-нибудь вирус или другой паразит проникает внутрь организма, наша иммунная система пытается организовать атаку на него. Но чтобы отбиться от оккупантов, иммунная система должна сначала распознать противника. В противном случае она будет нападать на все подряд, включая и клетки собственного тела. Для точной настройки иммунная система использует эволюционные возможности.

При попадании в организм любой посторонней субстанции первыми ее встречают особые иммунные клетки — В-лимфоциты. Эти клетки снабжены рецепторами, которые позволяют им улавливать инородные вещества — к примеру, токсины, вырабатываемые бактериями, или фрагменты белковой оболочки вируса. Когда В-лимфоцит захватывает эти вещества (их называют антигенами), иммунная система получает сигнал и начинает производить миллионы новых клеток.

Новые клетки начинают вырабатывать антитела — свободноплавающие версии того самого рецептора, который первым уловил антиген. Антитела курсируют по всему телу и, встретив свой антиген, захватывают его. Одним концом они удерживают добычу, другим — расправляются с ней. Антитела способны нейтрализовать токсин, просверлить отверстие в оболочке бактерии или привлечь к своей добыче внимание лейкоцитов — клеток-убийц иммунной системы, — которые поглощают паразита.

В-лимфоциты создают особые антитела для каждого из миллиардов возможных антигенов. В качестве антигена может вы-



ступать что угодно, продукт жизнедеятельности любого паразита — от вирусов и одноклеточных грибков до червей-анкилостом. Точность соответствия антител антигену гарантирует, что иммунная система будет правильно распознавать и уничтожать пришельцев, не трогая при этом клеток собственного тела. Но в нашей ДНК нет инструкции по структуре антител для каждого антигена, с которым могут столкнуться наши В-лимфоциты. Антигенов миллиарды, а в человеческом геноме всего лишь около 25 000 генов. Наша иммунная система использует другой, гораздо более эффективный способ создавать антитела: В-лейкоциты эволюционируют.

Эволюция начинается в тот самый момент, когда В-лимфоциты формируются в глубине нашего костного мозга. В процессе деления клеток гены, отвечающие за структуру рецепторов, стремительно мутируют, создавая миллиарды рецепторов всевозможных случайных форм. Это первый шаг эволюционного процесса: создание вариантов.

Молодые В-лимфоциты выбираются из костного мозга в лимфатические узлы, где скапливаются антигены. Большинство В-лимфоцитов не могут сцепиться с антигеном, но иногда встречаются исключения: среди миллиардов версий может случайно оказаться рецептор, способный уловить именно этот антиген. Совпадение не обязательно должно быть точным; В-лимфоцит, сумевший захватить хоть что-то, получает стимул бешено делиться. Этот момент нетрудно заметить: когда удачный В-лимфоцит начинает размножаться, лимфатический узел распухает.

Некоторые из потомков удачливого лимфоцита сразу же приступают к выработке антител той же структуры, что рецептор, захвативший антиген. Но остальные продолжают делиться, не производя антител. При делении эти В-лимфоциты мутируют в миллион с лишним раз быстрее, чем обычные клетки человеческого тела. При этом мутациям подвержены только гены, отве-

чающие за строение рецепторов антигенов — и, соответственно, антител. Чтобы выжить, В-лимфоцит должен сцепиться с антигеном. Если ему это не удастся, он погибает. Если удастся, снова делится и мутирует. Мутации идут цикл за циклом, В-лимфоциты конкурируют между собой и постепенно получают рецепторы, все более точно соответствующие структуре антигена. Менее адаптированные клетки не могут зацепить антиген и погибают. Всего за несколько дней такой эволюционный процесс может поднять способность В-лимфоцитов захватывать определенный антиген в 10–50 раз.

Представьте, что было бы, если бы Пейли знал об антителах, настолько хорошо приспособленных к борьбе с определенными болезнями. Он наверняка сказал бы, что антитела — дело рук творца, что клетка, так здорово придуманная и идеально подогнанная к своему антигену, не могла возникнуть сама по себе. Тем не менее каждый раз, когда мы болеем, наш организм доказывает обратное.

## ЭВОЛЮЦИЯ В КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Действие естественного отбора можно увидеть не только в нашем собственном теле, но и в компьютере. Программа жизни, какой мы ее знаем, записана на единственном языке — языке ДНК и РНК. Но некоторые ученые создают в компьютерах — без всякого участия биохимии — то, что сами они называют жизненными или биологическими формами. Подобно настоящей, основанной на ДНК жизни они способны самостоятельно развиваться. Пока критики задаются вопросом о том, насколько живыми можно считать эти странные создания, они, несмотря ни на что, демонстрируют всем желающим, как мутации и естественный отбор превращают случайность в упорядоченную сложность. Мало того, они показывают, что естественный отбор может создавать новые виды технологии.

Одна из самых сложных форм искусственной жизни «обитает» в компьютерах Калифорнийского технологического института. Кристоф Адами, Чарльз Оффия и другие ученые создали там «заповедник» под названием Avida (A от слова artificial — искусственный, и vida — «жизнь» по-испански). Организмы, живущие в заповеднике, представляют собой компьютерные программы, т.е. наборы команд. На протяжении всей жизни организма эти команды выполняются одна за другой, а по достижении конца указатель команд автоматически возвращается к началу программы, и все повторяется.

Программа цифрового организма может создавать собственные копии, которые становятся самостоятельными организмами. Каждый организм размножается до тех пор, пока в заповеднике есть свободное место. Позволяя цифровым организмам мутировать при размножении, Адами может заставить их эволюционировать. Мутации представляют собой случайные изменения в программе. Иногда одна команда спонтанно заменяется другой; иногда при попытке самокопирования происходит ошибка и вместо одной строки в дочерней программе появляется другая; иногда в программу случайно добавляется лишняя команда или, наоборот, одна из команд пропадает. Мы помним, что настоящие мутации обычно вредны для биологических организмов; точно так же случайные программные изменения в цифровых организмах Avida чаще всего порождают ошибку, замедляют работу программы или просто убивают ее. Но иногда в результате мутации цифровой организм начинает размножаться быстрее.

Адами ставит в своем заповеднике эксперименты, имитирующие эволюцию биологических организмов. В одном из первых экспериментов он создал цифровой организм, способный к размножению, но несущий в себе несколько бесполезных (и безвредных) команд. Эта программа стала родоначальником миллионов версий, которые в результате мутаций постепенно разделились на несколько «штаммов». Через несколько тысяч поколений

некоторые штаммы стали более успешными, чем другие, и получили гораздо большее распространение. В основе всех успешных цифровых организмов лежала короткая программа. Во всех случаях мутации постепенно убрали из текста программы все лишнее и сократили до простейшего варианта, способного к размножению, — примерно до одиннадцати строк.

В данном эксперименте эволюция ведет цифровые организмы к максимальной простоте, потому что они живут в простой среде. В дальнейших экспериментах Адами попытался сделать мир Avida более похожим на реальный мир; теперь его цифровые организмы должны питаться. Пищей в компьютерном мире служат цифры — цифровые организмы поглощают бесконечные цепочки нулей и единиц, переваривают их и превращают в новые формы. Точно так же, как бактерия поедает сахар и превращает его в необходимые для жизни белки, правильно построенный цифровой организм считывает числа, которыми снабжает его Адами, и перерабатывает их в другие формы.

В природе эволюция поддерживает организмы, способные превращать пищу в белки, при помощи которых организм может более успешно размножаться. Адами создал в Avida аналогичную систему поощрения цифровых организмов. Он составил для своих организмов список задач, которые те должны выполнить, — к примеру, считать число и преобразовать его в обратное, так что 10101 превратится в 01010. Если организм развивает у себя способность делать это, Адами поощряет его, увеличивая скорость выполнения его программы. Если программа выполняется быстрее, размножаться организм тоже может быстрее. Вознаграждение за выполнение более сложных операций, естественно, выше, чем за выполнение простых. Такая система вознаграждения радикально изменила направление эволюции в цифровом мире. Теперь здешние программы не превращаются в простейшие вирусоподобные организмы, а эволюционируют в сложные системы обработки данных.

В результате в заповеднике Avida возникают новые программы, не похожие ни на что написанное человеком. Непривычная структура этих программ привлекла внимание компании Microsoft, которая взяла на себя финансирование некоторых исследований Адами. Не секрет, что наша ДНК в некоторых отношениях похожа на необычную компьютерную программу, но эта программа способна без сбоев управлять человеческим телом (а в нем порядка триллиона клеток) в течение 70 лет. Похоже, что процедуры обработки информации, возникающие в процессе эволюции, более устойчивы, чем созданные человеком. В Microsoft хотели понять, удастся ли когда-нибудь, вместо того чтобы писать программы, «выращивать» их при помощи эволюционных процессов. Программы, которые сегодня развиваются в «заповеднике» Avida, относятся по сложности с электронными таблицами примерно так, как бактерия — с синим китом. Тем не менее эволюция создала синих китов, и можно себе представить, что в искусственном цифровом мире она сможет когда-нибудь создать и электронные таблицы. Тогда задачей человека будет так расположить эволюционные холмы и долины цифрового мира, чтобы электронные таблицы стали максимально пригодными.

Avida — продукт нарождающейся науки, которая получила название эволюционной кибернетики. Ее приверженцы делают одно открытие за другим. Так, выяснилось, что естественный отбор способен формировать не только программное обеспечение (software), но и электронные системы (hardware). Можно поставить перед компьютером задачу: разработать несколько тысяч различных проектов некоего устройства, а затем испытать их при помощи моделирования. Варианты, которые проявят себя при испытаниях наилучшим образом, следует сохранить, а затем, внося в них случайные небольшие изменения, получить следующее поколение схем. В принципе, такой формулировки достаточно, чтобы компьютер разработал и выдал на-гора несколько необычных изобретений.

К примеру, в 1995 г. инженер Джон Коуза воспользовался методами эволюционной кибернетики для разработки низкочастотного фильтра — прибора, способного заглушить все звуки выше определенной частоты. В качестве предельной Коуза выбрал частоту 2000 циклов в секунду. После десяти поколений компьютер выдал схему, которая приглушала все частоты выше 500 Гц, но полностью исключала только частоты выше 10 000 Гц. После сорок девятого поколения он создал схему, у которой коэффициент пропускания резко падал на 2000 Гц. Компьютер придумал схему лестничного типа из индуктивностей и емкостей с семью «ступеньками». Точно такое же устройство изобрел в 1917 г. Джордж Кемпбелл из AT&T. Компьютер без всяких подсказок со стороны Коузы нарушил патент.

После этого Коуза с коллегами разработали подобным образом и другие известные человечеству приборы: термометры, усилители с дополнительными низко- и высокочастотными головками, системы управления роботами и десятки других устройств, многие из которых повторили достижения великих изобретателей. Недалеко то время, предсказывают ученые, когда эволюционная кибернетика начнет создавать разработки, обладающие патентной новизной.

В настоящее время эволюция такого рода ограничена внутрикомпьютерным пространством, а существование ее полностью зависит от людей — программистов и инженеров. Но не исключено, что всего через несколько десятилетий автономные роботы смогут самостоятельно эволюционировать, придавая себе невиданные, невообразимые формы, которые никогда не смог бы придумать человек. В знак близких перемен два инженера из Университета Брандайса в Массачусетсе, Ход Липсон и Джордан Поллак, объявили в августе 2000 г. о том, что они дали компьютеру задание разработать при помощи эволюции шагающего робота.

Компьютер Липсона и Поллака разработал 200 проектов такого робота, каждый из них «с нуля». При помощи модели-

рующей программы Липсон и Поллак определили, как быстро каждый из этих роботов сможет передвигаться по полу, заменили слабо приспособленных роботов более приспособленными и всех оставшихся роботов подвергли мутации. Через несколько сотен поколений компьютер получил задание изготовить несколько самых успешных роботов из литой пластмассы. Эти роботы, разработанные при помощи эволюционных процессов, передвигаются как гусеницы-землемеры, крабы и другие животные, но внешне не похожи ни на каких реальных животных (и на животноподобных роботов, созданных человеком).

Зарождение искусственной эволюции — это триумф, которого Дарвин даже вообразить не мог. Четыре миллиарда лет назад на Земле появилась новая форма материи: субстанция, способная хранить информацию и воспроизводить себя, а также выживать при постепенном изменении этой информации. Мы, люди, тоже произошли от этой изменчивой субстанции, но теперь мы, возможно, научимся использовать ее законы для создания новых форм, полупроводников и пластмасс, бинарных потоков энергии.





## ЧАСТЬ II

### **Созидание и разрушение**



## В ПОИСКАХ КОРНЕЙ ДРЕВА ЖИЗНИ

*От зарождения жизни до эры микробов*

Естественный отбор не ограничивается рыбками гуппи на Тринидаде или вьюрками на Галапагосских островах. Он касается всех без исключения видов всюду на Земле; мало того, он действует с того самого момента, когда на планете впервые зародилась жизнь. Древнейшие следы жизни ученые относят ко времени, отстоящему от сегодняшнего дня на 3,85 млрд лет, и палеонтологическая летопись — всевозможные ископаемые останки — рассказывает нам, как в последующие эпохи на планете появлялись новые формы жизни — эукариоты, животные и растения, рыбы, рептилии и млекопитающие. Поколение за поколением эволюция трансформировала ранние организмы во всевозможные новые формы, пришедшие следом.

Дарвин не склонен был рассуждать о том, как именно происходили когда-то эти великие превращения. Ему вполне достаточно было загадок современного естественного отбора, тем более что механизм наследственности был ему, как и другим тогдашним ученым, совершенно неизвестен. Но сегодня появляется множество новых свидетельств — в форме расшифрованных геномных последовательностей, вновь обнаруженных останков и древних следов химической активности Земли, — которые по-

зволяют ученым подступиться к разгадке великой тайны эволюции жизни. При этом современные эволюционные биологи вырываются за пределы синтетической теории эволюции и обнаруживают, что царство эволюции более причудливо и удивительно, чем могли предположить предыдущие поколения.

### ДРЕВО ЖИЗНИ

Историю жизни на Земле невозможно отмотать назад по прямой линии. Как и предполагал Дарвин, за миллиарды лет она приобрела скорее вид дерева, поскольку от уже существующих ветвей-видов постоянно берут начало новые и ветвлению нет конца. Большинство ветвей уже «обрезаны» — соответствующие виды вымерли, но не раньше, чем дали начало жизни в том виде, в каком мы видим ее сегодня вокруг себя.

Уже не один десяток лет ученые раз за разом рисуют и перерисовывают древо жизни. Сначала они могли судить о видах только по их анатомии — сравнивать черепные швы или форму матки. Но этот метод оказался бесполезным, когда ученые захотели отступить на шаг и взглянуть на жизнь немного со стороны — на жизнь в самом широком смысле слова. Можно сравнивать листья вяза с листьями клена или сосны, но у человека нет листьев, и анатомическое сравнение становится гораздо более проблематичным. К счастью, и вязы, и люди построены на основе ДНК. При помощи секвенирования кусочков генетического материала сотен различных видов, от лягушек до дрожжей и цианобактерий, ученым удалось за последние 25 лет определить основную структуру древа жизни.

Это не законченная картина, а научная гипотеза. Она предполагает простейшую интерпретацию генетических последовательностей, обнаруженных учеными, и путей, по которым шли мутации генов. В будущем, по мере открытия новых видов и секвенирования новых генов, нам, возможно, придется менять

структуру каких-то частей нашего условного дерева. Сегодня ученые могут сравнить между собой целые геномы сотен самых разных видов.

Странная штука это дерево, если вдуматься. В конце XIX в. эволюционные биологи рисовали его в виде могучего дуба, ветви которого отходят от главного ствола. Простейшие организмы, такие как бактерии, ответвлялись у основания, а человечество размещалось на самой верхушке как венец эволюции. Но теперь ученые видят жизнь не как единый восходящий ствол с отдельными ветвями, а как густые беспорядочные заросли.

У самых корней древо жизни разделяется на три основных ствола. Наша собственная ветвь — эукариоты; к ней принадлежат растения, грибы и животные, а также одноклеточные простейшие, такие как амёбы, обитающие в лесной подстилке и в океанских водах, или паразиты, вызывающие малярию, дизентерию и другие заболевания. У всех эукариот очень характерные клетки. Большая часть ДНК в них заключена в ядре; кроме того, в их клетках имеется множество других органоидов, где, например, строятся новые белки и вырабатывается энергия.

Когда-то биологи думали, что все виды, которые не являются эукариотами, принадлежат ко второй группе, известной как прокариоты. В конце концов, они все похожи. Молекулы ДНК в них, к примеру, свободно плавают внутри клеточной оболочки, а не скручены и упакованы в ядро. Однако гены говорят о другом. Бактерии образуют собственную ветвь, в то время как на древе жизни существует третья основная ветвь, более близкая к нам, чем к бактериям. Впервые эти организмы обнаружил в 1970 г. Карл Вёзе, биолог из Иллинойского университета. Может быть, внешне эти существа и похожи на бактерии, но клеточная механика у них работает совершенно иначе. Вёзе назвал эти микробы археями, что означает «первые».

Новые представления о древе жизни принесли ученым немало сюрпризов. Одним из таких сюрпризов стала информация

о том, какое крохотное место в истории эволюции занимаем мы, многоклеточные эукариоты. Почти невозможно провести грань между нами и, скажем, вирусами. При этом разница между бактериями, археями и одноклеточными эукариотами поразительна. Микробиологи непрерывно вытаскивают на свет божий новые виды, новые семейства и даже новые царства микробов, колонизировавших глубочайшие слои земной коры, кипящие воды горячих источников и пропитанную кислотой теплую среду человеческих внутренностей. Большую часть видового разнообразия жизни, не говоря уже о физической массе живых организмов, обеспечивают микробы.

Основание древа жизни — последний общий предок всей сегодняшней земной жизни. Несомненно, все живущие на Земле виды имеют между собой немало общего. К примеру, все они хранят свою генетическую информацию в молекулах ДНК и строят белки по этой инструкции при помощи РНК. Простейшее объяснение этих универсальных свойств заключается в том, что все виды унаследовали их от некоего общего предка. Из этого, вообще говоря, следует, что пресловутый общий предок должен был быть устроен довольно сложно. Сам он тоже был не первым в цепочке жизни и, в свою очередь, происходил от длинного ряда предков. Можно предположить, что когда-то существовали и другие ветви жизни, которые ответвлялись от общего ствола еще раньше, но сегодня мы их не видим вокруг себя, поскольку все эти ветви вымерли. А исток, общий исток всей жизни, лежит еще глубже.

## В ПОИСКАХ НАЧАЛ ЖИЗНИ

Мы уже поняли, что основание воображаемого древа жизни теряется в глуби времен, и ученым трудно разглядеть что-то наверняка в этой туманной дали. Тем не менее древо жизни способно помочь ученым, которые пытаются реконструировать самое пер-

вое из величайших биологических превращений: переход от нежизни к жизни. Как и геологическая летопись, она предлагает человеку как подсказки, так и ограничения. Любая гипотеза происхождения жизни должна объяснять дошедшие до нас факты.

Несмотря на то, что ученые пока еще очень далеки от исчерпывающего понимания ранней эволюции жизни, они могут изучать первые шаги жизни на Земле точно так же, как изучают более поздние трансформации. Как мы с вами увидим в главе 6, новые группы животных не возникают мгновенно, одним гигантским скачком; скорее наоборот, животные постепенно, одну за другой, обретают новые черты, пока наконец не сформируются окончательные формы. Так и здесь. Ученым удалось собрать убедительные доказательства того, что жизнь могла развиваться до микроба на базе ДНК через целую серию последовательных шагов.

Первый шаг должен был состоять в том, чтобы собрать вместе все необходимые сырьевые ресурсы. Многие из них могли появиться из космоса. Астрономы обнаружили ряд базовых ингредиентов жизни в метеоритах, кометах и межпланетной пыли. Падая на Землю, эти объекты вполне могли засеять нашу планету компонентами важнейших структур клетки, такими как фосфатная основа структуры ДНК, азотистые основания (будущие носители информации) и аминокислоты для строительства белков.

Вступая между собой в химические реакции, эти вещества могли произвести на свет более жизнеспособные формы. Вообще, химические реакции протекают лучше всего, когда действовавшие в них вещества перемешаны между собой — так как их молекулы чаще сталкиваются друг с другом. Тогда, во времена молодости Земли, предвестники биологической материи, возможно, концентрировались в дождевых каплях или океанских брызгах. Некоторые ученые полагают, что жизнь зародилась на срединных океанских хребтах, где горячая магма из земной мантии изливается в море и контактирует с насыщенной химическими веществами морской водой. Они указывают на то,

что ветви жизни, отходящие от ствола ближе всего к основанию, принадлежат бактериям и археям, обитающим в исключительных условиях, в кипящей воде или кислоте. Они вполне могут быть реликтами первых экосистем Земли.

Ученые предполагают, что из добиологических молекул могли сложиться самоподдерживающиеся циклы химических реакций. Группа молекул захватывала молекулы из окружающей среды и формировала из них копии самих себя — новые комплекты молекул, способные независимо поддерживать циклические реакции. Возможно, поначалу на Земле существовало и действовало множество разных химических циклов. Если в них использовались одни и те же стройматериалы, циклы начинали конкурировать между собой. При этом самый эффективный цикл опережал остальные, менее эффективные. Иными словами, биологической эволюции предшествовала эволюция химическая.

В конце концов из этих молекул возникли ДНК, РНК и белки. Ученые не один десяток лет спорят о том, какая из этих молекул возникла раньше. ДНК способна хранить информацию о строении тела и передавать ее от поколения к поколению, но сама она беспомощна без РНК и белков. К примеру, она не может, подобно ферментам, соединять молекулы в цепочку или резать их на части. У белков противоположный недостаток: они совершают работу, необходимую для поддержания жизни клетки, но им очень трудно передавать информацию от одного поколения другому. Только РНК способна выступать в обеих ролях — и переносить генетический код, и проделывать биохимическую работу. Эта двойственность делает РНК ведущим кандидатом на звание первой молекулы жизни.

В 1960-х гг., когда ученые начали разбираться в функциях, которые РНК исполняет в клетке, мало кто думал, что именно эта молекула может оказаться первичным материалом жизни. Казалось бы, доставка информации от генов к «фабрикам» по производству белков — всего лишь скромное посредничество.



Но в 1982 г. Томас Чек, работавший тогда в Университете Колорадо, открыл, что на самом деле РНК — своего рода молекулярный гибрид. С одной стороны, она способна нести информацию в своем коде. С другой стороны, Чек обнаружил, что она, кроме того, может действовать как фермент, т. е. способна воздействовать на другие молекулы и изменять их. К примеру, РНК дублирует одну из задач ферментов — исключать лишние бесполезные последовательности после копирования кода ДНК на РНК. Чек же обнаружил, что некоторые варианты РНК способны замыкаться сами на себя и редактировать собственный код без помощи каких бы то ни было ферментов.

В конце 1980-х биологи поняли, что благодаря приспособляемости двуликой РНК можно заставить ее эволюционировать в лаборатории. Одну из самых успешных исследовательских команд в то время возглавлял биолог Джеральд Джойс из Исследовательского института им. Скриппса в Ла-Холла (штат Калифорния). Для начала Джойс взял молекулу, с которой работал Чек, и воспроизвел ее в десяти триллионах вариантов, каждый с чуть иной структурой. Затем он добавил в пробирки с вариантами ДНК и проверил, смогут ли какие-то из вариантов РНК разделить молекулу ДНК на части. Вообще, РНК Чека была приспособлена для нарезки РНК, а не ДНК, поэтому никого не удивил тот факт, что ни один из вариантов РНК не смог как следует справиться с задачей. Лишь один вариант из миллиона сумел схватить молекулу ДНК и кое-как отрезать от нее кусочек. Но даже этим успешным молекулам потребовался целый час на несложную операцию.

Джойс взял эти нерасторопные молекулы РНК и воспроизвел каждую в миллионе новых копий. Естественно, в новом поколении мутаций тоже хватало, и некоторым из новых вариантов удалось разрезать ДНК быстрее, чем молекулам предыдущего поколения. Джойс снова отобрал самые успешные молекулы и снова размножил их. Повторив всю процедуру 27 раз (на это

у него ушло два года), он получил РНК, способную разрезать ДНК всего за пять минут. Вообще говоря, в этот момент способность самых удачных молекул резать ДНК равнялась естественной способности РНК резать РНК.

Сейчас Джойс и другие биологи могут заставить РНК эволюционировать гораздо быстрее, чем в тех первых экспериментах. Так, на 27 поколений РНК уйдет не два года, а три часа. Ученые обнаружили, что в надлежащей среде эволюция может заставить РНК делать вещи, которые она никогда не делает в природе (по крайней мере об этом ничего не известно). Полученная в результате лабораторной эволюции РНК может резать не только ДНК, но и многие другие молекулы. Она может работать как с отдельными атомами, так и с целыми клетками. Она может объединить две молекулы, создавая таким образом третью. Если эволюционный процесс будет достаточно долгим, она сможет даже соединять между собой аминокислоты — а это решающий шаг к созданию белков. Она сможет присоединять основания к своему фосфатному остову. Другими словами, в результате эволюции РНК может «научиться» производить многие операции, которые ей пришлось бы выполнять, если бы в клетках присутствовала только РНК, а ДНК и белков не было.

РНК настолько легко эволюционирует, что в настоящее время биотехнологические компании пытаются превратить ее в антикоагулянты и другие лекарственные средства. Работы Джойса и его коллег позволяют предположить, что во времена молодости Земли РНК могла выполнять функции и ДНК, и белков. Многие биологи теперь говорят о самой ранней стадии жизни как о «мире РНК».

Следующими после возникновения РНК могли появиться белки. В какой-то момент истории «мира РНК» новые формы РНК могли развить в себе способность соединять аминокислоты. Созданные ими белки могли оказаться полезными для РНК — скажем, они помогали молекуле РНК воспроизводиться быстрее,

чем она могла это делать самостоятельно. Позже одноцепочечная РНК могла сконструировать и своего партнера — двойную спираль ДНК. ДНК, менее склонная к мутациям, нежели РНК, оказалась более надежной системой для хранения генетической информации. После появления ДНК и белков они взяли на себя многие функции РНК. Сегодня РНК по-прежнему жизненно важная молекула, но от ее бывшего величия сохранились лишь жалкие остатки, например способность корректировать саму себя.

Появление белков и затем ДНК ознаменовало собой рождение жизни — такой, какую мы знаем сегодня. А для мира РНК наступил Армагеддон.

## МАНГРОВЫЕ ЗАРОСЛИ ЖИЗНИ

Синтетическую теорию эволюции создавали по большей части зоологи и ботаники, обладавшие глубокими знаниями о животных и растениях. Как правило, для передачи своих генов растения и животные спариваются и производят на свет потомство, которое получает некую комбинацию родительской ДНК. В процессе эволюции среди них возникают мутации, самые удачные из которых затем расходятся с каждым поколением все шире, как круги по воде. Но животные и растения появились на Земле относительно недавно, в истории жизни они занимают достаточно скромное место. Эволюция была — и продолжает быть — преимущественно историей о микробах. В вопросе передачи и воспроизводства генов бактерии и другие одноклеточные организмы подчиняются иным законам, нежели мы с вами. Постепенно биологи-эволюционисты выясняют, насколько они не похожи на нас, и раз за разом перерисовывают отдельные участки древа жизни.

Бактерии и другие микроорганизмы могут размножаться так же, как это делают клетки нашего тела: они делятся надвое, и каждая копия получает собственный комплект ДНК. При оши-

бочном копировании какого-нибудь гена один из двух «отпрысков» становится мутантом, и в дальнейшем все потомки этой особи тоже получают в комплекте мутировавший ген. Но, помимо этого, микроорганизмы могут получать новые гены и после рождения.

У многих видов бактерий часть генов хранится не только в единственной кольцевой молекуле ДНК, но и в дополнительных мелких ДНК-петлях или кольцах, называемых плазмидами. Бактерия может передавать эти плазмиды другим, как одного с ней, так и совершенно другого вида. Вирусы также способны переносить ДНК между бактериями; они получают генетический материал от одного хозяина и вводят его в следующего. Иногда случается даже, что несколько генов – участок собственной ДНК бактерии – отделяется от хромосомы и направляется в другой микроорганизм. А когда бактерия погибает и ее кольцевая ДНК выходит из разрушенной клеточной оболочки, бывает, что другие бактерии собирают бесхозные теперь гены и включают их в свой геном.

Микробиологи узнали о том, что бактерии умеют обмениваться генами, еще в 1950-х гг., но тогда никто и представить себе не мог, какое значение подобные обмены имели в истории жизни на Земле. Кроме того, очень сложно было судить о частоте этих событий. Может быть, обмены происходят так редко, что практически не оставляют после себя следов. Только в конце 1990-х гг., когда появилась возможность полностью «прочитывать» геномы различных микроорганизмов, ученые смогли наконец прояснить этот вопрос. Результат оказался поразительным. Выяснилось, что значительная часть генов многих бактерий принадлежала первоначально другим, отдаленно родственным видам. К примеру, *Escherichia coli* за последние 100 млн лет 230 раз подхватывала ДНК от других микробов.

Свидетельства подобной передачи генов можно обнаружить даже на самых древних ветвях жизненного древа. *Archeoglobus*

*fulgidus* — архея, обитающая на морском дне в тех местах, где есть выходы нефти. Она обладает всеми необходимыми признаками археи — особенно характерны молекулы, из которых она строит клеточную стенку, а также способ копирования информации с генов и строительства белков. Но вот питается она нефтью, причем пользуется для разложения нефти ферментами, которые можно обнаружить только у бактерий, у других архей они не встречаются. Наши собственные гены тоже имеют смешанное происхождение. Так, гены, отвечающие за обработку информации — в частности, за копирование ДНК, — находятся в близком родстве с генами архей. А многие гены, имеющие отношение к домашнему хозяйству — иными словами, к выработке белков, которые участвуют в переработке пищи и удалении отходов, — больше похожи на гены бактерий. Открытие этих чужеродных генов говорит о том, что ранняя эволюция жизни была куда более сложной, чем считалось, — и куда более интересной.

Эти результаты вдохновили Карла Вёзе — микробиолога, который первым заговорил о трех основных ветвях жизни, — предложить новый взгляд на общего предка всей жизни на Земле. В момент перехода из мира РНК в мир ДНК жизнь все еще плохо умела воспроизводить себя. Еще не существовало ферментов, способных проверять качество копирования и корректировать ошибки, не существовало и других механизмов, которые обеспечивают точное копирование ДНК нашими клетками. Без подобных предосторожностей мутации происходили на каждом шагу. Только самые простые белки могли просуществовать хотя бы несколько поколений и не исчезнуть в результате мутаций; сложные белки, производство которых проходило по сложной и длинной генетической инструкции, были очень уязвимы.

Система воспроизводства была так ненадежна, что тогдашние гены имели больше шансов перейти от одного микроорганизма к другому, чем передаться по наследству следующему поколению. Древние микробы были очень просты, поэтому

блуждающие гены могли с легкостью встраиваться в структуру своего нового дома и сразу же браться за дело — разлагать пищу, выбрасывать отходы и выполнять другие необходимые домашние дела. Понятно, что паразитические гены тоже могли проникать в живые клетки; они заставляли гены хозяина производить свои копии, которые затем покидали клетку и заражали другие микроорганизмы.

Вёзе утверждает, что во времена молодости Земли не было и не могло быть никакой генеалогии. Жизнь еще не разделилась на отдельные наследственные линии, и потому нельзя сказать, что общим предком всех живых существ на Земле было существо какого-то определенного вида. Наш общий предок — все микроорганизмы, обитавшие в то время на Земле, некая изменчивая матрица генов, покрывавшая всю планету.

Но наступило время, когда блуждающим генам стало труднее устраиваться в новом хозяине как дома. Начали появляться новые, более сложные генные системы, способные лучше выполнять свои обязанности. Для сравнения представьте: сезонный рабочий, умеющий собирать фрукты, ворошить сено или кидать навоз, появляется на современной ферме, где работники привыкли управлять сложным оборудованием при помощи компьютеров. Он не сможет вписаться в систему. Чем более специализированными становились генные системы, тем точнее они воспроизводили ДНК. Теперь гены можно было передавать по наследству, от поколения к поколению, формируя очевидные наследственные линии. Из мутного пруда ранней эволюции вышли три базовые ветви жизни: эукариоты, археи и бактерии. Они разделились и полностью обособились, но каждая из них несла в себе набор самых разных генов — как напоминание о смешанном происхождении.

Если Вёзе окажется прав, древо жизни снова придется перерисовывать — и тогда оно будет напоминать уже не куст, а мангровые заросли, где множество корней в основании будет сим-

волизовать смешение генов на раннем этапе развития жизни. Постепенно из путаницы корней формируются три мощных ствола, но их ветви многократно переплетаются друг с другом.

## ЭВОЛЮЦИЯ И ВРЕМЯ

Скорее всего, жизни потребовалось не слишком много времени, чтобы развиться от первых организмов, содержавших минимум генов, до настоящих микроорганизмов, таких как цианобактерии, в которых уже более 3000 генов. Пока у ученых мало данных о ранней хронологии жизни, но известные факты позволяют предположить, что вначале эволюция шла быстрыми темпами. Окаменелости из Австралии, к примеру, показывают, что 3,5 млрд лет назад на Земле определенно уже жили микроорганизмы, похожие на сегодняшние цианобактерии. Молекулярные следы из Гренландии свидетельствуют, что 3,85 млрд лет назад, т. е. на 350 млн лет раньше, на нашей планете уже была какая-то жизнь. Ученые не могут точно сказать, какого рода жизнь оставила в Гренландии свои следы, но ясно, что эта жизнь уже начала менять химический состав океанов и атмосферы на глобальном уровне. Возможно, это были микроорганизмы, подобные цианобактериям, возможно, всего лишь организмы мира РНК, — а может быть, и что-то промежуточное.

Теперь сравним то, что нам известно об истории жизни, с тем, что мы знаем об истории нашей планеты. Земле 4,55 млрд лет, и первые несколько сотен миллионов лет она то и дело плавилась целиком в результате страшных столкновений. Любая жизнь, возникшая в то яростное время, наверняка погибла бы. Но даже после того, как планета достигла своего сегодняшнего размера и начали формироваться океаны, с небес каждые несколько миллионов лет продолжали падать громадные камни по миллиону тонн. Если в моменты таких катастроф на Земле существовала жизнь, она могла уцелеть разве что в каких-то недоступных убе-

жищах — к примеру, в полостях подводных вулканов. Но могла и не уцелеть. Последний ураган титанических столкновений произошел 3,9 млрд лет назад; 50 млн лет спустя жизнь на Земле уже играла заметную роль, а еще через 350 млн лет на планете определенно изобиливали сложные микроорганизмы.

Как могла столь сложная генетическая система развиваться так быстро? Биологи, создававшие синтетическую теорию эволюции, рассматривали в основном небольшие генетические изменения — к примеру, замену А на Г в определенном месте определенного гена — и их вклад в крупные эволюционные перемены. Но оказывается, у эволюции есть еще одна важная составляющая: случайная дупликация целых генов.

Дупликация генов происходит примерно с той же частотой, что и мутации с заменой единственного основания в составе гена. Какая судьба ожидает новую копию гена, неизвестно. Может быть, она будет производить дополнительно тот же белок, который производил первоначальный ген, и тем самым увеличит приспособленность организма. Скажем, если этот белок играет важную роль в переработке пищи, то большее количество его молекул позволит организму питаться более эффективно. В этом случае естественный отбор будет поддерживать существование двух одинаковых генов.

Но второй ген может оказаться и лишним. В этом случае мутация, результатом которой стала вторая копия, никак не повлияет на приспособленность организма — ведь оригинальный ген продолжает делать свою работу. Мутации лишних генов в большинстве случаев просто делают их совершенно бесполезными. В нашей ДНК полно таких генетических призраков, известных как псевдогены. Но иногда мутация так преобразует ген-копию, что тот получает способность производить новые белки, которые, в свою очередь, могут выполнять новые задачи.

Геномы и бактерий, и архей, и эукариот содержат сотни дублированных генов, которые могут быть объединены в семей-



ства — примерно так же, как группируются в семейства биологические виды. В том и другом случае принадлежность к одному семейству означает общее происхождение. Семейства генов — результат множества циклов дубликации генов, восходящей к самым ранним этапам развития жизни. Гены тогда не просто мутировали: они размножались.

## ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕРЕЗ СЛИЯНИЕ

Даже после того как древо жизни разделилось на три основных ствола, эволюции удавалось воссоединять отдаленные ветви. Нам следовало бы поблагодарить ее за это, ведь мы сами — продукт одного из таких союзов. Другие слияния дали жизнь растениям и водорослям. Если бы этого не произошло, на Земле и до сих пор было бы мало пригодного для дыхания кислорода, а мы бы просто не умели им дышать.

Наше дыхание полностью зависит от особых пузырьков в наших клетках, формой напоминающих колбаски, — митохондрий. Почти у всех эукариот есть митохондрии, которые при помощи кислорода и других химических веществ создают топливо для наших клеток. В конце XIX в., когда были открыты митохондрии, ученые были поражены тем, как эти органеллы похожи на бактерии. Некоторые даже заявляли, что митохондрии и есть бактерии, что почему-то все клетки нашего организма поражены кислорододышащими микробами и обеспечивают им убежище в обмен на топливо.

Ученые уже знали, что некоторые бактерии способны жить внутри животных или растений и не вызывать при этом болезней. Во многих случаях они вступают с организмом во взаимовыгодное сотрудничество, известное как симбиоз. Так, бактерии, живущие в коровах, помогают им переваривать жесткие растительные ткани, которыми питаются жвачные; значит, коровы потребляют и некоторых бактерий. Тем не менее одно дело

сказать, что бактерии живут в наших телах, и другое — что они живут внутри наших клеток. Многие ученые сохраняли скептицизм.

Тем временем внутри клеток обнаруживались все новые и новые бактериеподобные объекты. У растений, к примеру, имеется в клетках второй комплект пузырьков, при помощи которых осуществляется фотосинтез. Эти органеллы известны как хлоропласты; они поглощают солнечный свет и используют его энергию для соединения воды и углекислого газа в органическое вещество. Хлоропласты, как и митохондрии, очень похожи на бактерии. Некоторые ученые пришли к выводу, что хлоропласты тоже представляют собой форму симбиотических бактерий, — точнее, что они происходят от цианобактерий — микробов, которые поглощают солнечный свет и обитают в океанах и пресной воде.

До начала 1960-х гг. симбиотическая теория то выходила из моды, то снова становилась популярной. Ученые в большинстве своем сосредоточились на выяснении того, как ДНК в ядрах наших клеток хранит генетическую информацию; симбиотическая теория с ее утверждением о том, что наши клетки образованы более чем из одного организма, представлялась им абсурдной. Но затем ученые обнаружили, что митохондрии и хлоропласты обладают собственными генами. При помощи собственной ДНК они производят собственные белки, а при делении копируют свою ДНК, в точности как бактерии.

И все же в 1960-е у ученых еще не было возможности выяснить, какую в точности ДНК несут в себе митохондрии и хлоропласты. Может быть, сомневались некоторые скептики, их гены сформировались внутри ядра, а затем в какой-то момент эволюция вытащила их наружу и пристроила во внешних структурах. Но в середине 1970-х две команды микробиологов — одна под руководством Карла Вёзе, другая в Университете Дальхузи в Новой Шотландии (Канада) под руководством Форда Дулитла — показали, что на самом деле это не так. Они исследовали

гены в хлоропластах некоторых видов водорослей и выяснили, что они совсем не похожи на гены в ядре клеток. Оказалось, что ДНК в хлоропластах— это ДНК цианобактерий.

Гены митохондрии имеют еще более поразительную историю. В конце 1970-х гг. команда Дулиттла доказала, что это тоже бактериальные гены, а в дальнейшем другие ученые определили даже, каким именно бактериям они когда-то принадлежали. В 1998 г. Сив Андерсон из шведского Университета Упсалы с коллегами открыла ближайших, насколько можно судить, родичей митохондрии: это оказалась *Rickettsia prowazekii*, зловередная бактерия, вызывающая тиф.

*Rickettsia* переносится вшами и живет обычно в крысах, но может паразитировать и на человеке. Если люди живут в грязи и тесноте, где вольготно и вшам, и крысам, — в трущобах или военных лагерях, например, — то может вспыхнуть эпидемия тифа. Бактерии, проникая в организм человека через укус вши, пробиваются в клетки хозяина, где начинают питаться и размножаться. Возникает сильная лихорадка и невыносимые боли, иногда болезнь заканчивается смертью.

Тиф смертельно опасен; настолько, что способен изменить ход истории. Так, Наполеон двинул на завоевание России полмиллиона солдат. В 1812 г. они прошагали на восток через Польшу\*. Русская армия отступала, не принимая сражения; будущую столицу Литвы Вильнюс Наполеон взял без единого выстрела. Однако к тому моменту, когда армия вошла в город, 60 000 французских солдат уже умерло от тифа.

Русская армия отступала все дальше, сжигая за собой урожай на полях. Без пищи французы слабели, и эпидемия тифа вспыхивала с новой силой. Наполеон оставлял больных солдат в импровизированных госпиталях и шел дальше. В конце концов он добрался

---

\* Далее дается версия похода Наполеона, обычная в зарубежных учебниках. В ней Бородинское сражение, как правило, игнорируется. — Прим. науч. ред.

до Москвы, но русские заранее опустошили город, а потом и сожгли две трети его. Наполеон понял: надо срочно, до наступления зимы, убираться из России, не то погибнет вся его армия.

Французская армия вынуждена была отступить по той же дороге, по какой пришла в Россию; питались солдаты кониной и талым снегом. В госпиталях, устроенных на пути к Москве, их встречали одни только мертвые тела. Выбора не было — приходилось вновь оставлять больных, и вскоре те тоже умирали. Продвигаясь на запад через Польшу и Пруссию, армия распалась на мелкие отряды, которые пытались спастись самостоятельно. Французы превратились в разносчиков вшей; в деревнях, где они проходили, нередко вспыхивала эпидемия тифа. «Куда бы мы ни приходили, — писал французский солдат, — местные жители дрожали от ужаса и отказывались впускать нас». Домой из русского похода вернулось лишь 30 000 французов. Девятнадцать из двадцати погибли. Наполеон так и не оправился от потерь, которые нанесла ему *Rickettsia*, и его империя вскоре рухнула.

Но теперь выясняется, что в клетках умирающих наполеоновских солдат уже имелись близкие родичи бактерий-убийц.

Вероятно, в какой-то момент в отдаленном прошлом давно вымершие кислорододышащие бактерии дали начало предкам как *Rickettsia*, так и митохондрий. Изначально те и другие были самостоятельными свободноживущими микроорганизмами, получавшими питательные вещества из окружающей среды. Со временем, однако, обе линии перешли к жизни внутри других организмов. *Rickettsia* эволюционировала в опасного паразита, способного без труда погубить хозяина. А вот бактерия, поселившаяся в наших предках, вступила с их клетками в более мирные отношения. Миклош Мюллер из Рокфеллеровского университета предположил, что сначала протомитохондрии держались поблизости от ранних эукариот и питались отходами их жизнедеятельности; в свою очередь, эукариоты, которые

не умели использовать кислород в своем метаболизме, привыкли пользоваться жизненными отходами кислорододышащих протомиохондрий. Со временем два вида слились, и обмен между ними стал происходить внутри клетки.

Синтетическая теория эволюции не предусматривала эволюции через слияние. Это способ изменять виды без постепенного накопления мутаций в их ДНК: просто два вида соединяются в один и получается совершенно новый геном. Но и симбиотическая эволюция, как ни странно это звучит, тоже подчиняется основным Дарвиновым законам. После того как бактерии устроятся на новом месте, естественный отбор продолжает свою работу над их генами. Митохондриальная ДНК может мутировать, и если окажется, что мутация мешает митохондрии выполнять свою работу — вырабатывать энергию для клетки, — она будет отбракована естественным отбором. С другой стороны, если мутация поможет митохондрии лучше выполнять свою задачу и тем самым повысит приспособленность организма, естественный отбор, напротив, будет способствовать распространению нового гена. Вообще, митохондрии потеряли многие гены, которые помогали их предкам выжить во внешнем мире. В клетке хозяина эти гены оказались ненужными, и со временем эволюция от них избавилась.

Первые 3 млрд лет или около того микроорганизмы были единственными хозяевами и обитателями Земли. Это время во все не было скучным с точки зрения эволюции, что бы мы, люди, ни думали об этом, как бы ни тешили свой антропоцентризм. С точки зрения биохимии эра микроорганизмов была временем удивительных перемен, постоянного движения генов, в результате которого были изобретены бесчисленные способы превращения энергии в жизнь. Только после этого могли появиться на свет наши многоклеточные предки — первые животные.

## СЛУЧАЙНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ

### *Изменение и ограничения в эволюции животных*

Из всех различий между нами и нашими амебоподобными предками, жившими миллиард лет назад, самое главное состоит в том, что у нас есть тело. Мы состоим не из одной, а из триллионов клеток. И этот громадный коллектив — не просто скопище идентичных копий, а целый зоопарк, где живут десятки различных типов клеток, объединенные в сотни органов — от селезенки и костей скелета до мозга и ресниц. И самое замечательное то, что любое из человеческих тел строится на основе одной-единственной первоначальной клетки. По мере того как клетка начинает делиться и превращается в зародыш, гены начинают производить белки, которые затем контролируют развитие этого зародыша. Некоторые из белков включают другие гены или, наоборот, блокируют их. Некоторые покидают клетку, где образовались, и распространяются дальше, передавая соседним клеткам какие-то сигналы; получив сигнал, клетка может взять на себя новую функцию или перебраться в другой конец зародыша, чтобы устроить там себе новый дом. Одни начинают бешено делиться, другие совершают самоубийство. К концу этого танца оказывается, что тело уже сформировано.

На Земле существуют миллионы самых разных тел; это и кальмары с их щупальцами, и дикобразы с их полыми иглами, и безротые ленточные черви. Это настоящие чудеса природы; их происхождение — великая загадка. Все животные происходят от общего одноклеточного предка, но ученые пока не могут сказать, почему из этого единственного предка получилось такое множество таких разных существ. Вероятно, ответ лежит как внутри самих животных, так и снаружи — в их генетической истории и одновременно в истории экосистем, в которых они жили.

Ученые лишь недавно начали выяснять, каким образом гены строят тело животного, но результаты уже впечатляют. Большинство животных, включая и нас, используют стандартный набор «инструментов» — строительных генов. В нем имеются инструменты для обозначения координат — перед и зад, правый и левый бок, голова и хвост. Есть и комплекты генов, контролирующие развитие целых органов, таких как глаза или конечности. Вообще, этот инструментарий почти не меняется от вида к виду — ген, отвечающий за рост глаз у мыши, может быть передан мухе и строить вместо этого ее глаза.

Судя по палеонтологической летописи, этот инструментарий сформировался постепенно за миллионы лет, предшествовавшие кембрийскому взрыву. Он дал животным необычайную гибкость в образовании новых форм. При помощи нескольких мелких коррекций — к примеру, изменив время включения гена или те места, где он будет действовать, — можно было создать принципиально новый тип. С другой стороны, как бы сильно ни различались животные, все они подчиняются определенным правилам. Не существует шестиглазых рыб или семиногих лошадей. Похоже, инструментарий перекрывает некоторые пути эволюции.

Кроме того, диверсификацию животных направляла среда, в которой они жили и развивались. Любой новый вид животных должен найти для себя подходящую нишу в экосистеме — только тогда он сможет выжить. Иначе, не успев появиться, он просто

исчезнет. Судьба новоявленных животных всегда непредсказуема и часто зависит от случайностей и слепой удачи. Возьмем, к примеру, сухопутных позвоночных. Все они имеют по четыре конечности с пальцами (или, как змеи, происходят от предков, которые их имели). Но единообразие не означает, что именно такое устройство тела лучше всего подходит для передвижения по суше. Более того, ноги и пальцы развились у рыб за миллионы лет до того, как они покинули водную среду. Лишь позже выяснилось, что они позволяют позвоночным передвигаться по суше. Все великие трансформации животного мира говорят об одном: эволюция может распоряжаться только тем, что уже возникло по ходу развития жизни.

## МОНСТРЫ ЭВОЛЮЦИИ

Стремясь познать законы эволюции животных, биологи создают монстров. Мух с ногами, растущими из головы, мышей с лишними пальцами и лягушек, у которых спинной мозг проходит вдоль брюшка.

Для этого биологам не нужны скальпель и прочие хирургические инструменты. Все, что для этого требуется в каждом случае, — изменить один-единственный ген, «выключить» его, либо изменить время или место производства белка по его инструкции. Эти гены, как выяснили биологи, отвечают за развитие органов животного.

Надо сказать, что попытки создания подобных монстров начались больше ста лет назад. В 1890-х гг. английский биолог по имени Уильям Бейтсон составил каталог всех известных науке наследственных вариаций. Особенно интересовали Бейтсона случаи появления животных, у которых одна из частей тела находилась не на своем месте. Лангуст с усиком на месте глаза. Мотылек с крылышками вместо лапок. Пилильщик с лапками на месте усиков. Среди подобных монстров оказывались даже



люди. Иногда, очень редко, люди рождаются с небольшими ребрышками, растущими из шеи, или с лишней парой сосков на груди.

Каким-то таинственным образом подобные мутации приводили к созданию целых частей тела там, где их никогда не было и не должно было быть. Бейтсон назвал процесс, результатом которого были такие уродливые вариации, «гомеозисом». Первые указания на то, как работает гомеозис, были получены в 1915 г., когда Калвин Бриджес из Колумбийского университета сумел связать результат — уродство — с конкретной мутацией определенного гена. Он обнаружил плодовых мушек-мутантов, у которых была лишняя пара крылышек, и выяснил, что мушки с двумя парами крыльев передавали свой мутантный ген и производили такое же четырехкрылое потомство; с тех пор и по настоящее время потомки тех мух живут в биологических лабораториях.

И только в 1980-е гг. ученые придумали, как выделить и изолировать ген, ответственный за эту мутацию. Выяснилось, что это лишь один из целого семейства родственных генов, которые получили название НОХ генов. Биологи обнаружили, что путем изменения других НОХ генов можно создавать еще более гротескных мушек с ногами на голове или усиками на месте ног.

Изучая подобные мутации, биологи смогли понять, как работают нормальные НОХ гены. Эти гены активируются в самом начале развития зародыша мухи, пока он имеет неопределенную дынеобразную форму. Затем зародыш начинает делиться на сегменты, и хотя все они выглядят одинаково, каждый из них уже имеет свое предназначение — из каждого со временем разовьется определенная часть тела мухи. Работа НОХ генов в том и состоит, чтобы сообщить клеткам каждого сегмента, во что именно им суждено превратиться — станут ли они частью брюшка или ноги, крылышка или усика.

НОХ гены выполняют среди генов роль главного управляющего выключателя. Единичный НОХ ген может запустить цепь

ную реакцию множества других генов, которые затем вместе сформируют определенную часть тела. Если НОХ ген мутирует, он теряет способность отдавать остальным генам правильные команды. В результате такой ошибки из сегмента может вырасти совершенно не та часть тела. В этом и заключался секрет четырехкрылых мушек Калвина Бриджеса.

НОХ гены устроены удивительно целесообразно. Биологи могут определить, в каких клетках мушиной личинки имеются активные НОХ гены, сделав их светящимися. Они впрыскивают в личинку специальные светящиеся белки, способные связываться с белками НОХ генов. Свечение каждого отдельного НОХ гена указывает на вполне определенную группу сегментов. Одни НОХ гены действуют возле головы мухи, другие включаются в сегментах, расположенных ближе к хвосту. Интересно отметить, что сами НОХ гены тоже отражают этот порядок: в хромосоме они выстроены в том же порядке, в каком проявляются в личинке плодовой мушки, головные гены располагаются ближе к началу, хвостовые — ближе к концу.

В 1980-е гг., когда НОХ гены плодовых мушек были только открыты, биологи практически ничего не знали о том, как именно эти гены управляют развитием зародыша. Они просто радовались тому, что могут изучать этот процесс вплотную хотя бы на одном отдельно взятом виде. При этом они полагали, что гены, отвечающие за строительство тела плодовой мушки, специфичны для насекомых и других членистоногих. У других животных нет сегментированного экзоскелета, как у членистоногих, поэтому ученые были уверены: раз их тела так сильно отличаются от тел других животных, то и строить их должны совершенно особенные гены.

Радость новых открытий сменилась шоком, когда НОХ гены начали обнаруживаться и в других животных — в лягушках, мышах и даже людях; в червях-онихофорах, рачках и морских звездах. В каждом случае части НОХ генов оказывались почти

идентичными, независимо от того, о каком животном шла речь. Мало того, они располагались в хромосомах в том же порядке, что у плодовых мушек: от головы к хвосту.

Биологи обнаружили, что во всех этих животных НОХ гены выполняют одну и ту же работу: определяют назначение различных секций тела зародыша вдоль продольной оси, точно как у насекомых. НОХ гены различных животных так похожи, что можно заменить дефектный НОХ ген плодовой мушки соответствующим НОХ геном мыши, и при этом у мушки на положенных местах вырастут соответствующие части тела. Несмотря на то что последний общий предок мыши и плодовой мухи жил более 600 млн лет назад, этот ген и по сей день сохраняет функциональность.

## РЕГУЛЯТОРНЫЕ ГЕНЫ

За последние 20 лет XX в. ученые открыли в личинках животных немало и других регуляторных генов, не менее мощных, чем НОХ гены. Если НОХ гены определяют деление тела вдоль продольной оси, то другие гены отмечают левую и правую стороны тела, а третьи задают верх и низ. Конечности, к примеру, лапки плодовой мухи, также структурируются регуляторными генами в трех измерениях. Регуляторные гены помогают строить и отдельные органы. Так, без гена *Rax-6* муха родится безглазой. Без гена *tinman*\* в теле мухи будет отсутствовать сердце.

Как и в случае с НОХ генами, каждый из этих регуляторных генов существует и в нашей ДНК, выполняя часто ту же работу, которую он выполняет в геноме мухи. К примеру, мышинная версия гена *Rax-6* может покрыть тело мухи дополнительными глазами. Исследуя геномы других животных — будь то кишечно-

\* *Tin Man* — Железный Дровосек — персонаж сказки Лаймена Фрэнка Баума «Удивительный волшебник из страны Оз», мечтавший обзавестись сердцем. — *Прим. ред.*

дышащие черви или морские ежи, кальмары или пауки, — биологи обнаруживают, что в них тоже присутствуют эти регуляторные гены.

Регуляторные гены способны при помощи одних и тех же инструкций сооружать очень разные тела. Ноги краба, к примеру, представляют собой полые цилиндры, внутри которых проходят мышцы. Наши собственные ноги формируются вокруг прочной опоры — костей, и мышцы проходят по их наружной части. Тем не менее у крабов и людей много общих регуляторных генов, отвечающих за строение конечностей. То же можно сказать о глазах, хотя глаз человека — единичный элемент желеобразной структуры с регулируемым зрачком, а глаз мухи состоит из сотен крохотных ячеек, которые вместе формируют изображение. Человеческое сердце — это несколько камер, которые посылают кровь в легкие, а затем по всему телу, а сердце мухи — цилиндрический сосуд, играющий роль насоса. Но во всех перечисленных случаях в строительстве аналогичных органов совершенно непохожих животных участвуют одни и те же регуляторные гены.

Этот общий генетический инструментарий настолько сложен, что развиться независимо у каждого из животных, которые им пользуются, он просто не мог. Напрашивается естественный вывод: он развился у общего предка всех этих животных. И только после того, как общий предок дал начало разным линиям животных, регуляторные гены начали управлять строительством непохожих, хотя и одинаковых по назначению частей тела. И хотя эти животные стали совершенно разными, их строительный инструментарий за сотни миллионов лет почти не изменился. Вот почему регуляторные гены мышцы могут построить глаз мухи.

## ГЕНЫ КЕМБРИЙСКОГО ВЗРЫВА

После открытия генетического инструментария биологи поняли, что именно он, возможно, стал причиной кембрийского взрыва

535 млн лет назад. Одними из первых в палеонтологической летописи появились примитивные двухслойные животные вроде медуз и губок, чьи зародыши формируются всего из двух слоев. Биологи пытались искать регуляторные гены и у этих животных, но были разочарованы. У кишечнополостных таких генов очень мало, да и используются они совсем не так организованно, как у более совершенных трехслойных животных.

Это совсем неудивительно, если вспомнить, насколько просто тело медузы. У медузы нет правой и левой сторон; для ее тела характерна радиальная симметрия, как для колокола или сферы. Ее рот выполняет одновременно и функции ануса. Ее нервная система представляет собой децентрализованную сеть, а не дерево с центральным стволом и ветвями. Вообще, у нее, в отличие от рака или меч-рыбы, отсутствует сложная организация.

Вывод ясен: лишь после того как примитивные двухслойные самоопределились, у общих предков остальных животных возник генетический инструментарий, о котором идет речь. Именно он сделал возможным появление у этих животных более сложных тел: теперь можно было ориентировать развивающийся зародыш по трехмерной координатной сетке и делить его тело на большее количество частей, строить больше сенсорных органов, выделять больше клеток на переваривание пищи или изготовление гормонов, создавать больше мышечных тканей для передвижения по океану.

Трудно сказать, какое именно тело было у этих общих предков. Но палеонтологи, вероятно, не слишком удивились бы, наткнувшись на небольшое (несколько сантиметров длиной) существо, жившее незадолго до кембрийского взрыва. У этого существа, скорее всего, было червеобразное тело; были рот, кишка и анус; мышцы и сердце; нервная система, организованная вокруг нервного тяжа, и светочувствительный орган; и, наконец, выросшие на теле — если не настоящие ножки или усики, то, воз-

можно, какие-то придатки вокруг рта, которые помогали ему есть. Не исключено, что это было бы то самое существо, что оставило анонимные следы в эдиакарских холмах Австралии.

В настоящее время палеонтологи считают, что генетический инструментарий должен был полностью сформироваться еще до кембрийского взрыва — в противном случае сам взрыв просто не мог бы произойти. Именно инструментарий сделал возможным возникновение десятков новых животных с совершенно новым, неожиданным строением тела. Эволюции не пришлось каждый раз создавать «с нуля» сеть строительных генов; она просто использовала уже имеющийся инструментарий для создания новых видов ног, глаз, сердец и других частей тела. Возникавшие животные обретали самый разный вид, но по существу придерживались одной фундаментальной программы строительства тела.

Один из ярчайших примеров невероятной гибкости этого процесса — происхождение нашей собственной нервной системы. Не секрет, что у всех позвоночных вдоль спины (с дорсальной стороны, как говорят биологи) проходит нервный тяж, тогда как сердце и пищеварительный тракт располагаются с передней (или вентральной) стороны. У насекомых и других членистоногих все наоборот: нервный тяж проходит с вентральной стороны, а кишки — с дорсальной.

Эта зеркальность в строении тела породила в 1830-х гг. горячие споры между Жоржем Кювье и Жоффруа Сент-Илером. Кювье считал, что анатомия позвоночных и членистоногих различается настолько фундаментально, что их следует относить к двум совершенно отдельным группам. А Жоффруа утверждал, что если схему, лежащую в основе тела членистоногих, кардинально переработать, то получится не что иное, как схема тела позвоночных. Выходит, Жоффруа был прав, но в таком смысле, какого сам он даже вообразить не мог. В самом деле, нервные системы позвоночных и членистоногих различаются разительно. Но управляют их развитием одни и те же гены.

Когда зародыш позвоночного только начинает формироваться, клетки и на дорсальной, и на вентральной его сторонах имеют потенциальную возможность стать нейронами. Тем не менее у нас на вентральной стороне нет нервного тяжа. Дело в том, что клетки на этой стороне зародыша производят белок под названием Vmр-4, который не позволяет клеткам, с которыми он встречается, превратиться в нейроны. Постепенно Vmр-4 распространяется от вентральной к дорсальной части тела зародыша, блокируя по пути образование нейронов.

Если Vmр-4 распространится по всему телу, до самой спинки, то в зародыше позвоночного вообще не сформируются нейроны. Но по мере развития эмбриона его дорсальные клетки начинают выделять белок, блокирующий действие Vmр-4. Этот белок, известный как хордин, защищает дорсальную часть зародыша от Vmр-4, оставляя здешним клеткам возможность превратиться в нейроны. В конечном итоге они продуцируют спинной мозг, который идет вдоль спины у позвоночных.

Сравним эту последовательность событий с тем, что происходит в зародыше дрозофилы. В самом начале, когда зародыш только формируется, он тоже способен образовывать нервы с обеих сторон — и на спинке, и на брюшке. Но затем на дорсальной стороне начинает производиться белок Dpp — вместо Vmр-4 на вентральной стороне у позвоночных. Dpp распространяется в сторону спинки, где его останавливает особый белок, sog. Вентральная сторона мухи, защищенная от действия Dpp, сохраняет способность образования нейронов и, соответственно, нервного тяжа.

Наборы генов, отвечающие за все эти события, не только выполняют аналогичную функцию в насекомых и позвоночных, но и устроены почти идентично. Гены, блокирующие формирование нейронов, — Dpp и Vmр-4 — аналоги, как и их антагонисты — sog и хордин. Более того, они настолько похожи, что если ген sog, взятый из дрозофилы, ввести в эмбрион лягушки, то у него

в брюшке начнет формироваться второй нервный тяж. Получается, что одни и те же гены строят в насекомых и в лягушке одни и те же структуры, но как бы в зеркальном отражении.

Похожие гены, выполняющие одинаковую работу, должны быть связаны общим происхождением. Джон Герхарт из Калифорнийского университета в Беркли выдвинул предположение о том, как могла произойти такая трансформация. У первых животных с генетическим набором инструментов формировалось скорее несколько небольших нервных тяжей вдоль тела с разных его сторон, а не один. Эти животные-предки были носителями гена, из которого позже возникли другие гены — те, что отвечают за производство как хорды, так и *sog*; производимый им белок способствовал росту нейронов во всех местах, где в эмбрионе должен был сформироваться нервный тяж.

Именно от этого общего предка во время кембрийского взрыва взяли начало все наследственные линии. В линии, давшей начало членистоногим, все нервные тяжи соединились в один большой тяж, идущий по вентральной части тела. У позвоночных все нервные тяжи сместились к спине. Но первоначальные гены, ответственные за строительство этих тяжей, никуда не делись; изменилось лишь место, где они активизировались. Таким образом, со временем они стали зеркальным отражением друг друга, чем произвели на Жоффруа Сент-Илера сильное впечатление.

## ДУПЛИКАЦИЯ ГЕНОВ И ПОЯВЛЕНИЕ ПОЗВОНОЧНЫХ

В ходе кембрийского взрыва позвоночные получили не только спинной мозг, проходящий вдоль спины. При помощи генетического инструментария им удалось обзавестись глазами, сложным мозгом и скелетом. Одновременно позвоночные стали мощными пловцами и прекрасными охотниками и с тех пор неизменно занимают нишу господствующих хищников моря и суши.



Древнейшие известные ученым останки позвоночных — обнаруженные в Китае существа, похожие на миногу, — относятся примерно к середине кембрийского взрыва и имеют возраст 530 млн лет. Чтобы понять, как появились первые позвоночные, ученые тщательно исследовали нашего ближайшего беспозвоночного родича\*. Это животное — ланцетник — на первый взгляд не производит особого впечатления. Больше всего оно напоминает вытасченную из банки безголовую сардину. Ланцетник начинает жизнь в виде крошечной личинки; он дрейфует в теплых прибрежных водах и глотает кусочки пищи, которые ему попадутся. Вырастая до сантиметра длиной, взрослый ланцетник строит нору в песке, высовывает наружу голову и продолжает питаться, фильтруя воду.

Но каким бы непритязательным ни казался ланцетник, у него немало общих черт с позвоночными. В передней части тела у него имеются щели, соответствующие жабрам у рыб. Вдоль спины у него проходит нервный тяж, жесткость которому придает хорда, или спинная струна. Позвоночные тоже имеют хорду, но лишь на эмбриональной стадии. Со временем, по мере того как укрепляется позвоночный столб, хорда исчезает.

Иными словами, некоторые детали строения тела позвоночных появились еще у общего предка позвоночных и ланцетника. В то же время ланцетниковым недостает многого из того, что присуще позвоночным. К примеру, у них нет глаз, а нервный тяж оканчивается просто крохотным утолщением, а не настоящей массой нейронов, которую можно было бы с первого взгляда принять за мозг.

---

\* Ланцетник, о котором идет речь, относится к типу хордовых; тип хордовых подразделяется на подтипы головохордовых (к ним принадлежит и ланцетник), оболочников (например, асцидии) и позвоночных. Так что ланцетник в научном понимании этого слова и вправду беспозвоночное животное, хотя в быденном смысле беспозвоночными называют скорее животных, схожих с червями и моллюсками. — *Прим. науч. ред.*

Но и у ланцетника можно найти органы, предшествовавшие возникновению глаз и мозга. Так, ланцетник воспринимает свет при помощи специального углубления, выстланного светочувствительными клетками; эти клетки объединены в сеть, подобно клеткам сетчатки у позвоночных, и присоединены к переднему концу нервного тяжа — примерно так же, как наши глаза к нашему мозгу. Пусть в крохотном утолщении на переднем конце нервного тяжа ланцетника всего несколько сотен нейронов (в человеческом мозге их 100 млрд), но он, как и мозг позвоночных, разделен в упрощенном варианте на функциональные части.

Сходство между нервным тяжем ланцетника и мозгом позвоночных распространяется и на гены, управляющие их строительством. НОХ гены и другие регуляторные гены, размечающие головной и спинной мозг позвоночного, делают ту же работу и в эмбрионе ланцетника, причем почти точно в том же порядке — от головы к хвосту. В клетках развивающегося светочувствительного пятна ланцетника действуют те же гены, которые строят глаз позвоночного. Можно с уверенностью предположить, что у общего предка ланцетниковых и позвоночных те же гены отвечали за строительство такого же примитивного мозга.

После того как предки позвоночных и ланцетниковых разделились, наши предки прошли необычайный эволюционный путь. Если у ланцетника имеется комплект из тринадцати НОХ генов, то у позвоночных — четыре таких комплекта, и каждый из них организован в том же порядке (от головы к хвосту). Скорее всего, дублирование первоначального набора НОХ генов было вызвано мутациями. После учетверения новые гены ожидала разная судьба. Некоторые из них продолжали выполнять прежние функции и остались НОХ генами. Но другие эволюционировали и получили возможность влиять на формирование зародыша иными способами.

Благодаря этой вспышке генного воспроизведения у наших предков начали появляться тела все более сложного строения.

Позвоночные смогли отрастить себе носы, глаза, скелеты и мощные глотательные мышцы. В какой-то момент древней эволюции позвоночных НОХ гены, отвечавшие за развитие зародыша от головы к хвосту, получили новую функцию: строительство плавников. Плавники помогали позвоночным плавать и маневрировать в воде более эффективно, чем их ланцетовидным предкам.

Вместо того чтобы просто отфильтровывать пищу из воды, ранние позвоночные теперь смогли заняться охотой. Они загоняли и добывали крупных животных, а потому и сами могли эволюционировать и стать крупнее. Благодаря генетической революции ранние позвоночные со временем дали начало акулам, анакондам, людям и китам. Без этих новых кембрийских генов мы и сегодня могли бы походить на ланцетников и дрейфовать в волнах океана, поводя своей крохотной безмозглой головкой.

## КТО ПОДЖЕГ КЕМБРИЙСКИЙ ФИТИЛЬ

Ключевым и необходимым условием кембрийского взрыва была эволюция строительного набора, о котором мы говорили, — нашего генетического инструментария. Однако после его появления эволюционный взрыв произошел далеко не сразу. Животные, успевшие обзавестись генетическим инструментарием, жили и развивались, вероятно, десятки миллионов лет, прежде чем 535 млн лет назад в палеонтологической летописи появились первые свидетельства кембрийского взрыва. Но почему? Если эти животные уже несли в себе громадный эволюционный потенциал, что не давало им пуститься во все тяжкие?

Вероятно, генетический инструментарий этих ранних животных можно сравнить с запалом бомбы, ожидающим, пока кто-нибудь поднесет спичку к бикфордову шнуру. До кембрия океаны были не слишком благоприятным местом для эволюции животных. Крупные активные животные, появившиеся в океанских водах в результате кембрийского взрыва, нуждались в кис-

лороде, а химический состав пород, сформировавшихся на дне докембрийских морей, говорит о том, что кислорода в воде почти не было. Фотосинтезирующие водоросли и бактерии на поверхности воды в изобилии производили кислород, но в глубину он почти не проникал. Кислорододышащие бактерии-падальщики благополучно съедали производителей кислорода после их гибели все там же, на поверхности, а остальная часть океанских вод оставалась по-прежнему бедна кислородом.

Около 700 млн лет назад содержание кислорода в воде начало повышаться и через некоторое время достигло, скажем, половины от нынешней его концентрации. Связано это было с разломом суперконтинента. В результате активных геологических процессов большое количество углерода было увлечено на дно новых океанских бассейнов, а в атмосфере появилось больше свободного кислорода. Некоторая часть этого кислорода проникла и в океанские глубины.

После того как содержание кислорода в воде выросло, для планеты в целом, судя по всему, наступили нелегкие времена. Как утверждает гарвардский геолог Пол Хоффман, на Земле тогда наступил ледниковый период и ледники разрослись едва ли не до экватора. Для их таяния понадобилось, чтобы вулканы выпустили в атмосферу достаточно углекислого газа и заработал парниковый эффект. Жизнь во время этого глобального ледникового периода сохранялась в отдельных местах, где условия оставались терпимыми; эволюция при этом могла ускориться, возникали новые виды с новыми адаптационными механизмами. А поскольку новые генетические приспособления уже имелись, животные могли отозваться на эволюционное давление невиданной вспышкой генетического разнообразия — кембрийским взрывом.

Возможно, начало кембрийскому взрыву положили гены и физические условия, но, судя по всему, именно экология определила его продолжительность и масштабы. Среди новых живот-

ных, появившихся на свет в начале кембрийского периода, были и те, кто мог — впервые за всю историю жизни на Земле — питаться водорослями. Эти беспозвоночные обзавелись специальными ветвистыми отростками, позволявшими им улавливать пищу, и добились невероятного успеха. (Сегодня их успех развивают громадные армии изящных креветок, водяных блох и других потребителей мельчайших водорослей.) Эти существа, став достаточно многочисленными, стимулировали появление крупных и быстрых хищников, которыми, в свою очередь, могли питаться еще более крупные хищники. В океане быстро сформировалась сложная сеть переплетающихся пищевых цепочек.

Новые факторы эволюционного давления — необходимость пасть или охотиться — могли вызвать еще бóльшую диверсификацию, причем не только животных, но и водорослей. Из водорослей в древнейших слоях палеонтологической летописи чаще всего встречаются так называемые акритархи. В докембрии акритархи были мелкими и неинтересными, но в ходе кембрийского взрыва они внезапно отрастили себе шипы и другие украшения; кроме того, появились гораздо более крупные формы. Вероятно, так развивались механизмы защиты от поедателей водорослей, ведь проглотить нечто крупное и колючее гораздо труднее. Расительноядные развивали у себя механизмы обхода защитных приспособлений и собственные устройства защиты — шипы, раковины, панцири — от хищников, которым тоже приходилось искать новые методы охоты, обзаводиться когтями и мощными зубами, а также более тонкими органами чувств. Кембрийский взрыв превратился в самоподдерживающуюся цепную реакцию.

## ОКОНЧЕН БАЛ...

Тем не менее через несколько миллионов лет реакция закончилась. Палеонтологи признают лишь один тип живых существ, ископаемые остатки которых появились после кембрийского

взрыва, только в ордовике, — это мшанки, колониальные животные, образующие на дне океана настоящий ковер. Сказанное не означает, что животные с тех пор совсем не менялись. Если все первые позвоночные были похожи на миногу, то сейчас среди них наблюдается поразительное разнообразие — от белоснежной цапли до древесного кенгуру, рыбы-молота, летучей мыши и морской змеи. Но у всех этих животных по два глаза, мозг помещен в череп, а мышцы крепятся к костям скелета. Эволюция, конечно, мощная созидательная сила, но ее возможности не бесконечны. Более того, она работает при жестких ограничениях и попадает в самые разные ловушки.

Когда в биосфере возникает вспышка эволюционных трансформаций, новые виды начинают искать себе подходящие экологические ниши. Так, цихлиды озера Виктория приспособились соскребать с камней водоросли, есть насекомых и использовать другие пищевые ресурсы водоема. Первые рыбки, научившиеся соскребать водоросли, делали это не очень хорошо, но при отсутствии конкурентов — других обскребывателей водорослей — даже такого качества работы было достаточно. Развиваясь, эти цихлиды создавали новые экологические ниши для других видов цихлид: хищников, способных заглатывать мелких рыбок целиком, тех, кто чистит чешуйки другим рыбам, тех, кто крадет чужие яйца, и т.д. Жизнь постоянно создает новые экологические ниши, но, вероятно, их количество все же не бесконечно. Рано или поздно виды начинают конкурировать за них между собой. Кто-то при этом побеждает, кто-то проигрывает. В более старых африканских озерах, таких как Малави или Танганьика, у цихлид было несколько лишних миллионов лет на эволюцию, но они не изобрели ни одной экологической ниши, которой не было бы у цихлид молодого озера Виктория.

Скорее всего, кембрийский взрыв закончился тогда, когда земная экосистема заполнилась — примерно так же, как экосистема озера, но в более грандиозном масштабе. Во время кем-

брийского взрыва на Земле впервые появились крупные мобильные хищники, сверлильщики и растительноядные — пасущиеся на водорослях. Вполне возможно, что эти животные заполнили все доступные экологические ниши и так приспособились, что получили возможность удерживать свои владения от чужаков. Пропала возможность испытывать новые схемы, и эволюция захлебнулась: новые типы животных не могли утвердиться.

Иногда эволюционная вспышка прекращается потому, что порождаемая ею генетическая сложность блокирует путь самой себе. Древнейшие животные были предельно просты, у них было всего несколько типов клеток, связанных относительно небольшим числом генов развития. К концу кембрийского взрыва их потомки обладали уже множеством различных клеточных типов и пользовались для строительства тела сложной сетью взаимодействующих генов. Нередко случалось, что ген, который изначально помогал строить одну структуру или один орган, в конце концов оказывался задействованным в строительстве нескольких разных органов. Так, НОХ гены строят у позвоночных не только мозг и позвоночник, но также плавники и ноги. Когда ген выполняет несколько различных задач, изменить его сложнее. Даже если какая-то мутация окажется благоприятной и улучшит одну из структур, которые этот ген помогает строить, другие при этом могут пострадать или даже полностью разрушиться. Эволюция за время кембрийского взрыва тоже изменилась; если в начале его процесс эволюции можно было сравнить с перестройкой одноэтажного домика, то в конце — каждое изменение уже напоминало по сложности задачи перестройку небоскреба.

Поскольку эволюция может заниматься только ремесленными работами, она не способна создать наилучший из возможных проектов. Да, эволюция создала множество приспособлений, при виде которых современные инженеры замирают в восхищении и вздыхают от зависти; тем не менее нередко ей приходилось

выбирать из множества зол меньшее. Наши глаза, к примеру, — несомненно, впечатляющие видеокамеры, тем не менее они имеют несколько фундаментальных недостатков.

Свет, проникая в глаз позвоночного, проходит сквозь желеобразное стекловидное тело и попадает на фоторецепторы сетчатки. Но нейроны сетчатки на самом деле обращены назад, как будто мы пытаемся рассмотреть собственный мозг. Так что свету, прежде чем попасть на нервные окончания, способные его регистрировать, необходимо преодолеть несколько слоев нейронов и плотную сеть капилляров.

После того как свет все же попадает на обращенные назад фоторецепторы сетчатки, им (фоторецепторам) приходится посылать сигналы обратно через все слои сетчатки к передней части глаза. Одновременно нейроны обрабатывают сигнал и делают изображение резче. Верхний слой нейронов сетчатки соединен со зрительным нервом, который располагается на ее поверхности. Сам нерв, направляющийся назад к мозгу, пронизывает все слои нейронов и капилляров.

Получается, что вся эта конструкция «спроектирована грубейшим образом», как резко, но справедливо выразился биолог-эволюционист Джордж Уильямс. Слои нейронов и капилляров играют роль светофильтра и снижают интенсивность света, попадающего в конце концов на фоторецепторы. Чтобы компенсировать ослабление сигнала, наш глаз совершает непрерывные крохотные движения и заставляет изображение предмета, который мы видим, двигаться по сетчатке. Мозг затем обрабатывает множество нечетких картинок, убирает помехи и выстраивает четкое изображение.

Еще один недостаток — способ, при помощи которого нейроны сетчатки соединяются со зрительным нервом на ее поверхности. Зрительный нерв блокирует часть входящего света и создает в каждом глазу слепое пятно. Эти слепые пятна не мешают нам видеть только потому, что мозг совмещает изобра-



жения от обоих глаз, нейтрализует оба слепых пятна и создает полную картинку.

Еще одна не слишком удачная часть конструкции глаза — способ крепления сетчатки. Фоторецепторы снабжены тончайшими и очень нежными нервными окончаниями, и их нельзя прочно закрепить на надежном основании. Вместо этого они достаточно свободно прикрепляются к особому слою клеток, который выстилает всю стенку глаза, — к пигментному эпителию сетчатки. Пигментный эпителий играет в работе глаза важную роль. Он поглощает лишние фотоны так, чтобы они не отражались от глазного дна и не попадали вновь на фоторецепторы, размывая картинку. В нем также проходят кровеносные сосуды, которые снабжают сетчатку питательными веществами и уносят отходы, когда сетчатка избавляется от старых отработавших фоторецепторов. Но связь между пигментным эпителием и сетчаткой очень хрупка и ненадежна, что делает наши глаза чрезвычайно чувствительными. Резкий удар в голову — и сетчатка может просто оторваться от основы и беспорядочно перемещаться внутри глаза.

Но ведь глаз может прекрасно функционировать, имея другую форму! Чтобы убедиться в этом, достаточно сравнить глаз позвоночного с глазом кальмара. Глаз кальмара — настолько мощное оптическое устройство, что позволяет его хозяину видеть добычу почти в полной темноте. Он тоже — как и глаз позвоночных — имеет сферическую форму и снабжен линзами, но свету, проникшему в глаз и попавшему на его внутреннюю стенку, не приходится пробиваться сквозь путаницу обращенных назад нейронов. Вместо этого свет сразу попадает на огромное количество светочувствительных окончаний зрительного нерва кальмара. Зрительные сигналы от нервных окончаний идут прямо в мозг кальмара; им не приходится возвращаться назад и вновь преодолевать на пути слои нейронов.

Чтобы разобраться в недостатках глаза позвоночных (равно как и в его достоинствах), биологи-эволюционисты обраща-

ются в прошлое, к его истокам. Лучшие указания на раннюю эволюцию глаза позвоночных исходят все от того же ланцетника, нашего ближайшего беспозвоночного родича. Нервный тяж ланцетника представляет собой трубку, а выстилающие ее изнутри нейроны снабжены волосяными выростами, которые называются ресничками. На переднем конце трубки имеются нейроны, выполняющие роль светочувствительного пятна-глаза. Как и другие нейроны ланцетника, эти светочувствительные клетки обращены внутрь; из этого следует, что они регистрируют только свет, отраженный от противоположной стенки полупрозрачного тела ланцетника и попавший внутрь трубки.

Сразу перед светочувствительными нейронами нервная трубка заканчивается, причем клетки, выстилающие ее передний конец, содержат внутри себя темный пигмент; ученые подозревают, что этот слой темных клеток работает как щит, заслоняя свет с передней стороны ланцетника. А поскольку свет попадает на светочувствительное пятно не со всех направлений, ланцетник может использовать этот орган для ориентации в воде.

Терстон Лакалли, биолог из канадского Университета Саскачевана, обнаружил замечательное сходство между строением светочувствительного пятна ланцетника и строением глаза у зародыша позвоночного. Первоначально мозг позвоночного формируется как полая трубка, очень похожая на нервную трубку ланцетника; как у ланцетника, нервные клетки в ней обращены внутрь. Затем стенки трубки образуют на переднем конце два выроста наружу, напоминающие пару рогов; из этих выростов и развиваются глаза. На кончике каждого «рога» формируется чашевидное углубление, на внутренней поверхности которого размещаются нейроны сетчатки, по-прежнему обращенные нервными окончаниями внутрь. Внешнюю поверхность захватывают пигментные клетки.

Если вскрыть глазную чашу и рассмотреть распределение клеток, обнаружится та же топография, что и в светочувстви-

тельном пятне ланцетника. Нейроны сетчатки все так же смотрят внутрь, в центральную полость нервной трубки. Палочки и колбочки сетчатки представляют собой высокоразвитые варианты ресничек ланцетника. Нервная трубка в эмбрионе позвоночных продолжает развиваться, и в конце концов светочувствительные элементы оказываются обращенными к задней стенке глаза. Более того, нейроны сетчатки в зародыше позвоночных по-прежнему располагаются между пигментными клетками и зрительным нервом — точно так же, как в голове ланцетника.

Сходные черты и родственные связи такого рода лучше всего видны на самых ранних стадиях развития эмбриона. Чем больше он развивается, тем труднее становится увидеть сходство. Стенки глазной чаши так истончаются, что со временем клетки внутренней и внешней ее сторон начинают соприкасаться. В результате возникает особая, чувствительная связь между сетчаткой и пигментным эпителием.

Сходство между глазами эмбриона и светочувствительным пятном ланцетника помогает представить и понять, почему наши глаза так странно устроены. Светочувствительное пятно нашего ланцетникopodobного предка эволюционировало в пару чашевидных фотодетекторов, отходивших в стороны от нервной трубки. Чашевидная форма позволяла им захватывать больше света, чем плоское светочувствительное пятно. Постепенно чаша замкнулась в сферический глаз, который уже мог формировать на сетчатке изображение. Но поскольку исходным материалом для глаза позвоночных послужила конструкция светочувствительного пятна ланцетника, он так и остался с нейронами, обращенными прочь от входящего света.

Строение светочувствительного пятна у предков позвоночных серьезно ограничило формы, которые позже мог принять их глаз. Эволюция лишь приспособила, как смогла, анатомию ланцетника к дальнейшим, куда более серьезным задачам. Ради того, чтобы получить вместо светочувствительного пят-

на полноценный глаз, нам приходится мириться и со слепыми пятнами, и с риском отслоения сетчатки, и с ограниченностью света. Тем не менее преимущества, которые дает нам способность формировать изображения, перевешивает все неизбежные недостатки конструкции глаза.

После появления базовой конструкции глаза — с линзой, желеобразной структурой и обращенной назад сетчаткой — многие линии позвоночных продолжали эволюционировать и развили у себя новые варианты глаза, способные лучше работать в какой-то конкретной среде. К примеру, у трех линий рыб в процессе эволюции независимо появились двойные глаза. Эти глаза снабжены не одной, а двумя линзами; когда рыба плавает по поверхности воды, один ее «зрачок» обращен вверх, в воздух, а второй — вниз, в воду. Форма верхней части глаза приспособлена к тому, чтобы фокусировать свет, проникающий из воздуха, а нижняя идеально адаптирована к оптическим свойствам воды.

Тем временем некоторые позвоночные на суше — к примеру, птицы и приматы — развили у себя необычайно мощное зрение. У них появилось плотное скопление фоторецепторов в небольшой области сетчатки, известной как зрительная ямка; нейроны, которые в обычных условиях преграждают путь входящему свету, здесь расступаются. Тем не менее, несмотря на все инновации, сетчатка позвоночных остается обращенной назад. Благодаря эволюционным ограничениям в течение 530 млн лет наши дети никогда не будут видеть как кальмары.

## РЫБЫ С ПАЛЬЦАМИ И ЖИЗНЬ НА СУШЕ

Когда шарик падает на колесо рулетки, его судьбу нельзя считать совершенно случайной. Он не может, к примеру, отскочить от колеса и прилипнуть к потолку. Он не остановится на перегородке между двумя номерами. Сила тяжести, энергия броска

и форма перегородок на колесе заставляют шарик остановиться на одном из номеров. Его судьба будет выбрана из конечного — более того, ограниченного — числа вариантов, но все же она остается непредсказуемой.

То же можно сказать и об эволюции. Она ограничена определенными условиями, но это не означает, что сам процесс разворачивается равномерно и предсказуемо. Внутренние силы эволюции — механизм взаимодействия генов в процессе строительства организма — сталкиваются с внешними силами климата, географии и экологии, такими, например, как атмосферные фронты. Когда внешние и внутренние силы сталкиваются, возникают эволюционные ураганы и торнадо. В результате ученым приходится быть очень осторожными в своих попытках реконструировать ход эволюционных трансформаций — ведь так просто представить простую линейную историю там, где реальность была парадоксально нелогичной.

Итак, 530 млн лет назад эволюция жизни на Земле прошла важный рубеж — в период кембрийского взрыва возникли первые позвоночные. Следующий рубеж был преодолен 360 млн лет назад, когда позвоночные вышли на сушу. За 180 млн лет, которые прошли между этими двумя вехами, позвоночные эволюционировали в громадное число самых разнообразных рыб — включая предков сегодняшних миног, акул, осетров, двоякодышащих рыб, а также вымершие формы, такие как бесчелюстные бронированные галеаспиды и панцирные рыбы. Но за все это время ни одно позвоночное не ходило по суше. Лишь 360 млн лет назад позвоночные наконец вышли из океана на сушу. От тех, первых, произошли все сухопутные позвоночные (обладающие четырьмя конечностями) — все без исключения, начиная с верблюдов, игуан и туканов и заканчивая человеком.

Поначалу ученые склонны были рассматривать этот переход в героическом ключе, как часть некоего заранее предначертанного пути к возникновению человечества. Самые отважные

морские рыбы, говорилось в этой героической саге, выползли на сушу, отталкиваясь плавниками, и развили у себя легкие и ноги, которые должны были помочь им завоевать сушу, подняться и достичь вершин. В 1916 г. Ричард Лалл, палеонтолог из Йельского университета, написал: «Выход из ограничивающих вод в неограниченное пространство воздуха был абсолютно необходим для дальнейшего развития».

На самом деле происхождение четвероногих выглядело совершенно иначе, но даже сами палеонтологи подошли к пониманию этого процесса только в 1980-е гг. До этого времени данных о том, что представляли собой первые четвероногие, было очень мало. Исследователи знали, конечно, что из всех рыб ближе всего к четвероногим были древние лопастепёрые рыбы. Из современных к лопастепёрым относятся двоякодышащие рыбы, живущие в Бразилии, Африке и Австралии. Эти пресноводные рыбы могут дышать воздухом, если их озеро вдруг пересохнет или содержание кислорода в воде резко упадет. Еще один их представитель — кистепёрая рыба целакант, массивное большеротое создание, живущее на глубине нескольких сотен футов у берегов Южной Африки и Индонезии.

Для скелета лопастепёрых рыб характерны некоторые особенности, сближающие их с четвероногими. К примеру, их крепкие мускулистые плавники устроены примерно так же, как наши ноги и руки: одна длинная кость, ближайшая к телу, которая соединяется с парой длинных костей, а те в свою очередь соединяются с группой более мелких косточек. Сегодня двоякодышащие рыбы и целаканты — единственные представители лопастепёрых, но 370 млн лет назад лопастепёрые были в числе самых разнообразных групп рыб. Палеонтологи обнаружили, что некоторые из вымерших лопастепёрых были даже больше похожи на четвероногих, чем ныне живущие виды.

Что касается древнейших четвероногих, палеонтологам тогда был известен всего один вид: существо под названием

*Ichthyostega*, жившее 360 млн лет назад. Это почти метровое четвероногое существо, найденное в 1920-е гг. в горах Гренландии, очевидно, было четвероногим, но его приплюснутый череп напоминал скорее череп лопастепёрой рыбы, чем черепа более поздних четвероногих.

Палеонтологи сделали вывод: *Ichthyostega* — продукт долгой борьбы за адаптацию на суше. Американский палеонтолог Альфред Ромер разработал доскональный сценарий такого происхождения четвероногих. Их лопастепёрые предки жили в пресноводных реках и озерах, но изменение климата принесло с собой сезонные засухи, и места обитания этих рыб каждый год стали пересыхать. Уцелели те рыбы, которые смогли переползти по суше в соседнее озеро, остальные погибли. Вообще, больше всего шансов уцелеть было у самых подвижных лопастепёрых рыб, поэтому их плавники постепенно эволюционировали в ноги. Со временем эти рыбы стали так хорошо передвигаться по суше, что смогли охотиться на насекомых и других беспозвоночных, ползавших вокруг по земле; в результате они совсем отказались от жизни в воде.

Сценарий Ромера представлялся достаточно логичным — по крайней мере до тех пор, пока в Гренландии не было найдено второе древнейшее четвероногое. В 1984 г. Дженнифер Клак, палеонтолог из Кембриджского университета, ознакомилась с бумагами кембриджской геологической экспедиции 1970 г. Так получилось, что ученые нашли окаменелости животных, похожих на *Ichthyostega*, и оставили их буквально перед носом у Клак. В 1987 г. Клак вернулась на место работы первой экспедиции и обнаружила там полный скелет еще одного четвероногого возрастом 360 млн лет; животное получило название *Acanthostega*.

У *Acanthostega* есть все необходимые признаки четвероногого, такие как ноги и пальцы на них, но жить это животное могло только в воде. Во-первых, Клак с коллегами обнаружила на шее животного кости, которые при жизни животного поддерживали

жабры. Во-вторых, его ноги, плечи и бедра были слишком слабыми и просто не выдержали бы на суше вес его тела.

*Acanthostega* совершенно не вписывалась в сценарий Ромера, но палеонтологи уже понимали, что по крайней мере некоторые из его предположений были ошибочны. На самом деле *Acanthostega* и другие древнейшие четвероногие жили вовсе не в засушливых суровых условиях, а во влажных и пышных прибрежных зарослях; тогда подобные места обитания только появились на Земле, и берега морей и рек начали зарастать большими деревьями. Засух, которые вроде бы подталкивали рыб к превращению в четвероногих, там не было и быть не могло.

Теперь Клак и другие палеонтологи утверждают, что ноги и пальцы появились у рыб не для того, чтобы ходить по суше, а чтобы лучше передвигаться под водой. При помощи нескольких небольших изменений в работе регуляторных генов, управляющих формированием плавников, эволюция превратила плавники в пальцы. Рыбы с ногами могли теперь карабкаться среди подводных зарослей, цепляться за растения, перебираться через упавшие деревья и другие препятствия. Они могли таиться в засаде, удерживаясь на камнях и поджидая добычу. Такой способ передвижения может показаться нам странным, но некоторые из современных рыб ведут себя почти так же. Рыба-клоун, к примеру, имеет на плавниках пальцевидные выросты и пользуется ими при передвижении по коралловым рифам.

Теперь уже ясно, что пальцы и ступни, для чего бы они первоначально ни предназначались, возникли отнюдь не потому, что животным захотелось побегать по земле, хотя в настоящее время они используются именно для этого. И вообще, палеонтологи нашли около десятка видов ранних четвероногих, и все они, судя по всему, жили в воде. (Клак и ее коллеги присмотрелись к останкам *Ichthyostega* более внимательно и пришли к выводу, что это существо, скорее всего, могло, подобно тюленям, пере-



таскивать свое тело по суше.) Тед Дешлер из Академии естественных наук в Филадельфии даже нашел окаменелость совершенно отдельной линии лопастепёрых рыб, у которых пальцевидные кости появились независимо от наших предков. Затем — начиная с 370 и до 360 млн лет назад — у способных ходить по дну лопастепёрых произошел подводный эволюционный взрыв — возникло невероятное разнообразие, что-то вроде многочисленных цихлид с ногами. И только позже одна из ветвей четвероногих вышла на сушу, и ноги взяли на себя новые функции.

Эволюция часто использует для выполнения новой задачи свойства и органы, возникшие ранее и приспособленные для выполнения совсем других задач (этот процесс носит название «преадаптации» или «экзаптации»). На этот факт, как и на многое другое в эволюции, первым обратил внимание Дарвин. «Когда говорят, что та или иная часть тела приспособлена к выполнению какой-то определенной задачи, не следует полагать, что и первоначально она формировалась единственно для выполнения этой задачи, — написал он в 1862 г. — Похоже, обычно все происходит иначе, и часть тела, которая первоначально выполняла одну задачу, адаптируется путем медленных изменений к выполнению совершенно иных задач».

## ВПЕРЕД В ПРОШЛОЕ: О ПРОИСХОЖДЕНИИ КИТОВ

Представление о том, что эволюция размеренно движется вперед, к прогрессу, хорошо согласовывалось с викторианской концепцией исторического процесса. Благодаря науке и промышленной революции люди в Европе в конце XIX в. жили лучше, чем в его начале, и считали, что так все и будет продолжаться. Казалось, что сама история — не только человечества, но и жизни вообще — свидетельствует о непрерывном прогрессе.

Но викторианские биологи уже знали, что если некий императив относительно прогресса и существует, то многие животные

его игнорируют. К примеру, так называемые морские уточки произошли от свободно плавающих ракообразных, но отказались от вольной жизни ради беззаботного существования на корпусе корабля или портовых сваях. Если эволюция двигалась вперед, то с таким же успехом она могла в любой момент повернуть и вспять. Биологи викторианской эпохи не отказались от представлений о прогрессе — они просто стали рассматривать развитие как улицу с двусторонним движением и называли движение в одну сторону прогрессом, а в другую — дегенерацией. Британский биолог Рей Ланкестер очень беспокоился о том, что человеческое общество, если не проявит осторожности, тоже может пасть жертвой вырождения. «Возможно, все мы движемся к состоянию разумных ракушек», — писал он.

Но эволюция, хотя и не является торжественным маршем прогресса, двигаться вспять тоже не умеет. Эволюция — это изменение, ни больше ни меньше. Четвероногие героически выбрались из воды на сушу 360 млн лет назад, но их потомки не один десяток раз отказывались от сухопутной жизни и возвращались в морскую стихию. Оказавшись снова в воде, они не дегенерировали до состояния ланцетника или хотя бы лопастепёрой рыбы. Вместо этого они превращались в нечто совершенно новое — например, в китов.

Киты мешали ученым жить со времен первой современной систематики Карла Линнея (1735). «Среди величайшего внешнего беспорядка виден величайший порядок», — писал Линней о классификации, однако киты не позволили ему почитать на лаврах. Долгое время попытки их классификации только еще больше запутывали дело. Рыбы это или млекопитающие? «Эти животные необходимым образом связаны с царством млекопитающих, — решительно заявлял Линней, — но их привычки и поведение скорее напоминают рыб». У китов, указывал он, сердце снабжено клапанами и предсердием, как у млекопитающих, имеются легкие; эти теплокровные животные, как и млекопитающие суши,

воспитывают своих детенышей. Что еще важнее, у них есть даже веки.

Вообще, широкой публике трудно было принять классификацию Линнея. В 1806 г. натуралист Джон Бигленд жаловался, что никакая классификация «не заставит большую часть человечества относиться к киту как зверю, а не как к рыбе». Вероятно, Измаил, герой «Моби Дика», высказал точку зрения большинства людей XIX в., когда заявил: «Я присоединяюсь к мудрому старинному взгляду, согласно которому кит — рыба, и призываю святого Иону засвидетельствовать мою правоту».

Дарвин нашел выход из этого тупика. Разумеется, Линней не занимался бессмысленными играми, когда причислял китов к млекопитающим. Признаки сходства, которые отмечал Линней, свидетельствовали о том, что киты (включая белух и дельфинов) произошли от сухопутных млекопитающих. Эволюция произвела метаморфозу, которая, вероятно, понравилась бы Овидию: она убрала у них ноги, дала вместо хвоста плавник, сдвинула нос на макушку и сделала такими громадными, что крупный кит по весу тянет на 2000 человек — население небольшого городка. Эволюция создала млекопитающее, похожее на рыбу, но не смогла уничтожить все свидетельства его происхождения.

Дарвин не мог сказать, как именно эволюция всего этого добилась. Никаких промежуточных звеньев между китами и сухопутными млекопитающими он вокруг не видел, но незнание не особенно его беспокоило — способ всегда можно вообразить. Он указывал на то, что медведи иногда часами плавают с открытым ртом — ловят насекомых. «Даже в таком крайнем случае, как этот — писал он в «Происхождении видов», — если бы насекомые в воде были постоянно, а лучше приспособленных конкурентов не было, я не вижу никаких сложностей в том, чтобы какая-либо порода медведя в результате естественного отбора постепенно приобретала особенности, позволяющие обитать в воде, чтобы затем у нее постепенно увеличивались

размеры пасти и чтобы она, наконец, превратилась в огромного кита».

Эта идея не встретила понимания читателей. Одна из газет жаловалась, что «мистер Дарвин в своей последней весьма научной книге по этому вопросу принял сторону таких нелепых “теорий” — как, например, о медведе, который плавал до тех пор, пока не вырос в кита, или что-то в этом роде». Дарвин исключил пример с медведем из дальнейших изданий своей книги.

За 120 лет с момента выхода книги палеонтологи обнаружили немало окаменелостей китов, но даже древнейшие из них — а им более 40 млн лет — ничем принципиально не отличаются от современных китов. У всех них имеется длинный позвоночник и кисти рук в форме плавников, а задние ноги отсутствуют. Другое дело зубы. У современных китов зубы либо отсутствуют совсем, либо имеют форму простых пеньков. Зубы древнейших китов имели гребни и выступы, такие же, как у сухопутных млекопитающих. Вообще, их зубы очень напоминали зубы вымершей линии млекопитающих, известных как мезонихиды. Эти животные были копытными — иными словами, в родстве с коровой и лошадью, — но обладали мощными зубами и сильной шеей, приспособленной к поеданию мяса, а значит, были хищниками или падальщиками.

Наконец в 1979 г. Филип Джинджерич, палеонтолог из Мичиганского университета, нашел сухопутного кита.

Джинджерич и его группа работали в Пакистане и занимались поисками окаменелостей млекопитающих возрастом 50 млн лет. Сегодня Пакистан расположен в сердце Азии, но в те времена, когда жили эти млекопитающие, его территория представляла собой всего лишь горстку островов. Индия в то время была гигантским островом и постепенно дрейфовала на север, к южному побережью Азии. Команда Джинджерича нашла множество фрагментов млекопитающих, большую часть из которых смогла сразу же определить и классифицировать, но некоторые

не поддавались определению. Одной из самых загадочных находок стала задняя часть черепа возрастом 50 млн лет. Животное — обладатель черепа — было размером с койота. Вдоль верхней части черепа проходил высокий выступ, к которому, по всей видимости, прикреплялись мощные мышцы челюстей. Под черепом Джинджерич обнаружил кости уха. Две скорлупки, похожие на пару виноградин, были прикреплены к черепу косточками в форме буквы S.

У палеонтолога, каким был Джинджерич, подобные кости уха вызвали настоящий шок. Такое устройство имеют только ушные кости китов; ни у одного другого позвоночного ничего похожего нет. Джинджерич назвал свою находку *Pakicetus*, что означает «кит из Пакистана»; в последующие годы ему удалось найти также зубы и кусочки челюсти этого животного. По строению *Pakicetus* занимает промежуточное положение между мезонихидами и позднейшими китами; это свидетельствует о том, что это на самом деле кит возрастом 50 млн лет, — древнейший из известных на тот момент. Тем не менее породы, в которых были обнаружены окаменелости, показывают, что койотовидное создание жило и умерло на суше, среди невысоких кустарников и мелких ручьев глубиной всего несколько дюймов. *Pakicetus* был наземным китом.

Еще через 15 лет, в 1994 г., ученик Джинджерича по имени Ханс Тевиссен открыл другого примитивного кита. Тевиссену удалось найти не просто кусочки и обломки скелета этого существа, но, как оказалось позже, практически полный скелет. Этот кит, живший на суше 45 млн лет назад, имел гигантские лапы и массивный череп, по форме похожий на голову аллигатора. Тевиссен назвал свою находку *Ambulocetus*, что означает «ходячий кит». К концу XX в. Тевиссен, Джинджерич и другие палеонтологи успели обнаружить в Пакистане, Индии и США еще несколько видов китов с ногами. То, что прежде казалось невозможным, теперь в порядке вещей.

Чтобы понять, как эти ранние «киты» эволюционировали до современного рыбоподобного состояния, палеонтологи сравнили их ископаемые остатки с современными и другими вымершими видами. Получилось эволюционное древо, по которому можно примерно представить ход этого превращения. Дарвин зря думал о медведях. Скорее ему следовало представить себе бегемотов — или просто коров. Именно эти копытные млекопитающие приходятся китам ближайшими родственниками. Палеонтологи сходятся на том, что животные вымершей группы копытных, известных как мезонихиды, состояли с китами в еще более близком родстве. Мезонихиды имели множество форм, от мелких, размером с белку, до ужасающих монстров под названием *Andrewsarchus* длиной до четырех метров — крупнейших известных плотоядных млекопитающих всех времен. На их фоне первые киты, гуляющие по суше, ничем особенным не выделялись.

*Pakicetus*, живший 50 млн лет назад, был далек от первого кита. Вообще, общий предок мезонихид и китов жил, по всей видимости, ранее первых известных китов и древнейших мезонихид. Если первым китам около 50 млн лет, то древнейшие мезонихиды жили 64 млн лет назад, о чем свидетельствуют их окаменелости. Таким образом, киты должны были отделиться от мезонихид более 64 млн лет назад — за 14 с лишним миллионов лет до времени пакидетуса.

У первых китов все еще были ноги и кости поясов верхних и нижних конечностей (плеч и бедер), надежно прикрепленные к позвоночнику. Их уши по-прежнему напоминали уши наземных млекопитающих, способные улавливать звуки в воздухе. Их зубы в общем и целом были похожи на зубы мезонихид, но изменения в них уже начались. Морин О'Лири, палеонтолог Университета штата Нью-Йорк в Стони-Брук, пригляделась внимательно к зубам первых китов и обнаружила длинные выемки вдоль внешнего края нижних коренных зубов. Эти выемки обра-

зовались от трения верхних зубов о нижние коренные. По форме выемок ясно, что эти животные могли только кусать вертикально, но не способны были пережевывать пищу боковыми движениями. Имеются также свидетельства, что более поздние киты, у которых тоже были эти канавки, питались рыбой. О'Лири предположила, что пакицетус и современные ему «киты» уже начали питаться рыбой и другими морскими животными. Даже не обладая телом современного кита, древние киты умели плавать, хотя и «по-собачьи».

Вскоре после появления *Pakicetus* эволюция начала менять и другие части китовой анатомии, и новые животные были лучше приспособлены к плаванию. *Ambulocetus*, ходячий кит Ханса Тевиссена, имел короткие ноги, длинную морду, большие лапы и мощный хвост. Такого рода строение позволяло ему плавать как выдре — отталкиваясь задними лапами назад и добавляя энергии движениями хвоста вверх и вниз. Но у амбулоцетуса, как и у выдры, бедренная кость по-прежнему соединялась с позвоночником. Иными словами, это животное по-прежнему могло ходить по земле. Вероятно, оно вылезало из воды, чтобы погреться на солнышке и выспаться; спаривалось и производило на свет детенышей оно тоже на суше.

В пограничной зоне между морем и сушей получили развитие многие виды ходячих китов. Одни из них приспособились ходить по дну, другие — нырять. Эти линии в большинстве своем вымерли, и мы, возможно, никогда не узнаем почему. Но одна линия китов адаптировалась к жизни дальше от берега. В ней есть такие виды, как *Rodhocetus* — кит с короткими ногами и слабо связанными с позвоночником бедренными костями, которого Джинджерич нашел в Пакистане. В воде это животное могло двигать хвостом и туловищем примерно так, как это делают современные киты. Конечно, сегодняшние киты плавают гораздо лучше — ведь у них на конце хвоста есть плавник, состоящий из соединительной ткани. Но эти ткани редко сохраняются в ока-

менелостях, так что никто не знает, имелся ли у родоцетуса настоящий плавник.

40 млн лет назад уже существовали настоящие морские киты. *Basilosaurus*, к примеру, достигал в длину 15 метров, имел стройное змеевидное тело, длинный нос и передние лапы, превратившиеся в короткие плавники. Это животное обитало далеко от берега, и суша стала бы для него смертным приговором. Иногда среди окаменелостей в том месте, где у базилозавра должен был находиться желудок, палеонтологи находят остатки трапезы в виде акульных костей. Это животное уже почти укладывается в наши представления о китах. Но миллионы лет *Basilosaurus* жил рядом с полуводными и тюленеподобными китами, которые еще сохраняли в себе признаки сухопутного прошлого.

*Basilosaurus* имел и собственные черты, характерные только для него. Так, его ноздри были сдвинуты назад по морде лишь наполовину по отношению к тому, где у современных китов находятся дыхала. В 1989 г. Джинджерич нашел в Египте окаменелость, которая еще прочнее связала базилозавра с далеким прошлым. На гигантском змеевидном теле морского зверя он обнаружил тазобедренные суставы и прикрепленные к ним задние конечности. Эти конечности были всего по несколько дюймов длиной, но каждое заканчивалось пятью изящными пальчиками.

Как все эволюционные деревья, эволюционное древо китов — всего лишь гипотеза. И подобно всем гипотезам, она не абсолютна. Возможно, совсем скоро новые данные потребуют ее пересмотра или уточнения. К примеру, окажется, что базилозавр — не ближайший родственник современных китов; эту честь вполне может перехватить у него вид под названием *Dorudon*. А пока суд да дело, ученые исследовали гены китов и обнаружили там массу поразительной информации. Китовая ДНК ясно показывает, что киты — копытные млекопитающие, как давно уже определили палеонтологи. Но этого мало: изучение генов позволяет предположить, что ближайшим родственником китов



является одно конкретное копытное млекопитающее — гиппопотам. Палеонтологи засомневались. Дело в том, что бегемоты принадлежат к группе копытных млекопитающих, известных как парнокопытные. У всех парнокопытных путовая кость имеет особую характерную форму и скруглена с двух концов. У мезонихид этого нет. А поскольку киты считались близкими родственниками мезонихид, они не могли быть парнокопытными. Получалось, что результаты анализа ДНК не имеют смысла. Но в 2001 г. Джинджерич с коллегами обнаружил в Пакистане еще один фрагмент ископаемого кита — первый, у которого нашлась путовая кость\*. И у кости этой были скругленные концы, как и в скелете бегемота.

Хотя в вопросе о происхождении китов остается немало неясностей — в том числе весьма существенных, — то, чему нас учит эволюционное древо, по сути не меняется. Кит является рыбой не в большей степени, чем летучая мышь — птицей. Древние киты эволюционировали до форм, очень напоминающих рыб, путем постепенных пошаговых изменений. Но внутри каждого китового плавника по-прежнему находится кисть руки с пальцами и пястью. И если тунец при движении машет хвостом из стороны в сторону, то киты плавают, двигая хвостом вверх и вниз. Это потому, что киты произошли от млекопитающих, которые на земле умели скакать галопом. Первые киты обратили этот галоп в плавательный стиль выдры; они выгибали спину, чтобы крепче оттолкнуться ногами. Со временем появились и новые киты, у которых это движение превратилось в движение хвостом.

Киты пережили необычайный всплеск эволюции, но их история обозначила ее пределы. И это не единственное ограничение. Киты и другие млекопитающие начали свое победоносное наступление не раньше, чем исчезли преобладающие позвоночные

---

\* Современные палеонтологические данные говорят о том, что разнообразие даже ранних млекопитающих было весьма внушительным, хотя в те времена они и не достигали крупных размеров. — *Прим. науч. ред.*

того времени — динозавры и гигантские морские рептилии. Первые млекопитающие появились более 225 млн лет назад, но более 150 млн лет оставались мелкими — размером с белку — и почти неразличимыми между собой. Первые ископаемые остатки представителей большинства современных отрядов млекопитающих появляются лишь после окончания мелового периода, 65 млн лет назад. Только тогда по веткам запрыгали первые приматы, только тогда киты отделились от остальных копытных и начали свое возвращение в океан. Всего за несколько миллионов лет среди млекопитающих появились летучие мыши; возникли гигантские родичи современных носорогов и слонов; появились мощные хищники размером со льва. Млекопитающие пережили собственный эволюционный взрыв, который по масштабам занимает место где-то посередине между кембрийским взрывом и эволюционной вспышкой цихлид в озере Виктория. Начиная с этого момента млекопитающие безраздельно господствуют на земле и в океане. Но произошло это только потому, что с нашей планеты внезапно исчезли миллионы видов — включая морских рептилий и динозавров. Расцвет млекопитающих — не результат стабильного постепенного совершенствования. Нет, это результат внешнего вмешательства — прилетевший из глубин космоса астероид смел с Земли все старое и открыл путь новому\*.

---

\* Космическая гипотеза о вымирании динозавров хотя и обсуждается всерьез рядом палеонтологов, но не является единственной адекватной гипотезой. Особенно важен тот факт, что в действительности вымирание динозавров растянулось на несколько десятков миллионов лет. — *Прим. науч. ред.*

## ВЫМИРАНИЕ

*Как жизнь заканчивается и начинается вновь*

Дарвин почти не думал о вымирании видов. Он, конечно, знал о работах таких натуралистов, как Кювье, утверждавших, что история жизни на Земле время от времени периодически прерывалась катастрофами, каждая из которых расчищала пространство для новых существ. Но Дарвин находился под впечатлением теории постепенных изменений Лайеля и считал теорию катастроф безнадежно устаревшей. «От старого представления о том, что катастрофы время от времени сметают с Земли всех ее обитателей, в основном уже отказались», — написал он в «Происхождении видов».

Для Дарвина вымирание вида — всего лишь уход проигравшего с эволюционной арены. Это не массовое бегство; это лишь тонкий ручеек. Отдельные виды, проигравшие в конкурентной борьбе, покидают этот мир и уходят в небытие. Палеонтологическая летопись могла бы подсказать ученым, что бывают ситуации, когда одновременно вымирает множество видов, — но палеонтология тогда только начинала систематический сбор данных, многое было неизвестно, а что-то могло производить обманчивое впечатление. Дарвин был уверен, что со временем, когда палеонтологи соберут больше данных, эти кажущиеся

катастрофы потеряются на фоне череды постепенного вымирания видов.

Действительно, палеонтологи со времен Дарвина, как он и надеялся, обнаружили множество новых окаменелостей; кроме того, появились методы точной датировки останков. Но вся собранная информация лишь доказывает неправоту Дарвина. Катастрофические волны вымирания — реальность. Несколько таких волн прокатилось по всему живому, мгновенно (по геологическим меркам) уничтожая до 90% видов на Земле. Предполагаемых причин у этих разрушительных волн множество: это и вулканы, и астероиды, и внезапные изменения в составе океанов и атмосферы. Вообще, любое из перечисленных явлений подвергает жизнь на планете серьезному испытанию, а если оно оказывается непомерным — вся экосистема рушится как картонный домик. После катастрофы и массового вымирания жизни требуется не один миллион лет, чтобы восстановить былое разнообразие. В результате массового вымирания жизнь на планете, как правило, кардинально меняется. Прежние доминантные формы исчезают, их место занимают новые. Не исключено, что человечество своим успехом тоже обязано катастрофам.

Кроме того, похоже, что Земля сейчас вступает в новый период массового вымирания видов, и впервые в истории планеты причиной катастрофы является один-единственный вид — мы сами. Первые робкие шаги разрушения наблюдались еще тысячи лет назад, когда человек, впервые появившись в Австралии и на других континентах, перебил там самых крупных местных животных. Но за последние несколько столетий темпы вымирания нарастали, по мере того как человек становился преобладающим видом на планете, вырубая тропические леса и насаждая захватнические виды, вытесняющие естественную жизнь. Не исключено, что в наступающем столетии человек поднимет температуру на планете и тем самым подвергнет дополнительному стрессу виды, которые и так находятся на грани уничтожения.

По некоторым оценкам, в ближайшие сто лет исчезнет более половины всех существующих на Земле видов.

Периоды массового вымирания по-прежнему остаются одной из величайших загадок эволюции. Палеонтологи всего мира, от холмов северной Италии до пустынь Южной Африки, пытаются понять их роль в истории жизни. И это не чисто академическая задача. Разгадка этой тайны помогла бы понять, куда человек направляет ход эволюции. Вообще, понимание человеком законов эволюции — еще одна черта, которая принципиально отличает нынешний период массового вымирания видов от всех предыдущих. Мало того, что один из видов животных стал причиной нового цикла катастрофических изменений, это к тому же вид, способный осознать и отчасти даже контролировать собственную судьбу.

## ВЕЛИКАЯ КРИВАЯ

Примерные контуры истории всемирных катастроф определились к 1840-м гг. Изучая геологические формации, ученые нередко обнаруживали, что окаменелости какого-то вымершего вида встречаются только в определенном слое горных пород. В другом месте, в сотнях миль от первого, окаменелости того же вида были привязаны уже к другим слоям горных пород. Геологи начали связывать горные породы всего мира в единую стратиграфическую систему — восстанавливать величественную картину жизни на Земле и историю ее развития. В 1840-х гг. английский натуралист Джон Филлипс предложил считать, что палеонтологическая летопись описывает три эры: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую (соответственно «древней жизни», «средней жизни» и «новой жизни»). По Филлипсу водоразделом между тремя этими эрами служили периоды массового вымирания видов. Автор даже нарисовал примерную схему развития жизни на листе бумаги. В ходе палеозойской эры разнообразие жизни

на Земле, начавшись практически с нуля, достигло некоторого уровня и колебалось вокруг него, то поднимаясь, то падая, прежде чем рухнуть почти до нуля в конце эры. В начале следующей, мезозойской эры жизнь вновь испытала крутой подъем, а затем вновь упала перед границей с кайнозоем. Доминантные формы каждой эры приходили в упадок в результате массового вымирания, в результате чего на их месте появлялся новый зверинец.

Нарисованная Филлипсом кривая верно, хотя и грубо, отражала ход событий — так проглядывает сквозь туман горная гряда на горизонте. Теперь, спустя полтора с лишним века, туман почти рассеялся. Геологи выстроили доступные горные породы всего мира в хронологическом порядке. Они нашли такие скалы и обнажения, где породы одной эры уступают место породам следующей эры. Они взглянули на изотопные часы, заключенные в этих скалах и обнажениях, и могут теперь точно датировать их. Они собрали всю доступную информацию об окаменелостях по всей планете в обширные компьютерные базы данных. И, как ни странно, кривая Филлипса мало изменилась.

Самая свежая версия этой кривой — труд многих палеонтологов, и в первую очередь покойного Джона Сепкоски из Чикагского университета. Сепкоски потратил на изучение истории и продолжительности существования океанских видов не один десяток лет и составил кривую для родов, лучше всего известных нам по окаменелостям. Его кривая начинается около 600 млн лет назад, в докембрии, когда впервые окаменелостей становится достаточно, чтобы получить достоверную картину массового вымирания видов, и продолжается до сего дня. По вертикальной оси откладывается количество родов морских животных, существовавших в каждой заданной точке.

На протяжении большей части рассматриваемого периода — последних 600 млн лет — уровень вымирания видов был достаточно низким и стабильным. Это «фоновое» значение соответствует тому постепенному исчезновению проигравших

видов, о котором говорил Дарвин. В большинстве своем виды существуют от 1 до 10 млн лет, а новые виды возникают примерно с той же частотой, с какой вымирают прежние. В обычное время пространство жизни напоминает поле со множеством светлячков, олицетворяющих разные виды. В каждый момент времени одни светлячки вспыхивают, а другие гаснут. При этом общее число вспышек остается примерно постоянным.

А теперь представьте себе, что половина светлячков одновременно погаснет. В поле станет темнее, а погасшие светлячки вновь вспыхнут не раньше чем через час. За кембрийский период что-то подобное происходило не единожды. Фоновое вымирание внезапно становится массовым. Подобное происходило в океане и на суше каждые несколько десятков миллионов лет, причем пять катастроф следует выделить особо. В каждом из пяти случаев вымирало больше половины всех существовавших на тот момент видов.

Беспоощадность уничтожения видов намного превосходит все, что мог вообразить Дарвин. Как он не мог догадываться о способах возникновения новых форм жизни, так и пути исчезновения видов показались бы ему удивительными. Вымирание — темная сторона творческой силы эволюции. Условия на нашей планете могут меняться так быстро и неожиданно, что естественный отбор просто не успевает помочь виду адаптироваться и уцелеть. Разрушительные вспышки способны направить ход естественной истории на совершенно иные рельсы.

## МАССОВОЕ ПЕРМСКОЕ ВЫМИРАНИЕ: НА ГРАНИ ПОЛНОГО ИСЧЕЗНОВЕНИЯ

Бывают ситуации, когда разобраться в причинах гибели очень трудно, — идет ли речь о смерти отдельного человека или о вымирании целого вида. В южноафриканской пустыне Карру есть крохотное кладбище на заброшенной ферме. Местные знают,

что в конце XIX в. фермой владела семья Фуше: мать, отец и двое сыновей. Все они умерли в 1890-е гг., но никто не знает отчего. Прошло чуть больше века, а судьба семьи Фуше уже забыта.

Палеонтолог из Университета Вашингтона Питер Уорд ездит в горы, что неподалеку от фермы Фуше, начиная с 1991 г. Здешние горные породы хранят ключи к пониманию крупнейшего за всю историю жизни на Земле массового вымирания видов. Филлипс считал, что вымирание, случившееся 250 млн лет назад, отделяет конец палеозоя от начала мезозоя. (Сегодня палеонтологи называют его пермотриасовым вымиранием, уточняя последний период палеозойской эры (пермский) и первый период мезозойской (триасовой).) Тогда на Земле исчезло 90% всех видов, но причины их гибели скрывает тайна куда более глубокая, чем тайна семейства Фуше, и данных о том, как и почему они исчезли, у ученых почти нет. Уорд каждый год возвращается в пустыню Карру в поисках именно этой информации. «Нам надо понять, что произошло, — объясняет он. — Это важно, потому что законы эволюции, ответственные за это массовое вымирание, могут быть приложимы и к сегодняшнему дню. В настоящий момент мы тоже переживаем массовое вымирание видов, и понимание событий далекого прошлого, возможно, поможет нам понять, как это скажется на Земле».

Сегодня Карру — пустынный горный район, но 250 млн лет назад, еще до массового вымирания, это место выглядело совсем по-другому. «Здесь располагалась большая и широкая речная долина, — говорит Уорд. — И реки здесь текли огромные, размером с Миссисипи. Леса по берегам состояли из растений, не похожих на современные. Цветов не было. Не летали птицы. Этот лес совсем не походил на современную Землю, такую, какой мы ее знаем. Совершенно чуждый незнакомый мир».

Главенствовали в древней Карру рептилии под названием синапсиды, или звероящеры, от которых позже произошли все млекопитающие; 250 млн лет назад среди синапсид были при-



земистые растительноядные, напоминавшие бегемотов, и причудливые плотоядные виды (так, некоторые из них напоминали ящериц с головами саблезубых черепах). К этому моменту у синапсид уже имелись некоторые ключевые признаки млекопитающих. У них появились челюсти и зубы, которыми можно было пережевывать пищу, вместо того чтобы рвать ее на части и глотать целиком. Это позволило развиваться более эффективной пищеварительной системе, что увеличило выносливость животных; ноги у них отходили от тела уже не в стороны, а вниз, придавая силу бегу; да и весь метаболизм был уже скорее теплокровным, чем холоднокровным.

Звероящеры в древней Карру были не одиноки — рядом с ними жили земноводные, черепахи, крокодилы и даже предшественники динозавров, но главенствовали там именно звероящеры. Окаменелости Карру показывают, что в тамошних хвойных лесах и папоротниковых саваннах их было не меньше, чем всевозможных антилоп на равнинах сегодняшней Восточной Африки. Жизненные перспективы синапсид выглядели великолепно. Но в одно геологическое мгновение все изменилось.

«Карру — поразительное место, — говорит Уорд. — Можно сказать, что в палеонтологии это одно из священных мест. На Земле нет другого места, где было бы так много останков звероящеров, где они были бы так легко доступны и так хорошо изучены, по крайней мере на данный момент. Для тех, кто хочет понять, что произошло на суше во время пермского вымирания, здесь настоящий пуп Земли».

В одной из промытых водой впадин на перевале Лутсберг Уорд и его коллеги могут воочию увидеть последние годы пермского периода. Здесь зеленые и оливковые отложения сменяются охряными и красными — знак того, что климат Карру в это время стал жарким и засушливым. Окаменелости четвероногих, которые в изобилии попадают в более древних породах, встречаются все реже и реже. В конечном итоге сохранились

окаменелости всего трех видов синапсид — один из них встречался и раньше, а два других новички: хищник под названием *Moschorinus* и жутковатое бегемотоподобное травоядное под названием *Lystrosaurus*. А после окончания пермского периода в породах — притом в зеленых породах! — вообще отсутствуют признаки жизни.

«Именно в этих слоях произошло массовое вымирание, — говорит Уорд. — Мы совсем не находим ископаемых. Все пермские существа, которых мы видели внизу, полностью исчезли. Мы знаем, что некоторые из них все же уцелели, потому что один-два вида вновь обнаруживаются чуть выше. Но именно в этих слоях — ничего. Мало того, что здесь нет окаменелостей, нет ни отверстий, ни ходов, ни вообще каких бы то ни было следов деятельности животных. Вместо этого мы видим слои породы, которые могли сформироваться только в отсутствие всякой животной жизни. Это массовое вымирание было столь катастрофичным, что вымерла даже всякая мелочь. Не только грозные, но и кроткие. Это мертвое место».

Эти горные породы рисуют картину полного опустошения. По ним видно — и Уорд с коллегами это установили, — что исчезновение деревьев высвободило реки Карру из узких постоянных русел. Они петляли по равнине, как спутанные нити, размывая незащищенную почву. Только в самых верхних слоях промоины вновь появляются окаменелости листрозавров. Только они да еще предки динозавров и синапсиды, более тесно связанные с млекопитающими, и уцелели во время той жуткой катастрофы. Прошли миллионы лет, прежде чем деревья вновь скрепили почву.

Сухопутная жизнь пострадала не только в Карру, но и по всему миру. На Земле погибли едва ли не все виды деревьев, исчезли и многие более мелкие виды растений. Даже насекомые — в первый и последний раз за свою 500-миллионную историю — вымирали в огромных количествах. В океанах катастрофа оказа-

лась еще более опустошительной. Погибали целые рифы. Даже трилобиты — ребристые членистоногие, которые 300 млн лет были самыми распространенными морскими животными, — пали жертвой пермского вымирания\*. Гигантские морские скорпионы, известные как эвриптериды, появились на Земле 500 млн лет назад и 250 млн лет были весьма успешны. Некоторые из этих животных достигали в длину трех метров. В конце пермского периода они тоже полностью вымерли. В общем, по современным оценкам, тогда кануло в небытие 90% всех видов на Земле.

В океанах по крайней мере все произошло стремительно. Стены заброшенной каменоломни рядом с деревней Мэйшань в Южном Китае свидетельствуют как раз об этом — о вымирании морских животных в конце пермского периода. Кроме того, атомы углерода в известняке говорят о глобальной катастрофе. Как известно, известняк складывается из скелетов микроскопических существ. Эти существа берут из воды кальций и двуокись углерода и превращают их в карбонат кальция, из которого и строят скелет. Углерод, который они используют, может происходить из какого-то живого источника — к примеру, из перегнившего листа или мертвой бактерии — или непосредственно из вулкана (тогда это неорганический углерод). Фотосинтез отфильтровывает значительную часть изотопа C-13, поэтому органический углерод отличается по изотопному составу от неорганического. Измеряя соотношение изотопов в известняке, ученые могут определить, сколько органического углерода производилось в то время, когда жили все те существа, скелеты которых образовали эту осадочную породу.

Во время пермского массового вымирания в изотопном составе известняков в Мэйшане наблюдается резкий скачок. По его

---

\* Постепенное угасание этой конкретной группы — трилобитов — началось существенно раньше пермского периода, уже в девонском периоде их оставалось не так много, а к началу пермского периода насчитывалось не более 20 родов. — *Прим. науч. ред.*

характеристикам можно сделать вывод о том, что экосистемы океанов рухнули, и моря на некоторое время наполнились мертвой органической материей. Аналогичный изотопный максимум геологи обнаружили в породах Непала, Армении, Австрии, Гренландии. Но каменоломни Мэйшаня — случай особый; слои известняка в них перемежаются слоями вулканического пепла от извержений, имевших место перед самым началом вымирания и после него. В слоях пепла есть цирконы, точные геологические часы. Иными словами, Мэйшань позволяет примерно определить, как долго длилась катастрофа.

В 1998 г. Сэмюэль Боуринг из Массачусетского технологического института и его коллеги измерили содержание урана и свинца в цирконах, обнаруженных в слоях чуть выше и чуть ниже слоя вымирания и, соответственно, выброса в изотопном составе углерода. Ученые пришли к выводу, что катастрофа длилась не более 165 000 лет, а может быть, и намного меньше. Слои вулканического пепла из других частей Китая дали тот же результат. По геологическим меркам пермское вымирание произошло мгновенно.

Любое объяснение глобальной катастрофы должно укладываться в эти достаточно узкие рамки. Одна из популярных прежде гипотез объясняла вымирание живых существ медленным, но неумолимым и очень сильным падением уровня Мирового океана. Известно, что если 280 млн лет назад водой было покрыто около 40% площади континентов и берегового шельфа, то 250 млн лет назад этот показатель составлял уже всего 10%.

Но если причиной массового вымирания действительно стало отступление океанов, то и процессы эти должны были занять миллионы лет, а не тот краткий период, на который указывают исследования Боуринга. Мировые экосистемы рассыпались как картонный домик, а не как холм, медленно размываемый тальми водами. Ученые ищут другие причины.

В принципе, вулканические извержения могли сделать свое черное дело очень быстро по геологическим меркам. Всего за не-

сколько сотен тысяч лет до глобального вымирания в нынешней Сибири открылись гигантские вулканические жерла и началось излияние лавы. Примерно за миллион лет произошло одиннадцать массивных извержений, жерла выплюнули три миллиона кубических километров лавы — достаточно, чтобы покрыть всю поверхность планеты слоем толщиной 20 метров. Сибирские вулканы могли стать причиной вымирания, резко изменив климат и химический состав воды и атмосферы, которые делали возможной жизнь на планете. Вместе с лавой вулканы могли выпустить громадные облака сульфатов ( $\text{SO}_4^2$ ). В воздухе эти молекулы могли образовать мглистую дымку, отражающую солнечный свет и вызвать охлаждение планеты. Выпаив с неба кислотным дождем, эти капельки могли отравить почву.

И охлаждение, и отравление, вызванное вулканами, были способны быстро погубить большую часть деревьев на планете. Насекомые, которые зависели от растительности напрямую, тоже неминуемо вымерли бы, как и многие позвоночные. Кислотные дожди и холодное облачное покрывало могли продержаться несколько лет. Но и позже, когда тучи рассеялись, разрушительное действие вулканов не прекратилось бы. Сибирские вулканы могли выпустить в атмосферу триллионы тонн двуокиси углерода (углекислого газа), который начал бы поглощать тепло и со временем вызвал бы глобальное потепление. Судя по всему, климат на планете потеплел очень быстро, может быть, всего за несколько десятилетий. Из-за тепловой волны биосфера, которая и так уже пострадала, стала испытывать сильнейшее негативное воздействие.

Эндрю Нолл из Гарвардского университета утверждает, что вулканические извержения могли нарушить тонкое химическое равновесие океанов и тем самым погубить водную жизнь. Существуют свидетельства того, что 250 млн лет назад содержание углекислого газа в глубинах океана поднялось до смертельно высокого уровня. Из органического углерода,

выпадавшего на морское дно, образовался углекислый газ, который из-за слабой циркуляции воды в океане оказался заперт на глубинных уровнях. Вулканические извержения, изменив климат, взбаламутили океан и вызвали подъем углекислого газа из глубин в поверхностные слои. В результате изменилась кислотность крови морских обитателей, и большинство морских видов вымерло.

Ученые пока не определились окончательно, что же стало причиной массового пермского вымирания. Вполне возможно, что причин было несколько. «При тщательном исследовании геологических пород на границе пермского и триасового периодов мы находим очень много указаний на то, что ситуация быстро ухудшалась, причем во многих отношениях, — говорит Уорд. — Мы видим страшную засуху, мы видим рост температуры. Характер течения рек, аккумулятивное осадков на морском дне, уровень океанов менялся — глобальные параметры стремительно менялись в самых разных направлениях. Может быть, это массовое вымирание было вызвано тем, что множество вещей разом провалилось в тартарары».

## ВОЗРОЖДЕНИЕ

Человеческое воображение не в состоянии представить мир сразу после массового вымирания. Наш опыт слишком мал, нам просто не с чем сравнить это грандиозное событие. Разве что извержения вулканов, свидетелем которых было человечество уже в исторические времена, могут хотя бы очень примерно показать нам, как выглядела жизнь 250 млн лет назад — сразу после того, как вымирание прекратилось.

В Зондском проливе между островами Ява и Суматра когда-то находился остров под названием Кракатау. До 1883 г. все, кто проплывал мимо, могли видеть поросшие лесом склоны древнего вулкана. В XVII в. голландцы основали на Кракатау

военно-морскую базу, позже добывали там серу и рубили лес. До XIX в. индонезийцы жили на острове в нескольких деревнях, возделывали рис и перец. К 1883 г. остров был необитаем.

В мае того года вулкан начал погромыхивать. Группа голландских наблюдателей приплыла на остров и поднялась на гребень одного из кратеров, размер которого составлял 980 метров в поперечнике. Они увидели, как пар вырывается из трещин, как в воздух взлетают вулканический пепел и куски пемзы размером с бейсбольный мяч. Затем Кракатау вновь затаился на три месяца, перед очередной вспышкой. 26 августа на острове началось такое извержение, что взрывы были слышны на расстоянии нескольких сотен километров. Столб вулканического пепла поднялся на 30 километров. Грязь дождем сыпалась с потемневшего неба. Облака испаряющихся горных пород понеслись над проливом со скоростью 500 километров в час. Наткнувшись на землю, они двинулись вверх по склонам, испепелив тысячи людей. Во все стороны от Кракатау прокатились цунами, смывая десятки деревень с лица земли. А затем двинулись по земному шару, дойдя аж до Ла-Манша. Несколько месяцев после этого вулканический пепел носился в воздухе, в результате чего во всем мире пылали кроваво-красные закаты. В ноябре 1883 г. жители штатов Нью-Йорк и Коннектикут не раз вызвали пожарных, поскольку при виде красного зарева на западе многие решали, что по соседству пылает целый город.

Через день после окончания извержения корабль «Генерал-губернатор Лудон» прошел мимо Кракатау и доложил, что остров уменьшился втрое. В том месте, где прежде находился вулкан, теперь была яма в сотни футов глубиной, окруженная несколькими жалкими обугленными островками. Ничего живого на Кракатау не осталось, даже мух. Девять месяцев спустя один натуралист, посетивший эти острова, написал: «Несмотря на все поиски, я не смог найти на этих клочках суши никаких признаков растительной или животной жизни, за исключением единственного

крохотного паучка; этот странный пионер возрождения был занят плетением сети».

Через несколько лет острова вновь покрылись тонким живым одеянием. Цианобактерии образовали на поверхности пепла студенистую пленку, затем появились папоротники, мхи и несколько видов цветущих береговых растений. В течение 1890-х гг. там возникла саванна с разбросанными по ней смоковницами и кокосовыми пальмами. Кроме пауков, там жили жуки, бабочки и даже один варан.

От суши новые острова отделяли 43 километра, которые растения и животные должны были пересечь по воде или по воздуху. Семена некоторых растений могли приплыть с течениями Зондского пролива. Варан также мог добраться вплавь, а другие животные могли прибыть на обломках дерева или на растительных «плотах». Пауки достигали Кракатау, сплетая из паутины летающие шарики, которые несли их над водой. Птицы и летучие мыши, включая малайскую летающую лисицу, размах крыльев которой достигает полутора метров, вероятно, прилетели и принесли в своих желудках семена фруктов, которые съели на суше.

При этом жизнь возвращалась на Кракатау не случайным образом. Первыми проникали выносливые, сорные виды, хорошо приспособляющиеся к катастрофам. Со временем появлялись и другие виды, одна за другой возникали экосистемы, каждая из которой прокладывала дорогу для следующей. Первой сформировалась экосистема саванны, так что любое животное, добравшееся до островов, должно было выживать, питаясь той пищей, которую она предлагала. Это удалось изумрудным голубям и степным козодоям, а также питонам, гекконам и многоножкам длиной до 30 сантиметров, а многим другим видам — нет. Остальным пришлось ждать, пока саванна уступит место тропическому лесу.

Некоторым деревьям, чтобы выжить, нужно было появиться на островах в строго определенный момент. Смоковницы,



которым удалось колонизировать новую территорию едва ли не лучше всех, опыляются единственным видом ос; появившись на Кракатау, они могли выжить только при условии, что вскоре после них появятся и эти осы. Очевидно, это невероятное событие произошло: смоковницы начали победное шествие. Животные с удовольствием поедали их плоды, и разнообразие лесного населения росло. Затем появились тенелюбивые виды, такие как орхидеи. В последующие годы лес становился все более зрелым. Появлялся и укоренялся бамбук, а с ним и бамбуковые змеи и другие обитатели бамбуковых рощ.

По мере того как саванна на Кракатау сменялась лесом, многие виды-первопроходцы пропадали. Так, полосатая горлица исчезла с острова в 1950-е гг. Другие виды влачат жалкое существование на открытых участках — там, где упавшее дерево создало просвет в кронах. Сегодня, спустя 120 лет после катастрофы, поток иммигрантов значительно уменьшился. Похоже, экосистема Кракатау приближается к равновесию.

Теорию о том, что на островах должно существовать равновесие разнообразия, выдвинули в 1960-е гг. два эколога, Роберт Макартур и Эдвард Уилсон. Они утверждали, что по размеру острова можно предсказать, сколько видов он может вместить. У первых прибывающих на остров видов достаточно места для свободного распространения. Когда видов становится много, им приходится конкурировать за пищу или солнечный свет, так что число видов может сократиться. Появление большого количества хищников ведет и к уменьшению численности их жертв. Если популяция какого-то вида на острове становится слишком маленькой, любой ураган или какая-нибудь болезнь может уничтожить последние несколько особей. Иными словами, прибытие новых видов увеличивает риск вымирания для всех представленных на острове.

Итак, полным числом видов на острове управляют два фактора — появление новых видов, которые прибывают извне или формируются на месте, и вымирание существующих в ре-

зультате конкуренции. Со временем биологическое разнообразие на острове достигает точки равновесия. Равновесное число видов зависит от его размеров. На маленьком островке мало места и всего несколько экосистем; значит, конкуренция там будет жестче, вымирание интенсивнее, а видов станет меньше. Более крупные острова могут вместить больше видов. До взрыва на Кракатау, вероятно, было больше видов, чем на любом из мелких островков, которые остались после катастрофы.

До извержения Кракатау его видовой состав никого не интересовал. Но и та скудная информация, которая сохранилась, говорит о том, что с точки зрения экологии новые острова не похожи на старый. В свое время один исследователь нашел на берегах пять видов сухопутных моллюсков; сегодня их девятнадцать, причем ни один из них ранее не был представлен. Леса, которые выросли на новых островах, также не похожи на прежние: в них доминируют другие виды деревьев.

Когда экосистема восстанавливается после катастрофы, она, вероятно, следует правилу Макарутура и Уилсона о разнообразии, но ни в коем случае не повторяется. Освободившиеся экологические ниши спешат занять другие виды. Судьба Кракатау в значительной мере определялась тем, какие виды растений и животных попадут туда первыми и сколько у них будет времени, прежде чем появятся конкуренты.

В начале триасового периода весь мир походил на лоскутное одеяло, составленное из таких вот Кракатау. Виды, сумевшие уцелеть в жутких условиях, теперь могли не опасаться конкуренции; подобно сорнякам, они расселились на многие тысячи миль. На прибрежных волнах на мелководье покачивались ковры из бактерий, которые никто не ел. Немногочисленные выносливые виды животных и растений тоже процветали. Единственный вид двустворчатых моллюсков *Claraia* без помех размножался в мелких морях запада США; сегодня можно пройти многие мили по мостовым из их окаменелых раковин. На суше пышные

джунгли сменились заплатками шильника и некоторых других уцелевших видов, неинтересных с ботанической точки зрения, таких как кукуруза в штате Айова. Шильник принадлежит к примитивной ветви растительной эволюции, которая к тому моменту, 250 млн лет назад, уже проиграла в конкурентной борьбе голосеменным растениям (группе, в которую входят хвойные деревья). Но шильник способен выдерживать суровые условия, от которых гибнет большинство голосеменных, так что массовые вымирания идут ему только на пользу.

Целых 7 млн лет жизнь на Земле едва теплилась. Исследователи не знают, почему это продолжалось так долго; может быть, климат и химический состав океанов все это время оставались враждебными и позволяли выжить лишь самым закаленным. Но даже после того как пришли в норму физические условия на планете, экосистемам потребовалось немало времени на восстановление. Леса, к примеру, могут вырасти только там, где предыдущие поколения растений успели подготовить для них достаточный слой почвы.

Экосистемы, хотя и потихоньку восстанавливались, но прежними уже не стали. Океанские рифы, формировавшиеся прежде из водорослей и губок, теперь сооружались колониальными животными под названием мадрепоровые кораллы; из них и сегодня состоит большинство рифов на Земле. До массового вымирания на рифах, как правило, главенствовали медлительные животные или такие, которые намертво прикреплялись к известковому основанию, — морские лилии, мшанки, плеченогие. Сегодня на Земле живут лишь остатки всех этих групп. После пермского вымирания, однако, первые роли на рифах стали играть рыбы, ракообразные и морские ежи.

На суше шильник и другие выносливые растения восстановили почвенный слой, после чего из укрытий выбрались уцелевшие хвойные и другие растения. Всего за полмиллиона лет они вновь потеснили шильник, восстановили леса и кустарни-

ковые пустоши. Но, как мы уже говорили, воспрянув после массового вымирания, жизнь на Земле изменилась навсегда. Так, если до вымирания среди насекомых доминировали стрекозы и другие виды, которые держат крылья всегда расправленными, то после катастрофы наибольшее распространение получили насекомые со складчатыми крыльями — это и до сих пор так.

Почти все синапсиды, бывшие до пермской катастрофы многочисленными и разнообразными и преобладавшие среди позвоночных, исчезли. За время восстановления экосистем звероящеры так и не сумели вернуть себе прежнее доминирующее положение. Большее распространение получили пресмыкающиеся; среди них появилось много новых форм, к примеру, крокодилы и черепахи. И примерно 230 млн лет назад одна стройная двуногая рептилия дала начало динозаврам. Динозавры быстро заняли место главных наземных позвоночных и удерживали его затем в течение 150 млн лет.

Пермское вымирание показывает, что в теории катастроф Кювье все же есть рациональное зерно. За одно геологическое мгновение миллионы видов могут быть стерты с лица земли; при этом жизнь, которая принимает эстафету после катастрофы, как правило, принципиально отличается от той, что была прежде.

При массовых вымираниях обычные законы эволюции на некоторое время перестают действовать. В конце пермского периода природные условия внезапно стали настолько суровыми, что большинство видов их не вынесло. Виды исчезли, экологическая сеть, часть которой они составляли, рухнула — и сработал принцип домино: вымирание одних видов влекло за собой вымирание других и т. д. Должно быть, некоторые из уцелевших видов обладали определенными качествами, которые и позволили им выжить. Возможно, их ареалы охватывали целый континент или океан, что для вида увеличивало шансы на то, что хотя бы несколько особей сумеют выжить в каком-нибудь изолированном убежище. Может быть, они способны были выдерживать

низкое содержание кислорода в морской воде или резкое повышение температуры на суше. Но большинство подобных приспособлений имело значение лишь в течение того относительно короткого времени, когда на Земле воцарился ад.

Когда же период массового вымирания закончился, эволюция вновь установила свои обычные правила. Вновь возникла конкуренция между особями и между видами, и естественный отбор принялся изобретать все новые пути специализации. Но поколения, которые могли бы выдвинуться, играя по этим нормальным правилам, никак не могли оказаться среди победителей, если не пережили катастрофы.

Массовые вымирания всегда влекут за собой целую цепь изменений. Они устраняют со сцены доминантные формы жизни, которые при нормальных условиях подавили бы в зародыше всякую конкуренцию со стороны перспективных новых видов. Без этой неравной борьбы уцелевшие виды получают возможность экспериментировать, пробовать новые формы. Возможно, динозавры появились только потому, что со сцены ушли лидеры — синапсиды.

Тем не менее свобода, которую приносят выжившим массовые вымирания, не беспредельна. Даже после пермской катастрофы, когда конкуренция практически исчезла, эволюция не смогла изобрести ни одного нового типа живых существ. Ни одна линия позвоночных не отрастила у себя по девять ног. Не исключено, что после пермского вымирания животные стали уже слишком сложными, чтобы эволюция могла их радикально переделывать. Теперешняя эволюция работала только с вариациями уже сложившейся базовой структуры.

## МЛЕКОПИТАЮЩИЕ: СКРОМНОЕ НАЧАЛО

Еще немного и пермское вымирание могло оказаться роковым, и тогда млекопитающие никогда не появились бы на свет. До три-

асового периода дожили лишь несколько видов синапсид, и численность большинства из них еще долго падала — динозавры набирали силу, а звероящеры отступали. Но одна из линий синапсид продолжала развивать у себя приспособления и качества, необходимые для жизни млекопитающих.

Эти синапсиды внешне напоминали собак и получили название цинодонты. Именно у них появился новый тип скелета: грудная клетка и диафрагма позволили им глубже дышать и, соответственно, добавили выносливости. Вероятно, именно в этот момент у них появилась шерсть. Кроме того, цинодонты начали кормить своих детенышей специальным секретом; скорее всего, у них появились кожные железы, выделявшие особую жидкость, которую малыши могли глотать. Возможно, поначалу это «молоко» было своего рода жидким антибиотиком и помогало детенышам бороться с инфекциями, но со временем эволюция добавила в него белки, жиры и другие вещества, которые помогали детенышам млекопитающих быстрее расти. Все эти новинки помогали предкам млекопитающих поддерживать свой метаболизм на более высоком уровне и удерживать температуру тела постоянной. В результате они получили возможность занимать новые экологические ниши, на которые не покушались холоднокровные позвоночные, — к примеру, они могли охотиться по ночам. Высокий уровень обмена веществ позволил также некоторым поколениям этих животных эволюционировать в более мелкие формы. (Мелким животным труднее удерживать тепло, потому что отношение площади поверхности тела к его массе у них больше, а именно от него зависит, как быстро тепло теряется.)

Эти мелкие протомлекопитающие обладали более острыми чувствами, чем их предки; и чтобы разбираться с новыми сенсорными потоками, они развили у себя вокруг головного мозга новую кору. Этот слой, известный как неокортекс, занимался сортировкой входного потока запахов, звуковых и зрительных ощущений, превращением всего этого в сложные воспоминания

и использованием их для познания окружающего мира. Теплокровные млекопитающие могли в полной мере использовать возможности неокортекса, поскольку высокий уровень метаболизма требовал постоянной подпитки. Змея может съесть крысу и несколько недель ни о чем не беспокоиться, но млекопитающие не могут долго существовать без пищи. Большой мозг с неокортексом позволял им составлять в голове карту мест, где можно найти еду, и прочно запоминать ее.

Нам, людям, это достижение представляется принципиальным — ведь мы так гордимся собственным мозгом. Нам кажется, что это событие должно было мгновенно изменить ход эволюции. Но для большой семьи синапсид оно не имело особого значения. Вообще, синапсиды, едва оправившись от пермской катастрофы, в конце триасового периода уже вновь двигались к вымиранию.

«Мы считаем, что способ существования млекопитающих — самый лучший, — говорит Уорд. — Это было не так. В соревновании с млекопитающими победили динозавры. Они захватили весь мир. Мы говорим об эпохе динозавров, не надо забывать, что они вырвали лидерство у млекопитающих».

На протяжении полутора сотен миллионов лет динозавры были самыми распространенными наземными позвоночными. Именно в их рядах родились самые крупные животные, когда-либо ходившие по земле. В 1999 г. ученые нашли в Оклахоме куски позвоночника одного из длинношеих динозавров, получившего название *Sauroposeidon*. По размеру позвонков палеонтологи определили, что в высоту это животное было с шестизэтажный дом. *Sauroposeidon* мог раздавить крупнейшее млекопитающее мезозоя как скорлупку. Ни одно из этих существ не весило и двух килограммов; иногда палеонтологи, занимающиеся их поисками, просеивают тонну породы и находят единственный зуб размером с булавочную головку.

«Млекопитающие — древние животные, не менее древние, чем динозавры», — говорит палеонтолог Майкл Новачек из Аме-

риканского музея естественной истории. «Но первые примерно 160 млн лет своего существования они выглядели не слишком выигрышно. На самом деле они жили в тени динозавров и были по большей части мелкими, вероятно, ночными животными. Они не имели особых преимуществ».

Тем не менее млекопитающие, как бы скромно они ни выглядели, в эпоху динозавров продолжали жить и эволюционировать. Они разветвились на множество линий, одни из которых давно вымерли, а другие живут на Земле до сих пор. Утконос принадлежит к древнейшей уцелевшей до настоящего времени линии млекопитающих, известной как однопроходные или яйцекладущие. Однопроходные сохранили до наших дней некоторые особенности, которыми 160 млн лет назад обладали и наши предки. Они гораздо слабее контролируют температуру тела по сравнению с более поздними млекопитающими. Самки однопроходных не рожают живых детенышей; вместо этого они откладывают яйца размером с горошину в мягкой оболочке и носят их в специальной складке на животе. Вылупившись из яиц, детеныши питаются молоком, которое выделяют млечные железы утконосехи. (В тот момент, когда однопроходные отделились от основной ветви млекопитающих, сосков в природе еще не существовало.)

Около 140 млн лет назад эволюция млекопитающих произвела на свет две ветви, которым суждено было достигнуть наибольших успехов. Одна из них — сумчатые; сюда входят такие современные животные, как кенгуру, опоссум и коала. Самцы сумчатых оплодотворяют яйца в сдвоенной матке самки при помощи раздвоенного пениса. Оплодотворенные яйца не формируют оболочки; несколько недель зародыш развивается внутри матери до размеров рисового зерна, а затем выползает из матки. Он забирается в сумку на животе матери и сжимает челюсти на соске.

Другая линия дала начало таким млекопитающим, как мы с вами, — плацентарным. В отличие от сумчатых, плацентарные



млекопитающие позволяют своим детенышам расти в матке до гораздо более крупных размеров. Это возможно потому, что детеныш в матке окружен плацентой — специальной тканью, способной извлекать питательные вещества из тела матери. Плацентарные млекопитающие рождаются гораздо более развитыми, чем сумчатые. В некоторых случаях — к примеру, у кроликов — они рождаются слепыми и должны некоторое время оставаться в норе. Однако в других случаях — к примеру, у дельфинов или лошадей — они почти сразу способны двигаться самостоятельно и следовать за матерью.

У нас почти нет ископаемых остатков плацентарных млекопитающих из ныне существующих отрядов старше 65 млн лет, но те немногие, что все же имеются, позволяют предположить, что разделение их на современные отряды началось примерно 100 млн лет назад. Из первой отделившейся линии много позже получились муравьеды, ленивцы и броненосцы. У этих животных отсутствуют многие черты, характерные для остальных плацентарных млекопитающих; к примеру, у их матки нет шейки, а уровень обмена веществ у них хотя и выше, чем у утконоса, но заметно уступает метаболизму других плацентарных. Тот факт, что эти млекопитающие отделились первыми, не означает, что следует искать в них недостающее звено нашей собственной эволюции (точно так же, как не стоит искать недостающее звено человеческой эволюции в обезьянах). Это не означает, что мы происходим от броненосцев, ленивцев или муравьедов; это не означает даже, что у наших предков было бронированное тело как у броненосцев, когти, позволяющие висеть на дереве вниз головой, как у ленивцев, или длинные языки, как у муравьедов. Разделившись, обе линии млекопитающих продолжили эволюционировать независимо, развивая у себя все новые приспособительные механизмы.

Палеонтологи предполагают, что другие отряды современных млекопитающих сформировались около 80 млн лет назад.

Среди насекомоядных со временем появились кроты, землеройки и ежи. Плотноядные породили собак, кошек, медведей и тюленей. Грызунообразные позже разделились на грызунов и зайцев. Копытные дали начало лошадям, верблюдам, китам, носорогам и слонам. В рядах архонтов со временем появились летучие мыши, тупаи — и наша собственная ветвь, приматы. Но до всего этого разнообразия оставались еще десятки миллионов лет. Предки современных плацентарных млекопитающих были практически неотличимы друг от друга. Потребовалось еще одно массовое вымирание, чтобы млекопитающие смогли показать, на что они способны.

## СМЕРТЬ С НЕБЕС

В северной Италии можно найти чудесный розовый известняк, который здесь называют *Scaglia rossa* и любят использовать для строительства вилл. К северу от городка Губбио есть ущелье Боттачоне; его стены на всю глубину — 350 метров — состоят из этого красивейшего камня. Геологи определили, что порода на дне ущелья сформировалась 100 млн лет назад, когда плацентарные млекопитающие только начинали расходиться на современные группы. Слой этой горной породы формировался непрерывно в течение следующих 50 млн лет. Его формирование продолжалось и 65 млн лет назад, в конце мелового периода, когда динозавры вымерли — и одновременно с ними вымерло 70% всех видов живых существ на планете. Он продолжал формироваться еще 15 млн лет; к концу этого периода млекопитающие успели стать доминирующими позвоночными суши. Интересно отметить, что между породами мелового периода и следовавшего за ним палеоцена залегает тонкая — всего полдюйма толщиной — прослойка глины, напоминающая кремевую прослойку торта. Ниже этой прослойки в породе содержится карбонат кальция из планктонных скелетов; собственно, их тела в основном и составляют эту горную породу.

В глинистой прослойке никакого планктона нет; выше вновь начинается известняк, но многие прежние виды планктона в нем отсутствуют. Не исключено, что именно в момент, соответствующий тонкой глинистой прослойке, определилась и наша судьба: эта прослойка — след глобальной катастрофы, которую наши предки пережили, а динозавры нет.

В середине 1970-х гг. американский геолог Уолтер Альварес увез с собой образцы этой глины. Он надеялся отыскать в толще розового известняка точную границу между меловым и третичным периодами и точно ее датировать. При благоприятном обороте дел он надеялся найти способ определять эту границу в других горных породах по всему миру. Каждые несколько миллионов лет магнитное поле Земли как бы переворачивается, меняет полярность, так что стрелка компаса, вместо того чтобы указывать на север, начинает упрямо смотреть на юг, и наоборот. Магнитное поле заставляет кристаллы в горных породах выстраиваться вдоль силовых линий, и геологи даже по прошествии миллионов лет могут определить их направление. Альварес хотел найти горные слои выше и ниже границы, образовавшейся в момент изменения полярности магнитного поля планеты. Тогда можно было бы по аналогичной последовательности находить момент изменения полярности в любых других породах.

По возвращении домой Альварес показал образцы своему отцу Луису. Луис Альварес сам не был геологом, но всю жизнь в науке стремился к новому и неожиданному. В 1968 г. он был удостоен Нобелевской премии по физике; участвовал в изобретении пузырьковой камеры, которая позволила обнаружить многие элементарные частицы; в поисках скрытых гробниц он просвечивал египетские пирамиды рентгеновскими лучами. Образцы горных пород, привезенные сыном, очень его заинтересовали. Что такое могло произойти в океанах в конце мелового периода, чтобы на время остановить, а потом вновь запустить процесс формирования осадочных пород?

Уолтеру Альваресу не удалось осуществить свой план и отыскать палеомагнитные маркеры для границы мелового и третичного периодов. В конце мелового периода север и юг менялись местами слишком медленно, чтобы по этим данным можно было что-то всерьез датировать. Но у Луиса появилась другая идея — использовать для датировки постоянный поток межзвездной пыли, выпадающей на Землю. Не секрет, что метеориты и другие объекты, дрейфующие в космосе, по составу сильно отличаются от земных пород. К примеру, в них содержится гораздо больше редкого элемента иридия. (Большая часть иридия, участвовавшего 4,5 млрд лет назад в формировании расплавленной Земли, вместе с другими тяжелыми металлами погрузилась в ядро.) Каждый год из космоса в атмосферу Земли попадают тонны космического вещества в виде микроскопических частиц; они равномерно рассеиваются в атмосфере и выпадают на поверхность суши и моря. Уолтер и Луис решили выяснить, каким образом можно измерить скорость выпадения иридия при помощи измерения содержания этого элемента в горных породах Губбио.

До них этим методом безуспешно пытались воспользоваться другие ученые, но Альваресы, к счастью, этого не знали. Они измерили содержание иридия в породах конца мелового периода и получили чрезвычайно высокие значения — в тридцать раз больше, чем в образцах известняка, которые Уолтер взял чуть ниже и чуть выше глиняной прослойки. Непрерывный космический дождь просто не мог принести с собой столько иридия. Но измерения Альваресов не были ошибкой или случайным выбросом: датские ученые при исследовании пород конца мелового периода неподалеку от Копенгагена обнаружили в них еще больше иридия.

Альваресы стали думать: откуда могла Земля в конце мелового периода получить громадное количество иридия. Из космоса? Такой вариант вполне согласуется с безумной гипотезой палеонтолога по имени Дейл Рассел. Динозавры (по крайней мере крупные)

исчезли в конце мелового периода во время массового вымирания, которое, согласно оценкам, унесло с собой 70% всех видов, включая гигантских морских рептилий и птерозавров, наполнявших до этого небеса. Рассел высказал предположение о том, что причиной катастрофы могла стать звезда, взорвавшаяся по соседству с Солнцем. Взрыв сверхновой высвободил бы потоки заряженных частиц, которые, пройдя сквозь пространство, выпали бы на Землю и стали причиной многочисленных мутаций и смерти.

Альваресы знали, что иридий — один из тех элементов, что возникают при взрыве сверхновой. Может быть, вместе со смертельными заряженными частицами сверхновая могла послать в сторону Земли и волну иридия? Однако, разобравшись в идее Рассела подробнее, Альваресы поняли, что сверхновая тут ни при чем. Помимо иридия, взрыв звезды порождает плутоний-244, который непременно оставил бы свой след в глиняной прослойке в Губбио, а Альваресы ничего подобного там не нашли.

Вместо этого их мысли обратились к другой возможности. Что если Земля в то время столкнулась с кометой или астероидом? Луис вспомнил то, что читал когда-то о взрыве Кракатау, — его извержение выбросило в атмосферу 18 кубических километров пыли, при этом четыре кубических километра пыли оказались в верхних слоях стратосферы. Два года быстрые ветры носили пыль вокруг планеты; пыль заслоняла солнце и заставляла закаты пылать огнем. Луис предположил, что столкновение с гигантским астероидом могло сработать аналогично взрыву Кракатау, только во много раз сильнее. Он рассуждал, что при столкновении астероида с Землей его остатки должны были вернуться в атмосферу вместе с земными породами, вытесненными из кратера. Вместе они образовали бы вокруг планеты плотное темное покрывало. Без солнца должны были погибнуть растения и фотосинтезирующий планктон в океанах, что вызвало бы голод и массовую гибель травоядных, а вслед за ними и хищников.

Согласно расчетам Альваресов, метеорит — виновник всего этого — должен был быть 10 километров в поперечнике. Это как если бы в нашу планету с огромной скоростью врезалась гора Эверест. На заре истории Земли подобные столкновения не были редкостью, но 3,9 млрд лет назад они практически прекратились. Начиная с этого момента гигантские астероиды и кометы сталкивались с Землей, вероятно, не чаще одного раза в 100 млн лет. Поэтому предполагаемое столкновение в конце мелового периода могло быть редким, но далеко не уникальным явлением.

В 1980 г. Альваресы опубликовали свою гипотезу, и в следующее десятилетие уже другие геологи занимались поисками доказательств и пытались выяснить, что на самом деле произошло в конце мелового периода (иногда этот период называют границей К/Т). Чем дальше, тем больше обнаруживалось свидетельств того, что 65 млн лет назад в нашу планету врезалось что-то огромное. В ста с лишним местах по всему миру геологи нашли глиняную прослойку, отмечающую конец мелового периода, — и в ней неизменный иридий. Исследователи также обнаружили в глине кусочки ударно-метаморфизованного кварца, который мог возникнуть только под громадным давлением — к примеру, таким, какое возникает в момент столкновения и взрыва.

Тем не менее больше десяти лет Альваресы не могли найти кратер, который должно было обязательно оставить такое столкновение. Возможно, конечно, что удар пришелся на океан, и тогда все следы его давно скрылись под слоем донных отложений, или движение тектонических плит затянуло их в мантию Земли, или скрыло извержение какого-нибудь вулкана. Но Альваресы продолжали искать пресловутое «дымящееся ружье». Их настойчивость объяснялась, в частности, тем, что критики их теории в то время уже готовили альтернативное объяснение. Кое-кто утверждал, что вулканы, которые очень подходят на роль злодея в другом, пермском массовом вымирании 250 млн лет назад, могли быть причиной и этой катастрофы. Если в конце перм-

ского периода многочисленные извержения покрыли сплошным слоем лавы Сибирь, то в конце мелового периода настала очередь Индии. В принципе, эти извержения могли принести из глубин Земли иридий и создать давление, необходимое для возникновения ударно-метаморфизованного кварца.

Геологи продолжали искать кратер, и в 1985 г. появились первые подсказки. В Техасе были найдены интересные залежи; они относились к концу мелового периода и содержали крупный песок и гальку. Их могло занести в это место только гигантским цунами, возникшим южнее этого места. Возможно, рассудили исследователи, столкновение действительно породило гигантские волны. Одновременно на Гаити другие геологи нашли породы того же периода, содержавшие стеклянные гранулы, которые, согласно предсказаниям, должны были сформироваться при быстром остывании расплавленной породы, выброшенной в атмосферу. В отличие от пыли и паров, выброшенных взрывом, эти частицы были тяжелыми и не могли улететь далеко. Ученые поняли, что искомый кратер должен находиться на расстоянии нескольких сотен миль от Гаити, не больше. И следы цунами, и стеклянные гранулы указывали на то, что столкновение произошло неподалеку от Мексиканского залива.

В 1950-х гг. мексиканские геологи обнаружили остатки гигантской кольцевой структуры конца мелового периода, погребенной в джунглях недалеко от побережья полуострова Юкатан. На некоторое время о нем практически забыли, но после находок на Гаити и в Техасе затерянный кратер приобрел новое значение. Геологи вооружились оборудованием для поиска погребенных скальных формаций по тончайшим флуктуациям поля тяготения и вновь посетили кратер (названный Чикшулуб по названию соседнего городка). Они нанесли на карту два концентрических кольцевых образования правильной формы. Все признаки указывали на то, что в этом месте под слоем осадочных пород погребен кратер размером около ста миль. Другие исследователи пробу-

рили несколько скважин, подняли на поверхность и датировали образцы породы из колец. Возраст пород — 65 млн лет — соответствовал как иридиевым маркерам Альваресов, так и возрасту стеклянных гранул на Гаити.

В 1998 г. геолог Фрэнк Кайт из Университета Калифорнии в Лос-Анджелесе обнаружил кусочек того, что, возможно, врезалось в Юкатан в конце мелового периода. Он исследовал керн, извлеченный из скважины на дне Тихого океана. В темно-коричневой глине было полно иридия и ударно-метаморфизованного кварца, что означало, как мы уже говорили, границу мелового и третичного периодов. Кайт разрезал глину и обнаружил внутри одинокий камешек два миллиметра в поперечнике. По химическому составу он не походил на земные породы, но точно соответствовал многим метеоритам. Кайт предположил, что это осколок гигантского астероида. В момент столкновения в Чикшулубе он откололся от основной части, взлетел высоко над Юкатаном, в стратосферу, и уже оттуда угодил в Тихий океан.

Пока геологи пытались разобраться, что за астероид столкнулся с нашей планетой 65 млн лет назад, другие исследователи занимались поиском данных о том, как это столкновение повлияло на жизнь. Выяснилось, что в конце мелового периода Юкатан был покрыт мелким, менее 100 метров глубиной, морем, дно которого составляли богатые серой и углеродом породы. Возможно, тень астероида перед самым падением накрыла плавающих здесь гигантских ящериц. Астероид вошел в атмосферу Земли со скоростью от 20 до 70 километров в секунду; возникла сильнейшая ударная волна, а сам астероид обзавелся огненным хвостом. На тысячи километров кругом были повалены все деревья.

Компьютерные модели позволяют предположить, что в момент удара о воду могла возникнуть гигантская волна цунами высотой до 300 метров. Вода обрушилась на берег, унося с со-



бой целые леса; деревья оказались затопленными на глубине 500 метров. Сразу после столкновения с водой астероид ударил в дно океана и испарил 100 кубических километров породы. Осколки породы и самого астероида от удара взлетели на 100 километров вверх, выше стратосферного слоя. Планета вздрогнула от землетрясения в 1000 раз более мощного, чем все те катаклизмы, свидетелем которых было человечество. Бурение в Атлантике показало, что удар спровоцировал подводные оползни вдоль восточного побережья Северной Америки до самой Новой Шотландии. После этого из кратера поднялся огненный шар диаметром в сотни километров. Вероятно, почерневшее небо наполнилось тысячами падающих звезд — кусков расплавленной породы; они носились над планетой, вызывая все новые и новые пожары.

Земля горела. Дым закрыл солнце. Растения и фитопланктон погибли в бесконечной тьме, и экосистемы, основой которых они были, погибли тоже. Через несколько месяцев дым рассеялся, но мир, вполне возможно, остался темным и холодным. Не исключено, что удар испарил залежи юкатанских сульфатов, и частицы серы, соединяясь с кислородом воздуха, формировали капельки двуокиси серы. В результате Землю окутала туманная дымка, способная отражать солнечный свет; такое положение могло сохраняться лет десять. Но по мере рассеивания дымки на планету обрушилась другая напасть, тоже результат удара: климат резко потеплел. Углерод из осадочных пород, поднятых в атмосферу, превратился в парниковый углекислый газ; кроме того, астероид наполнил атмосферу водяным паром, а это еще более эффективный парниковый газ.

Жара, холод, пожары и другие катастрофы, вызванные столкновением, могли стать причиной вымирания двух третей всех видов живых существ Земли. Альваресам удалось найти единственную причину мелового вымирания — но, как и в случае с пермской катастрофой, способов воздействия у нее было множество.

## МЛЕКОПИТАЮЩИЕ ПРИНИМАЮТ ЭСТАФЕТУ

Когда небеса наконец расчистились после столкновения, оказалось, что меловой период закончился. Гиганты исчезли. Длинношеие зауроподы, съедавшие и перерабатывавшие целые леса, вымерли; вымер и *Tyrannosaurus rex*, и другие крупные плотоядные динозавры. Из морей исчезли гигантские водные рептилии и аммониты в спиралевидных панцирях. Прошло несколько тысяч лет, и океаны вновь наполнились планктоном, а суша — растениями. Но экосистемы начала третичного периода отличались своеобразным перекосом — они были богаты производителями в нижних звеньях пищевых цепочек и бедны потребителями на верхних уровнях.

Как бывало уже не раз, массовое вымирание открыло дорогу для нового всплеска эволюции: вслед за эрой динозавров наступила эра млекопитающих. «Вымирание динозавров позволило млекопитающим эволюционировать и занять множество экологических ниш, которые прежде были для них недоступны, — говорит Уорд. — Именно исчезновение динозавров, их вымирание привело к возникновению в ходе эволюционного процесса бесчисленных линий млекопитающих. В этом смысле катастрофа была полезна. Если бы не это массовое вымирание, человека на Земле не было бы».

Вообще, во время меловой катастрофы млекопитающие пострадали точно так же, как все остальные; по оценкам ученых, с лица земли исчезло две трети их видов. Но те, что уцелели, наследовали землю. За 15 млн лет после мелового вымирания эти животные эволюционировали в двадцать отрядов современных плацентарных млекопитающих и множество других, ныне вымерших отрядов. Поначалу новые млекопитающие оставались мелкими и не слишком заметными. Копытные размером с енота объедали нижние листья с кустов, а на них охотились хищники размером с ласку. Но за несколько миллионов лет они вышли

из прежних экологических ниш и заняли новые — те, где раньше властвовали динозавры. Картина переменялась. Гигантские родственники носорогов и слонов обирали листья с деревьев и кустов. Предки сегодняшних кошек и собак охотились на травоядных; некоторые млекопитающие стали падальщиками, приспособились объедать трупы и дробить кости. По деревьям носились приматы; цветное зрение позволяло им выбирать самые спелые фрукты. Летучие мыши из существ, напоминающих современных землероек, эволюционировали в сотни летающих видов, одни из которых питались фруктами, а другие охотились на насекомых и лягушек при помощи эхолокатора. Киты и предки сегодняшних дюгоней и ламантинов колонизировали моря.

Млекопитающие остаются главными сухопутными позвоночными вот уже 65 млн лет, но это не значит, что им не приходилось преодолевать собственные эволюционные кризисы. Современный климат на планете мало напоминает тот, что стоял в начале эры млекопитающих. Между 65 и 55 млн лет назад на Земле активно действовали вулканы. Выброшенный ими углекислый газ вызвал в атмосфере парниковый эффект, и планета постепенно разогрелась до такой степени, что за Северным полярным кругом росли пальмы, а Канада скорее напоминала сегодняшнюю Коста-Рику. В джунглях Вайоминга обитали лемуноподобные приматы.

Земля уже никогда не будет такой жаркой. Последние 50 млн лет средняя температура на планете падает и лишь иногда наблюдаются короткие всплески тепла. Возможно, отчасти в этом виноваты Гималаи. Когда Индия столкнулась с Азией, в месте столкновения выросла гигантская горная страна. Дожди, выпадавшие на вновь образовавшиеся склоны, несли с собой растворенный углекислый газ; двуокись углерода вступала в реакцию с горными минералами; ручьи и реки уносили полученные вещества в море, где они навсегда откладывались на дне. Не исключено, что со временем Гималаи забрали из атмосферы столько углекислого газа, что климат стал заметно прохладнее. Одно-

временно с горным хребтом при столкновении образовалось и Тибетское нагорье севернее Гималаев. Этот громадный купол перекроил тип погоды по всей Южной Азии, к которой теперь присоединилась и Индия. Воздух, проходивший над плато, нагревался и поднимался вверх, затягивая на освободившееся место влажный океанский воздух. Такая синоптическая ситуация породила муссоны Индии и Бангладеш и принесла в Гималаи дополнительные дожди. Связывание углекислого газа из атмосферы даже ускорилось, а парниковый эффект, соответственно, ослабел.

В океанах тоже происходили изменения. В меловой период Антарктика находилась гораздо севернее, чем теперь, и была такой теплой, что на ее побережьях комфортно себя чувствовали и динозавры, и деревья. Однако со временем этот континент отодвинулся от Австралии к югу; его изоляция все усиливалась, и наконец он оказался на самом полюсе. Сверху образовался не тающий лед, который, отражая солнечный свет, еще сильнее охлаждал атмосферу.

Зимы становились все холоднее, и постепенно тропические леса в Северной Америке прекратили существование. Млекопитающие, которые не могли выжить без них, такие как приматы, тоже исчезли. Джунгли уступили место широколиственным деревьям, почти таким же, какие мы наблюдаем вокруг, и кустарникам. По мере того как содержание углекислого газа в атмосфере падало, появлялись новые разновидности растений, способные поглощать его более эффективно. Среди этих новых растений были, к примеру, травы; в результате около 8 млн лет назад сформировались первые обширные луга.

Трава содержит в себе много прочной жесткой целлюлозы и даже стекловидного кремнезема, и есть ее гораздо труднее, чем мягкие фрукты и листья, которые в изобилии росли в джунглях, когда на Земле было теплее. Некоторые млекопитающие, к примеру, лошади, умудряются жить на травяной диете благода-

ря особым бугристым зубам, способным эффективно перемалывать жесткие стебли. Предки коров и верблюдов тоже были приспособлены к жестким травам, поскольку их пищеварительная система изменилась, позволяя использовать бактерии, которые помогали им разлагать пищу. Но многие виды не выдержали похолодания и изменения растительности и вымерли.

Кроме того, некоторых млекопитающих погубила география. Еще 7 млн лет назад Северная и Южная Америки были разделены океаном, но дрейф континентов постепенно сдвигал их. Сначала между двумя материками появились острова, а затем, 3 млн лет назад, их соединил Панамский перешеек. Млекопитающие обоих континентов начали расселяться на новые земли и конкурировать с видами, которых они никогда прежде не видели.

За 60 млн лет изоляции в Южной Америке сформировалась уникальная, ни на что не похожая экосистема. Высшими хищниками там были опоссумы размером с койота и гигантские нелетающие птицы. После объединения континентов некоторые южноамериканские виды, такие как опоссумы, ленивцы, обезьяны и броненосцы, двинулись на север. Однако млекопитающие, двигавшиеся с севера им навстречу, оказались куда более успешными. Опоссумные койоты Южной Америки вымерли, а с ними и все остальные сумчатые плотоядные. Их место заняли кошки и собаки. Копытных Южной Америки сменили лошади и олени.

«65-миллионелетняя история млекопитающих после мелового вымирания отмечена многочисленными вторжениями, — говорит Новачек. — Млекопитающие нередко путешествовали с континента на континент. Можно даже представить себе эти марширующие армии. Некоторые млекопитающие, попадая на новое место, оказывались весьма успешными и вскоре после вторжения занимали доминирующие позиции. Но вообще очень трудно понять, почему это происходит при вторжении одного вида на территорию другого. Мы этого просто не знаем. Может

быть, дело в том, что животные, склонные к вторжениям, более мобильны или более гибки и обладают более высокой приспособляемостью к внешним изменениям и за счет этого получают некоторое конкурентное преимущество».

Примерно в то же время, когда происходил Великий американский обмен, в климате Земли установилась новая закономерность. С тех самых пор полярные ледники то разрастаются и доходят чуть ли не до экватора — наступает ледниковый период, — то вновь съеживаются. Периодичность ледовых наступлений определяется, вероятно, изменением орбиты Земли вокруг Солнца. С периодичностью 100 000 лет наша планета то чуть приближается к своему светилу, то чуть отдаляется от него. Одновременно происходит так называемая прецессия — ее наклонная ось, подобно оси вращающегося волчка, описывает круг за 26 000 лет. Наконец, угол наклона оси также изменяется от 21 до 25 градусов с периодом 41 000 лет (в настоящее время этот угол составляет 23°). Разумеется, количество солнечного света, которое Земля получает в течение года, определяется комбинацией этих циклических процессов.

Палеоокеанограф из Кембриджского университета Николас Шеклтон изучил, как все эти колебания запечатлелись в толще древнего антарктического льда и донного ила. Он обнаружил, что, когда Земля получает меньше солнечного света, падает и содержание углекислого газа в атмосфере. Ученые не знают наверняка, как первое может повлиять на второе; возможно, из-за недостатка солнечного света меняется характер роста растений и фотосинтезирующего планктона. Во всяком случае, если углекислого газа становится меньше, планета слегка остывает. Летнее таяние ледников замедляется, так что ледники начинают расти год от года. Со временем они распространяются на тысячи миль по направлению к экватору, и так продолжается, пока какие-то факторы не запустят обратный процесс и не заставят ледники отступить. Возможно, решающим фактором вновь яв-

ляется содержание углекислого газа в атмосфере. По мере отступления ледников леса разрастаются и занимают свое законное место. Мы с вами живем именно в такое время — в промежутке между двумя ледниковыми периодами. Предыдущий закончился 11 000 лет назад, следующий, возможно, начнется лишь через несколько тысяч лет.

Гипотетический снимок Северной Америки, сделанный накануне появления человека — в конце последнего ледникового периода, — запечатлел бы страну, населенную гигантскими млекопитающими. Саблезубые кошачьи, ягуары, гепарды, короткомордые медведи, ужасные волки и другие хищники охотились на пасущихся и ощипывающих листья травоядных. На травянистых равнинах паслись мамонты, по лесам и болотам бродили мастодонты; присутствовали также верблюды, лошади, носороги и наземные ленивцы. Североамериканские млекопитающие составляли часть всемирного биоразнообразия. Палеонтологические данные позволяют предположить, что последние 100 млн лет число видов постоянно росло. Одной из причин этого, считают ученые, был тот факт, что древний материк Пангея, однажды расколовшись, делился и далее на все более мелкие части. На едином суперконтиненте барьеров, которые служили бы непреодолимым препятствием для животных и растений, было немного. Виды с высокой приспособляемостью имели возможность вторгаться на территории узкоспециализированных видов и вытеснять их, побеждая в конкурентной борьбе. Когда же Пангея распалась, образовалось множество изолированных экосистем, где могли благополучно существовать разные виды, и более длинная береговая линия, где могли развиваться морские животные. К моменту появления современного человека 100 000 лет назад в мире наблюдалось, наверное, максимальное за всю историю жизни на планете разнообразие. Это великолепное богатое наследство, промотать которое было бы ужасно.

## ЧЕЛОВЕК И МАССОВОЕ ВЫМИРАНИЕ: ПЕРВЫЕ ВОЛНЫ

Первые признаки текущего массового вымирания видов появились около 50 000 лет назад. До этого момента в Австралии обитала целая коллекция гигантов, включая 1000-килограммовых вомбатов, кенгуру ростом более 3 метров, сумчатых «львов» и 9-метровых ящериц. Окаменелости в Австралии почти не встречаются, поэтому трудно сказать, когда именно исчезло большинство этих видов. Но один из них — 100-килограммовая нелетающая птица *Genyornis* — оставил после себя тысячи фрагментов яичной скорлупы. 50 000 лет назад эти скорлупки быстро исчезают. И примерно в это же время на берегах Австралии высадился новый вид: человек.

Та же последовательность событий — появление человека и вымирание крупных животных — позже повторялась по всему миру много раз. Древнейшие свидетельства присутствия человека в Новом Свете найдены во время раскопок в Чили на площадке под названием Монте-Верде; этим находкам 14 700 лет. Археологи ведут работы и на других площадках, которые могут оказаться еще на несколько тысяч лет старше. Не исключено, что древние колонизаторы двигались с севера на юг вдоль побережья Северной и Южной Америк на лодках. Иначе невозможно, ведь люди никак не могли прийти с Аляски пешком раньше чем 12 000 лет назад, потому что до этого земля была надежно укрыта ледниками. Когда же лед отступил, в Северной Америке появилась новая культура; люди принесли с собой копья, при помощи которых можно было завалить мастодонта. В результате уже 11 000 лет назад Новый Свет оказался очищен от мастодонтов, гигантских наземных ленивцев и практически любых млекопитающих крупнее 40 килограмм.

Около 2000 лет назад путешественники из Юго-Восточной Азии высадились на берегах Мадагаскара. Там они встретили



эпиорниса — нелетающую птицу весом более 400 килограмм — и гигантского лемура размером с гориллу. Ни тот, ни другой не сумел прожить рядом с человеком больше нескольких веков. До XIV в. в Новой Зеландии обитали одиннадцать видов моа, еще одной разновидности нелетающих птиц. По массе моа уступала эпиорнису, но по росту могла дать фору — ее голова находилась на высоте четырех метров. Как и эпиорнис, после появления человека моа прожили лишь несколько сотен лет.

Внезапное вымирание крупных животных в Северной Америке было открыто одним из первых, и сначала многие палеонтологи думали, что причиной вымирания послужил конец ледникового периода. После потепления, утверждали они, многие североамериканские деревья и травы сменили ареал, и зависевшие от них млекопитающие просто не справились с переменами. Однако дальнейшие исследования показали, что связь между изменением климата и вымиранием — не более чем совпадение. Ведь если конец последнего ледникового периода оказался столь губительным для Северной Америки, логично было бы ожидать, что окончания предыдущих ледниковых периодов были не менее катастрофичными. На самом же деле в последний миллион лет млекопитающие Северной Америки вымирали сравнительно мало. Несмотря на то, что каждые 100 000 лет или около того на континент наступали, а затем вновь отступали ледники в милю толщиной, млекопитающие меняли свои ареалы с той же легкостью, с какой это делали деревья и травы.

С климатической точки зрения в конце последнего ледникового периода в Северной Америке не было ничего необычного, — все шло в точности как в предыдущие разы. Климатическая версия вымирания внушает еще больше сомнений, если учесть, что 12 000 лет назад, когда исчезали крупные млекопитающие Северной Америки, точно такие же климатические изменения в Европе, Африке или Азии не вызвали никакой серьезной реакции. Единственное, чем отличался конец последнего оледене-

ния в Северной Америке от всех остальных, — это появлением человека. А исследовав историю таких мест, как Австралия, Мадагаскар и Новая Зеландия, ученые пришли к выводу о том, что в каждом из этих мест события развивались в одной и той же последовательности: крупные млекопитающие и птицы внезапно вымирали вскоре после появления человека, причем в одних случаях это происходило задолго до конца оледенения, а в других — намного позже.

Человек, орудуя всего лишь копьями и стрелами, вполне мог уничтожить виды, о которых шла речь. Предки человека научились охотиться в Африке и лишь затем постепенно расселились по Европе и Азии. За сотни тысяч лет животные, на которых они охотились, успевали приспособиться к новой опасности. Но около 50 000 лет назад современный человек начал быстро колонизировать континенты и острова, где прежде людей никогда не видели. Добравшись до Австралии, Северной Америки и других мест, опытные охотники встретили животных, не готовых к отражению новой угрозы. И самыми уязвимыми оказались крупные животные, не способные быстро размножаться.

Вымирание крупных травоядных способно менять ландшафты целых континентов. Тим Фланнери — австралийский зоолог, работающий в Гарвардском университете, — утверждает, что из-за исчезновения австралийских травоядных вомбатов и кенгуру не съедаемая теперь растительность начала скапливаться в лесной подстилке. От удара молнии такая подстилка вспыхивала, и там, где раньше гореть было нечему, возникали страшные пожары. Растения, преобладавшие в Австралии до появления человека, такие как австралийская сосна и древесный папоротник, были уязвимы для огня и быстро уступили место более огнестойким видам, таким как эвкалипты. Теперь их можно найти только в нескольких глухих уголках континента.

Прежние дождевые леса Австралии впитывали влагу, как губка, и делали климат материка гораздо более влажным, чем теперь.

Повсюду текли полноводные реки и лежали озера, где могли жить пеликаны, бакланы и другие водные птицы. Но джунгли сменились эвкалиптовыми деревьями, не способными удерживать достаточно влаги; в результате реки и озера пересохли. Животные, которые прежде питались листьями, даже если не были истреблены полностью первой волной охотников, оказались в совершенно незнакомой обстановке; есть там было нечего, кроме не слишком питательных эвкалиптовых листьев и жестких кустарников. Вообще, уцелели только такие сумчатые, которые могли быстро бегать, как рыжие кенгуру, жили на эвкалиптах, как коала, или могли прятаться в глубоких норах, как вомбаты. Если же вид не был заранее готов к появлению человека, он был обречен.

## ИСТОРИЯ В ЯМЕ

Когда палеонтолог изучает массовые вымирания миллионотней давности, он должен быть счастлив, если удастся доказать, что вымирание того или иного вида заняло меньше, к примеру, 5000 лет. Но те, кто занимается нынешним вымиранием, иногда могут сузить эти временные рамки до нескольких десятилетий, а то и лет. Все, что для этого требуется, — выбрать правильное место для раскопок.

Одно из таких правильных мест находится в пещере на Гавайских островах. Дэвид Берни, палеоэколог из Фордэмского университета в Нью-Йорке, копает в этой пещере яму с 1997 г. Несколькими годами раньше Берни бродил с командой ученых вдоль южного побережья Кауаи, одного из западных островов Гавайского архипелага. Занимаясь поисками ископаемых останков и других следов исчезнувшей жизни, они наткнулись на узкий вход в известняковую пещеру, известную среди местных жителей как Махаулепу. Они протиснулись внутрь и оказались в коридоре, украшенном сталактитами и наростами карбоната кальция, а через 15 метров вышли на площадку, залитую солнечным све-

том и заросшую деревьями. Раньше там была высокая галерея, но крыша пещеры в этом месте рухнула тысячи лет назад. Сверху через отверстие занесло семена, и внизу вырос скрытый, почти подземный сад. Берни остановился, собрал длинную полую металлическую трубку, которую всегда носил с собой, и глубоко загнал ее в илистую почву. В столбике земли, извлеченном из трубки, он обнаружил хрупкий ископаемый череп лысухи, местной гавайской птички. Берни решил, что именно здесь он будет копать большую яму.

Копал он по большей части руками, чтобы не повредить лопатой хрупкие ископаемые. Под несколькими верхними футами илистой почвы обнаружился черный торф, а еще через несколько футов раскоп достиг уровня грунтовых вод. После этого воду все время приходилось откачивать дренажными насосами; после включения насосов в конце дня яма за несколько минут заполнялась водой. Берни собирал на дне грязь в ведра и поднимал на поверхность. Добровольцы промывали содержимое ведер в детских надувных бассейнах и вылавливали все твердые частицы ситом. После этого специалисты осматривали найденные ископаемые, сортировали их, паковали и отправляли все интересное в музеи и лаборатории для тщательного исследования. Кроме того, Берни брал образцы почвы, которые позже проверял на наличие спор и пыльцы — определял, какие растения росли вокруг пещеры.

В настоящее время раскоп представляет собой яму глубиной 6 и шириной 12 метров. Изотопный состав углерода в кусочках растительного материала на дне ямы показывает, что возраст нижних ее слоев 10 000 лет. Первые 3000 лет подземный поток медленно откладывал на полу пещеры ил. 7000 лет назад уровень океана поднялся, соленая вода затопила гроты, и потолок пещерного зала рухнул. Поверх соленой воды, пропитавшей грунт, образовалось мелкое озерцо менее плотной пресной воды. Животные и растения падали со стен пещеры в озерцо, тонули и опускались на дно в илистый грунт. Известно, что в пещерах хо-

рошо сохраняются кости, а в озерах — пыльца растений. А лучше всего, когда это озеро в пещере, как в Махаулепу. Берни откопал в своей яме непрерывную историю Гавайев за 10 000 лет; ничего подобного раньше никто не находил. Он называет свой раскоп «машиной времени для бедных». Полученная Берни картина — один из поразительнейших примеров того, как человек провоцирует вымирание видов. Многие растения и животные, останки которых Берни находит на дне ямы, уникальны для Гавайев. Вообще, жизнь с большим трудом проникает на эти острова — ведь от них до ближайшего континента 3700 километров. Океанские течения иногда заносят на острова семена растений, и те из них, что отличаются самой толстой скорлупой или кожурой, могут при этом сохранить всхожесть. Иногда сюда попадают сбитые с курса сильным ветром птицы и летучие мыши, а перелетные виды используют острова для отдыха в пути на юг или на север. Иногда они приносят что-нибудь на грязных лапах — яйцо улитки, спору папоротника, — и этому чему-нибудь тоже иногда удастся обосноваться на островах.

Пыльца и семена, которые Берни находит на дне своей ямы, прилетали сюда из пышных прибрежных лесов; обычные обитатели здесь — пальмы, кустарники, напоминающие мимозу, и споровые растения. Животные, попавшие в эти леса, не встретили здесь ни хищных млекопитающих, ни конкурентов, зато обнаружили неограниченные запасы пищи. Пользуясь этим, обитатели Гавайских островов свободно эволюционировали, подобно выюнкам на Галапагосах и цихлидам в озере Виктория, и достигли невероятного разнообразия. Так, 30 млн лет назад сюда попали плодовые мушки — один или два вида; сейчас на островах около тысячи видов этих насекомых, и ни один из этих видов не встречается в других местах. Из примерно двух десятков видов сухопутных улиток, случайно и в разное время попавших на Гавайи, образовалось более 700 видов. Вероятно, именно улитками питалась громадная популяция сухопутных крабов, шнырявших

в подстилке здешних лесов; погребенные тела этих крабов Берни также находит в своей пещере.

Животные, особенно птицы, быстро эволюционировали, стараясь использовать все существующие на островах экологические ниши. В остальном мире совы, как правило, охотятся на грызунов и других мелких животных на земле. Берни обнаружил скелеты сов, которые в результате эволюции стали больше похожи на ястребов и хватали добычу — других птиц — в воздухе. Три миллиона лет назад на Гавайи из Северной Америки залетел один-единственный выюрок; эта птичка дала начало сотне видов гавайских цветочниц. Берни находит черепа цветочниц с массивными клювами, способными, подобно щелкунчику, раскалывать твердые семена, которыми не может питаться больше никто на Гавайях. Другие виды птиц, к примеру, иви или черно-алая гавайская цветочница, извлекают нектар из цветов при помощи изогнутого клюва, тонкого, как пипетка.

Остров Кауаи возник в результате вулканической деятельности всего 5 млн лет назад; за это время некоторые из здешних птиц превратились в пернатых аналогов свиней и коз. «Утки и гуси здесь, на Гавайских островах, имели возможность стать совершенно наземными животными, — объясняет Берни. — Они стали куда крупнее, чем обычно; перестали летать, им это было ни к чему; научились пастись на траве и щипать листья с деревьев. Среди вымерших уток и гусей на островах были такие, что пытались, в некотором смысле, превратиться в козу или свинью». Утки потеряли крылья, выросли до размеров индейки и обзавелись клювами наподобие черепаших, чтобы удобно было щипать травку. Гуси тоже утратили крылья, а по размеру стали вдвое крупнее нынешних канадских гусей. У некоторых водоплавающих даже появились на клювах выступы, напоминающие зубы; таким «зубастым» клювом удобно было начисто обдирать листья папоротника.

На дне раскопа Берни, помимо летучих мышей и крабов, нашел 45 видов птиц и 14 видов сухопутных улиток. Двигаясь

по стенам раскопа вверх, т. е. приближаясь к нам по времени, можно обнаружить признаки нечастых природных катаклизмов, таких как вторжение океанских вод, отмеченное костями кефали. Однако в основном останки на дне провала принадлежат птицам, улиткам, крабам, пальмам, мимозам и другим местным видам. На протяжении нескольких тысяч лет содержание палеонтологической летописи практически не меняется.

А затем, примерно 900 лет назад, в яме появляются останки нового вида: крысы.

Крысы прибыли на Гавайские острова примерно 1000 лет назад с первыми полинезийскими поселенцами. Следующие столетия в яме Берни несколько смазаны из-за цунами; примерно в 1500 г. гигантская волна налетела на остров, смыла и перемешала верхние несколько футов осадков. С одной стороны, она отняла у Берни часть истории и в какой-то степени спутала нам карты, но с другой — принесла в пещеру рукотворные вещи. Берни нашел там костяные рыболовные крючки и панцири морских ежей, на которых гавайцы их затачивали. Он нашел также диск из полированного базальта; если его смочить, то можно использовать как зеркало. Кроме того, там были иглы для нанесения татуировки, фрагменты весел для каноэ и разрисованных тыквенных бутылей. Кроме того, в этом слое впервые появляются следы новых растений, которые полинезийцы привезли с собой, — горького ямса и кокосов. Мелькают и кости кур, собак и свиней — животных, которых первые гавайцы тоже привезли с собой.

Именно в этот момент местные виды в раскопе Берни начинают пропадать. Местные сухопутные улитки, когда-то весьма многочисленные, встречаются куда реже. Пальмы и другие лесные деревья уже не оставляют в яме свою пыльцу. Сокращается численность сухопутных крабов, исчезают крупные нелетающие птицы. Длинноногая сова тоже исчезает, сменившись другой совой, болотной, которой прекрасно подошли в пищу недавно появившиеся на островах крысы.

В 1778 г. капитан Кук первым из европейцев побывал на Гавайских островах, и место, где он высадился в первый раз, находится всего в нескольких милях от Махаулепу. Кук подарил царьку острова пару коз. Берни находит в своей яме кости потомков этих коз и останки других европейских иммигрантов: животных, таких как лошадь и овца, и растений, таких как яванская слива и месkitовое дерево. Остались в провале и кости домашнего скота, который пасся вокруг в конце XIX в. В изобилии имеются останки гигантской тростниковой жабы и хищной улитки, завезенных уже в XX в. для борьбы с вредителями.

После прибытия Кука местные виды в яме Берни практически совершенно пропадают. Ниже этой отметки тысячами попадают местные улитки (их насчитывалось 14 видов к тому моменту); в верхних нескольких футах раскопа не встретилось ни одной. Из птиц на сегодняшний день рядом с пещерой встречаются лишь перелетные прибрежные и морские птицы. Некоторые виды птиц, останки которых попадают в пещере на большой глубине, пока не вымерли, но сохранились лишь в отдаленных горных лесах. Точно так же растения, из которых прежде состояли леса, либо полностью исчезли, либо прозябают в глухих уголках. Кустарник, напоминающий мимозу, по данным Берни, был на островах одним из доминирующих видов в течение многих тысяч лет; сегодня его можно найти только на крохотной одинокой скале возле острова Кахулави, и в живых осталось всего два куста.

Вообще, яма Берни воссоздает для нас предельно четкую и очень печальную картину: с приходом человека местные виды животных и растений исчезают.

## **ВЫМИРАНИЕ УСКОРЯЕТСЯ**

Судя по всему, вымирание видов в Махаулепу происходит по единственной причине, и причина эта — человек. Однако на примере прошлых массовых вымираний мы уже видели,



что единственная причина может иметь множество деструктивных последствий. Так и здесь: механизмы действия названной причины могут быть самыми разными. Берни в своей яме наблюдает их все. И два самых действенных способа, при помощи которых человек уничтожает виды Махаулепу, это охота и разрушение среды обитания.

Происходит все это в несколько этапов. Первыми на Кауаи исчезли те виды, на которые было проще и удобнее охотиться. «Это были медлительные виды, а потому весьма пригодные в пищу. Согласитесь, гигантская нелетающая утка к обеду звучит очень заманчиво, — говорит Берни. — Кроме того, эти виды были особенно уязвимы просто потому, что все время проводили на земле. Они откладывали яйца прямо на земле — ведь на островах прежде никогда не было наземных хищников, таких как крысы. Так что их яйца просто съедали крысы, свиньи или еще кто-нибудь».

Нелетающих уток с Кауаи постигла, вероятно, та же судьба, что мадагаскарского эпиорниса и мамонтов Северной Америки: они были быстро уничтожены человеком. Когда самая доступная добыча исчезла, люди на Кауаи начали охотиться на более мелкую дичь — к примеру, на сухопутных крабов. В раскопе ясно видно, как именно разыгрывалась эта трагедия: после появления на островах человека останки крабов становятся более мелкими и начинают встречаться реже; по всей видимости это означает, что охотники вынуждены были брать все более молодых — и, естественно, мелких крабов. Когда же молодых крабов осталось недостаточно даже для простого воспроизведения, численность популяции резко упала.

Этапы вымирания видов в Махаулепу соответствуют этапам вымирания во всем мире. На сегодняшний день варварская, ничем не ограниченная охота по-прежнему представляет собой глобальную угрозу существованию диких животных. В глубине дождевых лесов Центральной Африки охотники добывают шимпанзе и других приматов во множестве — на прокорм лесорубам,

уничтожающим сами леса. Одновременно в отдаленнейших уголках Мьянмы (бывшая Бирма) в недопустимых количествах уничтожаются редкие виды оленей, открытые всего несколько лет назад. Причем охотники убивают оленей не для еды, а выменивают олени туши на соль у китайских торговцев.

Второй этап вымирания в Махаулепу — этап, связанный с исчезновением привычной среды обитания, — наступил не так быстро. Человеческое население Кауаи росло и, чтобы прокормиться, расчищало землю под посевы и пастбища. Однако без железных топоров поселенцы не могли слишком быстро вырубать деревья; скорее всего, они сначала убивали их, для чего снимали со ствола широкое кольцо коры или травили корни ядом. На месте лесов появлялись посевы таро и сладкого картофеля. С появлением на архипелаге европейцев разрушение резко ускорилось. К 1840 г. плантаторы начали расчищать под свои плантации громадные площади лесов. Сандаловые деревья шли на изготовление благовоний, а остальное просто уничтожалось, чтобы на освободившемся месте можно было пасти скот или сажать ананасы и сахарный тростник.

Точно так же ускоряется гибель природных экосистем по всему миру. Примерно 10 000 лет назад древние цивилизации Мексики, Китая, Африки и Ближнего Востока начали одомашнивать и брать под свой контроль растения и животных. Сельское хозяйство представляет собой такой надежный источник пищи, что на одной и той же территории земледельцев и скотоводов может жить гораздо больше, чем охотников и собирателей. Но чтобы прокормить больше ртов, нужно больше земли. Прирученные коровы, овцы и козы начинают вытаптывать луга. Леса и луга уступают место пахотной земле, посевам кукурузы, риса и пшеницы. Английская сельская местность, где вырос Дарвин, не всегда была сельской местностью; леса, когда-то покрывавшие те места, постепенно вырубались и за несколько столетий съежились до размера небольших островков. Животные, которые

могли жить только в лесу, оказались заперты на этих островках. Тур, ближайший дикий родственник коровы, жил в Польше на последних островках, оставшихся от великих лесов, — в охотничьих заповедниках — до XVII в., но затем исчез навсегда.

Последние несколько веков, с изобретением все более эффективных плугов и пил, человеческое население резко увеличилось, а дикие пространства столь же резко съезжились в соответствии с теорией Мальтуса. Чем больше людей, тем больше ферм и крупных городов. Чем больше население, тем больше нужно дров и строительных материалов; леса не могут все это обеспечить в возобновляемом цикле. Появилась техника, облегчающая строительство дорог через леса и вывоз деревьев. В результате к 2000 г. площадь тропических лесов мира, где обитает, по некоторым оценкам, две трети всех биологических видов, уменьшилась наполовину.

По мере того как человек захватывает территории, принадлежавшие прежде дикой природе, растения и животные вымирают. В некоторых случаях — скажем, если плотина губит единственную реку, где обитает определенный вид рыб, — вымирание очевидно. Но для вымирания вида не обязательно, чтобы среда его обитания исчезла целиком. Иногда достаточно фрагментировать среду обитания, чтобы вызвать уничтожение видов. Эти фрагменты подобны островам, и правила, позволяющие предсказывать, например, сколько видов может жить на острове Кракатау, применимы и к ним.

Каждый фрагмент леса может обеспечить пропитанием лишь определенное число видов животных, и число это пропорционально его размеру. Если в момент отделения от основного массива в нем жило большее число видов, лишние вымрут. Если какому-то виду не повезет и он окажется слабейшим во всех фрагментах леса, он исчезнет полностью.

Чаще всего вымирают от фрагментации виды с небольшим ареалом. Представьте себе, что лесорубы вырубили большую

часть леса вдоль некой горной гряды. Саламандра, обитавшая на склонах одной-единственной горы, попадет всего в три лесных фрагмента, тогда как вид саламандр, обитавший на всей этой территории, окажется в 100 фрагментах леса. Понятно, что у распространенной саламандры будет гораздо больше шансов уцелеть хотя бы на некоторых лесных островах, чем у саламандры с ограниченным ареалом. А если затем распространенная саламандра найдет способ путешествовать из одного фрагмента в другой, у нее даже появится шанс вновь колонизировать часть своего прежнего ареала. Тем временем редкая саламандра окончательно вымрет.

Большинство певчих птиц восточной части США сумели уцелеть при фрагментации лесов именно благодаря своим большим ареалам. Ареалы большинства из 200 видов птиц, обитавших здесь до появления европейцев, выходят за пределы восточной части материка. К началу XX в. было вырублено 95% здешних лесов. Но леса вырубались не сразу; уничтожение шло волнообразно с северо-запада. К моменту вырубки лесов в штате Огайо леса Новой Англии уже начинали восстанавливаться. В каждый конкретный момент птицы могли найти себе убежище на территории прежнего ареала. В XX в. сельское хозяйство на востоке страны оказалось практически заброшено. В результате леса восстановились достаточно, чтобы распространенные певчие птицы могли вернуться.

Но 28 видам птиц, жившим исключительно на восточном побережье, не так повезло. Их шансы на выживание были куда хуже, потому что ареалы у них были меньше, чем у других видов. Когда их среда обитания оказалась разбитой на отдельные фрагменты — лесные острова, — они уцелели в меньшем числе фрагментов, и опасность вымирания для них возросла. Четыре вида таких птиц — странствующий голубь, багамский пеночковый певун, белоклювый королевский дятел и каролинский попугай — исчезли навсегда.

Ныне в том же направлении движутся многие виды животных и растений по всему миру. Вырубка лесов или расчистка земель под сельхозугодья уже уничтожила или разбила на фрагменты их небольшие ареалы. Многие виды, которые на сегодня еще не вымерли, почти наверняка обречены. Стюарт Пимм, биолог, работающий в настоящее время в Колумбийском университете, и его коллеги пытаются определить временные рамки этого процесса. В одном из проектов Пимм изучал западные районы Кении, известные богатым разнообразием лесных птиц. Активная вырубка лесов и освоение земель в XX в. привели к тому, что леса здесь оказались разбитыми на мелкие участки. Команда Пимма изучила данные аэрофотосъемки за последние 50 лет и попыталась определить, когда именно возникли те или иные лесные островки. Затем по старым музейным коллекциям они подсчитали, сколько видов птиц первоначально обитало в этих местах. (В отличие от насекомых, большинства видов которых мы, скорее всего, просто не знаем, птиц считать легко. Орнитологи уже определили абсолютное большинство из порядка 10 000 видов птиц на Земле.) После этого Пимм посетил лесные фрагменты, чтобы подсчитать число видов птиц в каждом из них.

Выяснилось, что чем старше были фрагменты, тем ближе число видов соответствовало предсказанному. В более молодых фрагментах по-прежнему живет больше видов, чем положено, поскольку уничтожение не довело их еще до равновесного уровня. Сравнивая старые фрагменты леса с новыми, Пимм делает вывод: процесс вымирания идет примерно так же, как распад радиоактивных элементов. У него тоже есть период полураспада, то есть время, за которое вымирает половина всех «лишних» видов. За следующий такой период исчезнет половина оставшихся и так далее. «Период полураспада» для птиц, которых Пимм изучал в Кении, составляет примерно 50 лет. Коллега Пимма Томас Брукс подтвердил, что примерно с такой же скоростью вымирают птицы Юго-Восточной Азии. Иными словами, ущерб, уже

нанесенный лесам Земли, станет очевиден лишь через несколько десятилетий.

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНВАЗИИ

Мало того что человек уничтожил большую часть лесов и перебил множество животных; у вымирания в Махаулепу была и еще одна причина, связанная опять же с человеком: он привез с собой новые виды животных — крыс, кур, собак и коз. Биологические захватчики, как называют таких пришельцев, на сегодняшний день оказываются одним из наиболее мощных факторов глобального вымирания видов. В отличие от охоты и уничтожения лесов, биологические инвазии практически необратимы. Если люди перестанут вырубать леса, деревья со временем вырастут. Но если биологический захватчик успешно устроился в своем новом доме, выгнать его, как правило, просто невозможно.

Биологические инвазии не новы в истории жизни. Млекопитающие, которые 3 млн лет назад переселились из Северной Америки в Южную, были точно такими же биологическими захватчиками; они вторглись на территорию изолированной группы местных животных и полностью вытеснили многих из них. Как показал Дарвин, для биологической инвазии достаточно, чтобы яйца или семена прилипли к лапам птиц и преодолели с ними некоторое расстояние (а расстояния эти иногда составляют тысячи миль). Другое дело, что до появления человека биологические инвазии были событием редким и даже, пожалуй, исключительным. Требуется многие миллионы лет, чтобы континенты соприкоснулись. Путешествовать по океану или на птичьих лапах непросто: по оценкам ученых, до человека новый вид появлялся на Гавайях примерно раз в 35 000 лет. К тому же колонистами обычно были птицы, летучие мыши и различные мелкие беспозвоночные. Собаки или крысы, к примеру, не могли добраться до островов на лапах птиц.

Когда же на Кауаи прибыли полинезийские поселенцы, вместе с ними на острове появился целый набор новых биологических видов. Крысы быстро обосновались на новом месте и начали поедать птичьи яйца и сухопутных улиток. Куры и свиньи, привезенные полинезийцами, выкапывали проростки и поедали семена; возможно, они нанесли местным лесам даже больший ущерб, чем человеческие поселения.

С прибытием европейцев новые виды на островах стали появляться намного чаще. Будучи первыми по-настоящему глобальными торговцами, европейцы могли на своих судах перевозить виды из одного конца света в другой. Иногда виды вводились в экосистему намеренно — вспомним, к примеру, подаренных капитаном Куком коз, — но чаще всего это происходило случайно. В 1826 г. китобойные суда завезли на Гавайи комара — носителя малярии, которая для гавайских птиц оказалась смертельной. Одиравшие свиньи рыли ямы, где застаивалась вода и комары могли размножаться, и вскоре эти насекомые начали кусать местных птиц. Вероятно, малярия погубила огромное их количество; сегодня многие виды птиц живут только в горах, на большой высоте, где комаров убивает холодный воздух.

Биологические инвазии многократно умножились в последние 200 лет — не только на Кауаи, но и по всему миру. Стальные сухогрузы и самолеты заменили собой парусные суда, и теперь растениям, животным и микробам становится все проще путешествовать между далекими материками в поразительных количествах. Так, при тщательном осмотре судов, приходящих в Чезапикский залив, ученые обнаружили в балластной воде каждого судна крабов, кефалевых рыб и сотни других видов животных — в среднем 2000 животных в каждом кубометре воды. При этом в США ежегодно прибывает 100 млн тонн балластной воды. Насекомые и семена часто путешествуют с зерном или лесом. Только в США на данный момент присутствует 50 000 пришлых видов, и количество их быстро растет. С 1850 по 1960 г. в бухте Сан-Франциско

новый вид появлялся примерно раз в год; после 1960 г. — примерно раз в три месяца. На Гавайях каждый год появляется с десятков новых видов насекомых и других беспозвоночных.

Лишь некоторым пришлым видам удастся добиться успеха на новом месте. Как правило, сорные растения и животные без труда устраиваются там, где доминирует человек; это понятно — они способны существовать в нестабильных экосистемах и агрессивно распространяться. И некоторым хищникам удастся неплохо устроиться — ведь они могут питаться разными видами добычи. К примеру, до Второй мировой войны на острове Гуам не было змей. Но во время войны, когда США начали завозить на остров военное снаряжение, вместе с ним была случайно завезена коричневая бойга; вероятно, змеи заползали в самолеты. На острове они начали поедать всех мелких животных, каких только могли найти. В результате из 13 аборигенных видов лесных птиц на Гуаме уцелело лишь три, из 12 местных видов ящериц — тоже три вида.

Иногда вид-пришелец, перебравшись на новое место, избавляется от ограничений, сдерживавших его распространение в прежних местах обитания. В 1935 г. громадная тростниковая жаба *Bufo marinus*, или ага, была привезена в Австралию для уничтожения жуков, поедавших сахарный тростник. С тех пор она распространяется по северной Австралии, расширяя свой ареал на 30 километров каждый год. При этом плотность населения аги в Австралии на порядок превосходит ту, которой ей удастся достичь в родных краях. Судя по всему, в Австралии жаба чувствует себя лучше, чем в Латинской Америке, потому что здесь отсутствуют привычные для нее естественные ограничения. Австралийские хищники погибают от яда, который вырабатывают специальные железы на спине жабы; в Новом Свете хищники давно обзавелись соответствующим противоядием. К тому же в Австралии нет вирусов и других патогенных микроорганизмов, которые в Латинской Америке помогали сдерживать рост чис-



ленности жаб. Но даже такой успех пришлого вида мог бы оказаться терпимым, если бы ага действительно помогла избавиться от жуков-вредителей. Но дело в том, что она не проявила к ним никакого интереса; вместо жуков жаба питается всем, что удастся поймать, включая ящериц и редких сумчатых.

Иногда пришельцам удастся добиться успеха, изменив законы своей новой экосистемы. К примеру, Гавайи — довольно необычное место, потому что там почти не бывает пожаров. Чтобы возник пожар, нужна молния, а чтобы возникла молния, нужна гроза; гроза, в свою очередь, формируется там, где воздух над большими массами земли нагревается и перемешивает атмосферу. На большинстве континентов пожары — привычная часть жизни, а потому растения и животные развили у себя те или иные защитные механизмы. Но Гавайи — это полоска островов в окружении океанских просторов, поэтому молнии в них попадают очень редко, а местные растения и животные не имеют приспособлений, которые помогали бы им защититься от огня.

В 1960-х гг. на Гавайях появились два вида привычных к огню растений: один из видов травы-бородача (*Schizachyrium condensatum*) из Центральной Америки и паточная трава (*Melinis minutiflora*) из Африки. Сухие стебли и листья этих трав формируют на поверхности земли горючий ковер, который ждет только искры. Человек, с его сигаретами и кострами, не подвел, и на островах начали возникать пожары. Местные растения от огня погибали, а пришельцы быстро захватывали освободившиеся территории. По мере их распространения пожаров становилось все больше. В некоторых местах на Гавайях сейчас выгорает ежегодно в 1000 раз больше земель, чем до появления трав-пришельцев. В этих условиях местные травы, разумеется, не имеют никаких шансов вернуть утраченные территории.

Одновременное появление множества пришлых видов может сломить сопротивление любой здоровой экосистемы. Великие озера стали жертвой именно такой экологической катастрофы.

До начала XX в. большинство судов, приходивших на Великие озера, использовали в качестве балласта камни, песок или ил; в таком балласте могли путешествовать лишь некоторые животные и семена. В начале XX в. суда стали применять в качестве балласта воду, и в 1959 г., когда был наконец открыт глубоководный путь Св. Лаврентия, иностранные суда начали регулярно поставлять новые чужеродные виды в озера.

Суда приходят в Великие озера со всех концов Земли, но большинство успешно обосновавшихся здесь видов происходит из одного и того же региона — Черного и Каспийского морей. Животные, обитающие в тех краях, сумели приспособиться к неожиданностям. Уровни Черного и Каспийского морей за последние несколько тысяч лет поднимались и опускались больше чем на 180 метров, соленость их тоже сильно менялась. Эволюция здесь проходила на фоне диких флуктуаций, в результате местные животные способны выжить в широком диапазоне условий. Они достаточно выносливы, чтобы пережить долгое путешествие в балластном трюме из Европы в Северную Америку, и способны быстро размножиться в пресной воде Великих озер.

В середине 1980-х одна маленькая ракушка дрейссена, или полосатая мидия, проделала путешествие из южной России в озеро Сент-Клэр. Эта ракушка выпускает липкие нити и закрепляется с их помощью практически на любой твердой поверхности; чтобы питаться, она пропускает воду через свое тело и отфильтровывает планктон. Дрейссена может размножаться до тех пор, пока не облепит сплошь все, что попадется: плотины, водозаборные трубы и речные русла. Ее острые раковины усеивают дно, рана ноги купающихся.

Полосатая мидия распространилась по Великим Озерам и окружающим водоемам, и везде, появившись однажды, она переворачивает местную экологию с ног на голову. Она покрывает сплошным ковром редкие виды мидий, накрепко запечатывает — и тем самым убивает их. Как правило, местные виды исче-

зают через 4–8 лет после появления в озере или реке дрейссены. Она так эффективно фильтрует воду, что почти не оставляет в ней планктона; в результате в озерах исчезают мелкие ракообразные, которым нечем питаться, а за ними и рыбы, основную пищу которых они составляют.

Дрейссена прокладывает путь и облегчает обустройство в Северной Америке другим пришельцам из Каспийского и Черного морей. В 1990 г. в Великих озерах был обнаружен черноротый бычок — основной враг дрейссены в Европе. Ракообразное *Echinogammarus*, основной пищей которому служат отходы дрейссены, появилось в Великих озерах в 1995 г.; с тех пор он в двадцать с лишним раз увеличил свою численность, вытесняя одновременно местных ракообразных. *Echinogammarus* — любимая пища молодых черноротых бычков, так что с его появлением численность этих рыб еще больше выросла. Еще один иммигрант, крохотное колониальное животное гидроид, появился в Великих озерах за несколько десятилетий до дрейссены, но, пока ее не было, оставался в своем новом доме редким видом. В Европе гидроид питается личинками дрейссены, и наступление этого моллюска на Великие озера вызвало популяционный взрыв и у гидроида; теперь гидроиды сплошь покрывают новые поля полосатых мидий. Но этого мало. Дрейссена отфильтровывает из воды Великих озер ил; вода становится прозрачнее, солнечного света в глубину проникает больше — в результате лучше растут подводные растения. Эти растения служат дополнительной опорой для мидий. Иными словами, стимулируя рост подводной растительности, дрейссена увеличивает и собственную численность. Понятно, что в Великих озерах речь уже не идет о нескольких чуждых видах; там выстраивается целая чуждая экосистема.

Учитывая темпы возникновения новых биологических инвазий, в настоящее время именно они становятся, по мнению ученых, важнейшей угрозой биологическому разнообразию планеты; в предельных случаях они приводят к практически полному

разрушению сложившейся среды обитания. Некоторые острова рискуют лишиться из-за них большей части местных видов. Число местных видов на острове Маврикий уже уменьшилось с 765 до 685; одновременно на острове обосновалось 730 пришлых видов. Половина исчезающих видов США находится в опасности именно из-за биологических захватчиков.

Разгул биологических инвазий — совершенно новое явление в истории жизни на Земле. Никогда прежде ничего подобного не происходило. Конечно, внезапные катастрофы стирали с лица земли целые тропические леса или коралловые рифы задолго до появления человека, но никогда прежде такое количество видов не имело возможности свободно перемещаться по всему миру. Биологические инвазии могут стать не только одним из механизмов массового вымирания; они могут так сильно изменить природу, что их следы будут заметны еще долго после исчезновения человека.

## **ВЫМИРАНИЕ ПРОДОЛЖАЕТСЯ**

Охотой, разрушением среды обитания и биологическими инвазиями человек успел уже уничтожить немало видов живых существ; множество других видов находятся в настоящий момент на грани вымирания. Но можно ли оценить мощность нынешнего вымирания видов и кризиса в целом? Можно ли сказать, чем закончится этот процесс? Это чрезвычайно сложные вопросы. Махаулепу — едва ли не единственное место, где сохранилась почти полная летопись воздействия человека на сложную биологическую систему. Поэтому очень непросто сказать, насколько серьезны в глобальном масштабе вымирания последних 50 000 лет. Хуже того, ученые не могут сказать даже, сколько на Земле всего видов. Но существующие оценки выглядят довольно мрачно. Похоже, Земля входит в период массового вымирания видов, вполне сравнимый с великими вымираниями последних 600 млн лет.

Каждый год небольшая когорта зоологов и ботаников сообщает об обнаружении примерно 10 000 новых видов. До сих пор учеными идентифицировано примерно 1,5 млн видов; о том, сколько видов еще ждут своего открытия, можно только догадываться. Исходя из скорости обнаружения новых видов, ученые оценивают биологическое разнообразие Земли примерно в 7 млн видов, хотя некоторые утверждают, что видов не меньше 14 млн. Это означает, что по крайней мере четыре из каждых пяти видов еще не обнаружены и при нынешних темпах потребуется по крайней мере 500 лет, чтобы их все найти. Для многих видов этот срок подойдет слишком поздно. Если мы не знаем даже, что вид существует, как мы сможем определить, когда погибнет последнее принадлежащее к этому виду живое существо?

Стюарт Пимм предложил способ оценить глубину нынешнего кризиса, оставив в стороне вопрос о нашем невежестве и об общем числе видов. Он пытается измерить скорость вымирания, а не его масштабы. Он собрал все доступные данные по достоверно документированным вымираниям среди лучше всего изученных групп животных, включая птиц, моллюсков, бабочек и млекопитающих. Выяснилось, что по всем этим группам наблюдается примерно равная скорость вымирания: порядка ста видов из миллиона в год. На основании полученных результатов Пимм делает вывод о том, что эта средняя оценка применима ко всем животным и растениям.

Отметим, что такая скорость вымирания намного выше обычной — фоновой — скорости вымирания, которую можно достаточно точно определить по палеонтологической летописи. За исключением периодов массовых вымираний, обычно их интенсивность колеблется между 0,1 и 1 вымершим видом на миллион в год. Иными словами, виды сейчас исчезают с лица земли в 100–1000 раз стремительнее, чем до появления человека.

Согласно расчетам Пимма, в ближайшие годы эта скорость еще увеличится. Не секрет, что две трети всех видов обитает

в тропических лесах. На сегодняшний день площадь этих лесов на планете уменьшилась вдвое, и каждые десять лет уничтожается еще миллион квадратных километров. Значительная часть уцелевших лесов фрагментирована пожарами и вырубками. Если не предпринять решительных и даже чрезвычайных мер по защите тропических лесов, их площади будут сокращаться, пока не останутся только защищаемые кусочки в специальных заповедниках — около 5% от первоначальных площадей. На весь этот процесс у человечества уйдет не больше 50 лет. Применяя к этому сценарию формулу полураспада, Пимм подсчитывает, что скорость вымирания увеличится не меньше чем в десять раз. Меньше чем за век, согласно его оценкам, исчезнет половина существующих видов.

Расчеты Пимма, какими бы строгими и жесткими они ни выглядели, могут оказаться даже заниженными — ведь он учитывает только уничтожение тропических лесов. Но ускоряются и многие другие негативные процессы. К примеру, более активное авиасообщение и торговое судоходство между континентами увеличат частоту биологических инвазий и приведут к вымиранию еще большего числа видов. И еще большее число их исчезнет из-за изменений в атмосфере, вызванных нами.

Последние 200 лет человек постоянно добавляет в атмосферу двуокись углерода и другие парниковые газы. Эти газы не дают теплу уходить с планеты и постепенно повышают температуру на ней. Сегодня Земля в среднем на 0,5 °C теплее, чем была в 1860 г. Отчасти эту разницу можно объяснить изменениями на Солнце, отчасти — естественными колебаниями в циркуляции океанов и атмосферы. Однако большинство климатологов считает, что в основном за это потепление ответственны парниковые газы — и, соответственно, человечество, выпустившее их в атмосферу.

В настоящее время ученые пытаются определить хотя бы примерно, каким будет климат на Земле через несколько десяти-

летий. Отчасти ответ зависит от того, сколько топлива будет сжигать человечество все это время. Будет ли Китай по-прежнему обеспечивать свой экономический бум энергией за счет сжигания угля? Станут ли электромобили чем-то большим, чем просто эффектный пиар-ход? Неизвестно к тому же, как может отреагировать на повышение температуры сама Земля. К примеру, может измениться циркуляция океанских вод, высвобождая скрытую тепловую энергию? Смогут ли северные леса поглотить из атмосферы лишний углекислый газ и превратить его в древесину? Не превратится ли Амазония в саванну? Не высвободится ли при таянии вечной мерзлоты в Арктике замороженный метан? Список подобных вопросов и возможных вариантов развития событий может занять не одну книгу. Но по самым достоверным сегодняшним оценкам получается, что планета к 2100 г. потеплеет на 1,4–5,8°C, причем большая часть потепления придется на приполярные области.

Уже теперь имеются признаки того, что в результате глобального потепления жизнь меняется. Вегетационный период в Северном полушарии начинается на неделю раньше, чем в 1981 г. Повышение уровня углекислого газа в атмосфере привело к тому, что деревья растут быстрее. В Северной Америке и Европе леса все выше и выше взбираются по горным склонам. Исследование 35 видов немигрирующих бабочек в Северной Америке и Европе в 1999 г. выявило, что 63% этих бабочек за XX в. сдвинуло свои ареалы на север. Даже клещи реагируют на теплые зимы и постепенно сдвигаются к полюсу.

Если взглянуть на историю оледенений в Северной Америке, подобные миграции не покажутся странными: наступление и отступление ледников всегда вызывало экологические схватки на севере и юге. Если потепление продолжится, скоро в путь двинутся целые леса. Министерство сельского хозяйства США проверяло на компьютерных моделях, что произойдет с растениями и животными в стране, если климат станет более теплым. Хвой-

ные и лиственные леса Новой Англии двинутся в Канаду, а леса из дуба и орешника гикори на Среднем Западе придут в упадок и сменятся южными сосновыми лесами. На западе кактус сагуаро (цереус гигантский) выйдет, возможно, из юго-западных пустынь и двинется на север до самого штата Вашингтон.

Но глобальное потепление не просто переставит «мебель в доме» с места на место. Растениям и животным, обитающим в холодном климате — далеко на севере или высоко в горах, — уходить некуда. Коралловые рифы, очень чувствительные, как оказалось, к повышению температуры воды, не могут оторваться от дна и переместиться в более прохладные воды. В результате глобального потепления уже через 20 лет большая часть коралловых рифов может исчезнуть.

Даже те виды, которым, если судить по карте, есть куда отступать, на самом деле могут оказаться в очень сложном положении. Многим из них придется вновь колонизировать земли, занятые под сельское хозяйство, населенные пункты и крупные города. Уже сейчас непросто выводить из оборота и объявлять заповедными земли, где обитают угрожаемые виды растений и животных; если же через несколько десятилетий выяснится, что для этого необходимо выделять новые земли, сделать это будет еще труднее. Но если мы этого не сделаем, редкие виды, скорее всего, просто шагнут в эволюционную пропасть.

## ЧЕЛОВЕЧЕСТВО ОСТАВЛЯЕТ СЛЕД

Если сбудутся пессимистические прогнозы, то несколько следующих столетий станут свидетелями еще одного массового вымирания, при котором исчезнет значительно больше половины всех биологических видов. Если считать, что человек унаследовал Землю на пике биологического разнообразия (а судя по всему, это именно так), это вымирание по числу потерянных видов может стать крупнейшим за всю историю жизни на планете.



В некоторых отношениях — и весьма существенных — этот цикл вымирания будет отличаться от всех предыдущих. Астероид не может свернуть со своей орбиты, но люди в состоянии изменить свой курс. Масштабы нынешнего вымирания будут зависеть от действий и поступков человечества в ближайшие 100 лет. Наблюдая, с какой скоростью исчезают и рассыпаются на фрагменты самые разные биотопы, специалисты по охране окружающей среды сосредоточили внимание на том, как можно сохранить максимум биологического разнообразия при помощи минимальных усилий. Дело в том, что природное разнообразие распространено по планете, и даже по тропическому поясу, очень неравномерно. Есть места — среди них Мадагаскар, Филиппины и леса атлантического побережья Бразилии, — которые представляют собой «горячие точки биологического разнообразия». 25 лучших районов такого рода содержат 44% видов растений и 35% видов позвоночных Земли и при этом занимают всего 1,4% территории суши. Без охраны такие природные вместилища биоразнообразия исчезнут очень быстро. В среднем 88% первоначальной площади этих районов уже погублено, а человеческое население их быстро растет. Эти уникальные точки требуют нашего немедленного внимания и заботы.

Если вымирание и дальше будет ускоряться, через несколько столетий мир станет достаточно усредненным. Большинство видов с ограниченным ареалом вымрет, но несколько выносливых видов только выиграет от происходящего. Более 90% сельского хозяйства Земли использует всего 20 видов растений и 6 видов животных. По мере роста человеческого населения земного шара их численность тоже будет расти. Их судьба надежно обеспечена. Виды-пришельцы, уже добившиеся успеха на новом месте, будут распространяться и дальше. Ожидается, что дрейссена, к примеру, перебираясь из водоема в водоем, в ближайшие годы колонизирует всю территорию США. Гибель лесов и других мест обитания нанесет вред большинству местных видов,

но некоторые будут процветать. Так, квакши южноамериканских лесов могут откладывать яйца в дорожных рытвинах и других временных водоемах, а пауки-охотники способны развешивать паутину даже на стеблях сорных трав. Сегодня на месте тропических дождевых лесов, как 250 млн лет назад, разрастается полушник и другие плауны.

«Пока человек здесь и не вымирает, — говорит Уорд, — тот эволюционный кран, который открывается после массовых вымираний и обеспечивает возникновение новых видов, открыт не будет. Мне представляется, что, если человек просуществует еще долго, возникнет мир с очень низким уровнем биоразнообразия. Для меня это трагедия».

Но, возможно, мы и сами не избежим общей участи. Мы не можем обойтись без заболоченных мест, которые обеспечивают фильтрацию воды, без пчел, которые опыляют наши посевы, без растений, которые формируют почву. А этим растениям и животным, в свою очередь, для выживания необходимы здоровые экосистемы. В экспериментах биологи пробовали изменять биоразнообразие простых экосистем, таких как экосистема луга. Получается, что чем меньше в экосистеме видов, тем более она подвержена действию засух и других катастроф. Если обедненные экосистемы, от которых полностью зависит и на которые полагается человек, рухнут, человечество может и не выжить. Конечно, человек — самый изобретательный вид на планете, так что не исключено, что мы найдем способ пережить даже такую катастрофу.

После прошлых массовых вымираний жизнь на Земле каждый раз возрождалась и даже расцветала вновь. Сможет ли она оправиться после нынешнего вымирания, отчасти зависит и от того, что написано на роду человечества. Не исключено, что глобальное потепление окажется в конце концов самым мощным инструментом вымирания, но продолжаться вечно оно не сможет. Количество нефти и угля на планете ограни-

чено — их запасы составляют около 11 трлн тонн. По оценкам Джеймса Кастинга, климатолога из Университета Пенсильвании, при сжигании такого количества ископаемого топлива содержание углекислого газа в атмосфере увеличилось бы примерно втрое относительно нынешнего уровня, а температура поднялась бы на 3–10 °С. Человечество может использовать все эти запасы за несколько сотен лет. Земле же потребуются сотни тысяч лет, чтобы вновь связать углекислый газ и привести его уровень в атмосфере к тому, что был до Промышленной революции.

Но даже после того как уровень углекислого газа вернется к нормальному, а *Homo sapiens* полностью исчезнет с планеты, биологические захватчики, которых мы развезли по всему миру, будут контролировать свои экосистемы и тормозить эволюцию всех прочих растений и животных.

«В настоящее время эволюция вступила в новую фазу, — говорит Берни. — Происходит нечто совершенно новое, и человек имеет к этому непосредственное отношение. Откровенно говоря, это пугает. Похоже, мы придаем эволюции совершенно новые качества, с которыми природа прежде никогда не сталкивалась: теперь вид может сесть на самолет и мгновенно оказаться на другом конце света; кроме того, возникают сочетания видов, которые прежде никогда не сталкивались между собой. Правила игры полностью меняются, и мы просто не знаем, чем и когда все это может закончиться».



Часть III

**Танец эволюции**



## КОЭВОЛЮЦИЯ

*Сплетаая паутину жизни*

Тот факт, что мы должны сохранять виды, которым угрожает вымирание, представляется очевидным. Но почему? Одна из множества причин заключается в том, что изучение этих видов может подсказать нам, как работает эволюция. В настоящий момент один такой вид борется за существование в стремительно убывающих лесах Мадагаскара: это необыкновенная орхидея *Angraecum sesquipedale*. Один из лепестков ее бледного, почти белого цветка имеет форму трубки глубиной до 40 см, и на дне этой трубки находятся несколько капелек сладкого нектара.

Для чего может предназначаться медоносная железа, расположенная на такой глубине? Какая эволюционная сила создала ее? Если не пожалеть времени и подождать, ответ прилетит сам. Эту орхидею посещает особый вид мотылька; над цветком он как бы зависает, останавливается в полете. Язычок мотылька, свернутый во рту подобно часовой пружине, начинает наполняться кровью, и ее давление заставляет язычок выпрямиться. Он разворачивается на полную длину — 40 см, гораздо больше длины тела самого мотылька. Мотылек запускает язычок в трубку и дотягивается до сладкого нектара. Всасывая нектар, он погружается, насколько возможно, в цветок и трется

головой о пыльцевые зерна; затем сворачивает язычок и улетает на поиски следующей орхидеи со сладким нектаром, унося на голове пыльцу. Какая-то часть пыльцы с головы мотылька непременно осыплется при трении о следующий цветок и сможет оплодотворить яйцеклетки орхидеи.

Трудно поверить, что два совершенно разных вида могут быть так тесно связаны между собой, но природа изобилует такими партнерствами — будь то благотворное взаимодействие между цветами и насекомыми-опылителями или враждебные отношения между хищником и жертвой. В значительной степени жизнь представляет собой сложную систему взаимодействующих видов, приспособленных друг к другу, как ключ к замку.

Партнеры, подобные уже рассмотренной нами паре — орхидея и мотылек, — вовсе не появились на свет в современном виде, с готовыми приспособлениями. Они эволюционировали вместе, развиваясь в направлении все большей и большей близости; эти эволюционные процессы продолжаются и сегодня. Каждое поколение растений, к примеру, улучшает свою защиту от насекомых-вредителей, но одновременно и насекомые развивают все новые способы обходить их защитные приспособления.

Ученые установили, что процессы, при которых эволюция одного вида направляет и подталкивает эволюцию другого, — известные как коэволюция — одна из мощнейших сил, формирующих жизнь. Коэволюция может создавать самые необычные анатомические приспособления, вроде 40-сантиметрового язычка у небольшой вроде бы ночной бабочки. Именно ей, коэволюции, мы обязаны значительной частью биологического разнообразия, поскольку спираль коэволюции порождает миллионы новых видов. Кроме того, игнорировать факт коэволюции чрезвычайно опасно. Зерновые, которыми мы питаемся, бумага, на которой напечатаны эти слова, — все растения, от которых мы зависим, коэволюционируют с множеством партнеров, как поддержи-



вающих жизнь, так и разрушающих. За то, что мы так бездумно видоизменяем коэволюционный танец, нам, возможно, придется дорого заплатить.

## СЕКСУАЛЬНЫЕ ПОСРЕДНИКИ

Концепция коэволюции возникла у Дарвина в 1830-х гг., когда он пытался разгадать загадку секса у растений. Как правило, у цветка имеются и мужские, и женские половые органы. Мужские органы — пыльники — содержат зерна пыльцы, которые, проникая в женский орган — пестик — оплодотворяют будущие семена. Казалось бы, чтобы спариваться между собой, растениям пришлось бы выдернуть корни из земли и отправиться на поиски партнера. На самом деле мы знаем, что ничего подобного не происходит. Тем не менее пыльца с одного растения каким-то образом попадает на пестик другого. И не просто другого, а представителя того же вида.

Некоторым растениям для этого достаточно доверить свою пыльцу ветру. Но Дарвин обнаружил, что некоторые растения используют для переноски пыльцы насекомых. Он наблюдал, как пчелы прилетают на цветки красной фасоли, чтобы напиться сладкого нектара. Пробираясь по лепесткам цветка, пчела неизменно трется о пыльники и подхватывает какое-то количество пыльцы. А оказавшись на другом растении, она стряхивает пыльцу на пестик. Дарвин понял, что растения используют пчел для занятий сексом, а за услуги расплачиваются с ними нектаром.

Другой ученый мог бы удовлетвориться таким замечательным открытием. Но Дарвину было недостаточно понимать существующие механизмы природы, он хотел выяснить, как они возникли, разобраться в их истории. Дарвин пришел к выводу, что в случае с цветами и опыляющими их насекомыми эволюция, должно быть, шла довольно сложным путем. Вообще, в данном

случае речь шла не о том, что вид адаптировался к внешним условиям, таким как сила тяжести или вязкость воды. В данном случае два вида живых существ адаптировались друг к другу. В то время как гравитационная сила неизменна, виды могут изменяться с каждым новым поколением.

В «Происхождении видов» Дарвин привел один пример того, как коэволюция может сформировать два вида. Луговой клевер в обычных условиях опыляют шмели. Но представьте, что однажды — совершенно неожиданно — все шмели исчезнут. Если луговой клевер не сможет обзавестись новым партнером-опылителем, он не сможет размножаться и тоже исчезнет.

В принципе, вакантное место могут заполнить медоносные пчелы. В обычных условиях они опыляют другую форму клевера, известную как клевер пунцовый. Но некоторые пчелы, возможно, начнут пользоваться запасами сладкого нектара, который останется невостребованным после исчезновения шмелей. Поначалу пчелам придется нелегко, ведь у них не такие длинные язычки, как у шмелей, и нектара им будет доставаться куда меньше, чем шмелям. Но пчела, которой повезет родиться с необычно длинным язычком, получит щедрое вознаграждение и никогда не будет испытывать недостатка в нектаре лугового клевера, так что естественный отбор, возможно, позаботится о том, чтобы со временем язычки у медоносных пчел удлинлись.

Тем временем и луговой клевер, возможно, адаптируется к своему новому опылителю, медоносной пчеле. Пыльца растения, цветок которого окажется чуть более доступным для пчелы, распространится дальше, чем пыльца других растений. Постепенно цветки лугового клевера и медоносные пчелы приспособятся друг к другу.

«Таким образом я могу понять, — писал Дарвин, — как цветок и пчела могли бы медленно, одновременно или по очереди, изменяться и приспосабливаться друг к другу самым идеальным об-

разом, путем регулярного сохранения особей, представляющих взаимные и в чем-то благоприятные отклонения в строении».

Вскоре после окончания работы над «Происхождением видов» Дарвин открыл для себя, насколько сильно цветы и насекомые могут влиять друг на друга. Он начал изучать орхидеи — как местные в полях вокруг Даун-Хауса, так и экзотические виды, которые ему присылали из тропиков и которые он выращивал в оранжерее. Во времена Дарвина большинство людей считало, что орхидеи созданы исключительно для усаждения человеческого взора. Но Дарвин понял, что форма их необыкновенных цветов — не красота ради красоты, а сложное устройство для вождения насекомых в сексуальную жизнь растений.

Подобно механику, разбирающему машину, чтобы разобраться в ее устройстве, Дарвин пытался понять, как устроена орхидея и как части цветка взаимодействуют между собой. Среди видов, которые произвели на него особенно сильное впечатление, была южноамериканская орхидея *Catasetum saccatum*. Это растение держит свою пыльцу на специальном диске, прикрепленном к гибкому побегу; изначально побег загнут назад таким образом, что диск находится внутри цветка. Там он и остается, а побег напрягается так, что вся конструкция напоминает взведенный арбалет. Когда на орхидею, чтобы напиться нектара, прилетает насекомое, ему приходится садиться на особый чашевидный лепесток, горизонтально торчащий из цветка наружу. При этом чтобы добраться до нектара, нужно проползти по лепестку, задевая спиной за особую нависающую сверху «антенну». Антенна прикрепляется к гибкому побегу, и вся система вместе работает как спусковой крючок. Побег «выстреливает» и хлопает диском с пыльцой по спинке пчелы.

Дарвин установил, что пыльцу цветка практически невозможно высвободить как-то иначе. Образцы *C. saccatum*, которые он изучал, были доставлены поездом, но даже тряска в вагоне не заставила пыльники взорваться и выпустить пыльцу. Дарвин

тыкал иглой в разные части цветка — и ничего не происходило. «После испытаний, проведенных на пятнадцати цветках трех разных видов, — писал он позже, — я обнаружил, что никакого умеренного воздействия на любую часть цветка, за исключением антенны, не дает никакого результата». Стало понятно, что орхидеи эволюционировали вместе с насекомыми-опылителями.

Дарвин описал эти и многие другие орхидеи в книге с длинным названием «О различных приспособлениях, посредством которых британские и заморские орхидеи опыляются насекомыми, и о положительных эффектах скрещивания». Как и в «Происхождении видов», Дарвин развивал теорию эволюции, но делал это более искусно, чем в предыдущей книге. Автор вел читателя от одной орхидеи к другой, показывая сложное устройство каждого цветка и его уникальные приспособления к половой жизни. Если прежде он показал, что морские уточки — это высоко развитые ракообразные, то теперь наглядно продемонстрировал, что орхидеи — высокоразвитые цветковые растения. Эволюция растянула, перекутила и трансформировала части обычных цветов, чтобы превратить их в катапульты и другие устройства, при помощи которых орхидеи распространяют свою пыльцу.

Дарвин был абсолютно убежден, что причудливая форма цветков орхидей сформировалась именно в процессе коэволюции; он даже высказал в книге смелое предсказание. Как раз в то время исследователи нашли на Мадагаскаре орхидею *Angraecum sesquipedale* с ее 40-сантиметровым нектарником. Дарвин высказал уверенность в том, что на острове найдется и насекомое с соответствующим по размеру длинным язычком, как бы странно это ни звучало. Пыльца орхидеи, написал он, «не будет извлечена, пока какой-нибудь огромный мотылек с необычайно длинным хоботком не попытается выпить последнюю каплю нектара».

Время шло, а чудесного мотылька все не было. Но Дарвин, несмотря ни на что, продолжал надеяться. И только в 1903 г. энтомо-

логи сообщили о существовании именно такого насекомого. Находка получила название *Xanthopan morgani praedicta* (*praedicta* означает «предсказанный») в честь Дарвинова предсказания. Сегодня биологам известно немало и других видов мотыльков и мух с длинными язычками, при помощи которых они пьют нектар других цветков с такими же длинными нектарниками. Такие пары можно найти не только на Мадагаскаре, но также в Бразилии и Южной Африке. Но можно с уверенностью сказать: счастлив ученый, у которого хотя бы однажды сбылось самое странное, самое необычное предсказание.

## МАТРИЦА КОЭВОЛЮЦИИ

Коэволюция — гораздо более мощное и распространенное явление, чем мог предположить Дарвин. Даже среди растений, подкасающих ему саму концепцию коэволюции, оно встречается значительно чаще, чем представлялось ранее. В настоящий момент ученые признают, что громадному большинству цветковых растений — 290 000 видов — для распространения пыльцы необходимы животные (лишь у 20 000 видов пыльца может разноситься ветром или водой). Вместо нектара некоторые растения предлагают насекомым в качестве «вознаграждения» смолу или масло, которые те используют при строительстве гнезд. Томаты и некоторые другие растения даже делятся с насекомыми пыльцой. Как правило, они держат пыльцу в особых контейнерах, напоминающих солонки с отверстиями; насекомое, опустившись на цветок, начинает махать крылышками с частотой, которая заставляет контейнер резонировать и встряхивает из него пыльцу. Пыльца при этом не только становится главным блюдом на пиру насекомого, но и обсыпает его с ног до головы.

Конечно, опылением цветков занимаются в основном насекомые, но некоторые позвоночные — около 1200 видов, главным образом птицы и летучие мыши, — тоже не брезгают этим за-

нятием. Подобно опылителям-насекомым, они определяют ход эволюции тех растений, которые опыляют. Цветки, опыляемые птицами, привлекают их ярко-красными лепестками (насекомые не различают цвета). В отличие от ароматных орхидей, цветы, опыляемые птицами, не имеют запаха — ведь у птиц очень слабое обоняние. Они держат свой нектар в длинных широких трубках, в которые удобно залезать длинным жестким птичьим клювом. С другой стороны, растения, опыляемые летучими мышами, раскрывают свои цветы по ночам, когда мыши покидают свои насесты в поисках пищи. Чтобы облегчить рукокрылым поиск, некоторые цветки приобрели в процессе эволюции чашеобразную форму, удобную для отражения и фокусировки звуковых волн, которыми летучие мыши пользуются при эхолокации. Эти акустические зеркала привлекают внимание ночных летунов и, подобно маяку, ведут их к источнику пищи.

Культурные растения нуждаются в опылителях не меньше, чем их дикие предки и родичи. Без опылителей яблоневый сад остался бы бесплодным, а на кукурузном поле невозможно было бы отыскать ни одного початка. Но растения — как дикие, так и культурные, — зависят в своем существовании и от других эволюционных партнеров. Растения производят органические углеводороды из углекислого газа и воды в процессе фотосинтеза, а вот извлекать из почвы азот, фосфор и другие питательные вещества им гораздо сложнее. К счастью, корни многих видов растений переплетаются с тончайшей сетью грибных волокон, которые обеспечивают им питание.

Грибы производят ферменты, которые разлагают почву и помогают всасывать из нее фосфор и другие химические вещества. Они доставляют эти питательные вещества в корни растения, а взамен получают некоторое количество органических веществ, созданных растением в процессе фотосинтеза. Грибы дорого берут за свои услуги: они отнимают у дерева около 15% всех органических углеводородов, созданных за год. Но дело того стоит:

без грибов многие растения вырастают чахлыми и слабыми. Некоторые виды грибов способны также уничтожать почвенных нематод и прочих вредителей, а также повысить выносливость растения к засухе и другим природным катаклизмам. Они делают запасы извлеченных из растений углеводов, а затем перемещают их по сети грибницы. Если одно из деревьев, связанных с этой грибницей, будет испытывать дефицит углерода, грибы могут поставлять его через корни. Получается, что леса, прерии и соевые поля — это не набор отдельных особей, а всего лишь видимая часть громадной эволюционной матрицы.

## БИОХИМИЧЕСКАЯ ВОЙНА

В результате коэволюции может родиться поистине взаимовыгодное сотрудничество, но столь же легко она может превратить виды во врагов, тонко настроенных друг на друга. Постоянная угроза со стороны хищника подгоняет эволюцию жертвы, заставляя животных становиться еще мобильнее, еще несъедобнее, еще незаметнее. В ответ хищники тоже вольны развивать быстрые ноги, сильные челюсти или острое зрение. Таким образом, хищник и жертва вступают в своеобразную биологическую гонку вооружений, где на каждое новое приспособление одного противника следует адекватный ответ другого.

Гонка вооружений может дать животному грубую силу или скорость, а может — снабдить сложнейшими средствами ведения химической войны. Одно из лучших мест, где можно убедиться в этом, — болотистые равнины и леса тихоокеанского побережья, на северо-западе США. Там обитает оregonский тритон — 20-сантиметровое земноводное с ярко-оранжевым брюшком. При опасности тритон демонстрирует окружающим свое брюшко, и хищник поступит разумно, если отступится, распознав яркое пятно как предупреждение. Если хищник все же съест тритона, он почти наверняка погибнет — ведь тот произво-

дит нервный яд, достаточно мощный, чтобы убить 17 взрослых людей или 25 000 мышей.

Поскольку даже небольшой доли тритонова яда достаточно, чтобы погубить большинство хищников, можно решить, что тритон напрасно производит его так много. Но есть хищник, который остается угрозой даже для самых ядовитых тритонов. Эдмунд Броди из Университета Юты и его сын, тоже Эдмунд, биолог Университета Индианы, обнаружили, что краснобокая подвязочная змея спокойно поедает оregonского тритона и не боится отравиться, поскольку обладает генетической устойчивостью к его яду.

У других хищников (включая и другие виды подвязочных змей) яд тритона блокирует некоторые каналы на поверхности нервных клеток, нарушая таким образом нервные связи и вызывая смертельный паралич. Но краснобокие змеи развили у себя в процессе эволюции особые нервные каналы, которые этот яд не может полностью блокировать. Пообедав оregonским тритоном, змея может на несколько часов впасть в оцепенение, но со временем придет в себя и полностью оправится. Угроза со стороны подвязочных змей заставила тритонов эволюционировать так, чтобы вырабатывать больше яда, а это, в свою очередь, ускорило эволюцию змей в направлении большей сопротивляемости.

Разумеется, нельзя сказать, что гонка вооружений между змеями и тритонами представляет собой равномерное движение в одном направлении, затрагивающее всех представителей вида. Эволюция работает не так. Борьба между хищником и жертвой разыгрывается одновременно в сотнях локальных популяций. К примеру, в окрестностях залива Сан-Франциско и на северном побережье штата Орегон коэволюция, похоже, шла полным ходом; там обитают очень токсичные тритоны и змеи с высокой сопротивляемостью яду. Но помимо горячих точек коэволюции, в общем ареале змей и тритонов существуют и холодные точки. Так, в некоторых популяциях на полуострове Олимпик трито-



ны почти не вырабатывают яда, а змей, которые ими питаются, почти не имеют сопротивляемости.

Отец и сын Броуди предполагают, что курс козволюции определяют уникальные обстоятельства каждого конкретного места. Змеям, к примеру, за сопротивляемость к яду тритона приходится дорого платить. Оказывается, чем выше сопротивляемость, тем медленнее ползают змеи. Вообще, у змей между сопротивляемостью к яду тритона и скоростью существует какая-то не до конца понятная связь — и в результате змеи, устойчивые к яду, подвергаются дополнительной опасности со стороны птиц и других хищников. Возможно, холодные точки козволюции — это те места, где подвязочным змеям постоянно угрожает нападение. С другой стороны, не исключено, что в горячих точках змеи сильнее зависят от тритонов, потому что другой добычи недостаточно. Но каковы бы ни были причины существования холодных и горячих точек, гены из тех и других распространяются по всему ареалу и змей, и тритонов. Иногда случается, что холодные точки полностью блокируют козволюцию и гонку вооружений, но бывает и наоборот: горячие точки козволюции доводят весь вид до смертельно опасных крайностей.

## ЖУКИ ПРОТИВ РАСТЕНИЙ: 300 МЛН ЛЕТ ВОЙНЫ

В процессе козволюционной борьбы между противниками могут возникать сложнейшие приспособления и механизмы, а не только яды и противоядия. Не исключено, что именно козволюция является движущей силой видового разнообразия жизни на Земле.

Предположение о том, что козволюция могла самым серьезным образом повлиять на развитие жизни, первыми высказали в 1964 г. два эколога, Пол Эрлих и Питер Рейвен. Рейвен и Эрлих указали, что, хотя опыляемые растения находятся с некоторыми насекомыми в дружеских отношениях, многим приходится вести с ними тотальную войну. Вспомните, как часто насекомые жуют

листья, прогрызают ходы в древесине, пожирают плоды — вообще, всячески губят растения и наносят им вред. Поедая листья, насекомые лишают растения возможности производить фотосинтез, а обгрызая корни, отрезают их от источника воды и питательных веществ. Если съедено будет слишком много, растение просто погибнет. Но даже ограничиваясь семенами, насекомые лишают растения законных генетических наследников.

В процессе эволюции растения обзавелись физическими и химическими системами защиты от голодных жуков. У остролиста, к примеру, листья по периметру окружены острыми «зубами», которые довольно успешно защищают их от грызущих насекомых. (Если срезать шипы, жуки быстро найдут дорогу к сладкой мякоти.) Некоторые растения в ответ на укусы насекомых начинают вырабатывать в своих тканях яд. Другие защищаются при помощи пронизывающей листья и стебли сети трубочек, наполненных липкой смолой или клейким соком. Стоит насекомому во время обеда задеть одну из трубочек, и на него обрушится поток смолы или млечного сока; неудачливое насекомое утонет в нем, и возможно, окажется погребенным в куске янтаря или шарике каучука. Есть растения, которые в случае нужды умеют позвать на помощь. В ответ на укус гусеницы они выпускают в воздух химические вещества, привлекающие ос-паразитов. Осы откладывают яйца в гусениц, и их личинки пожирают вредителей изнутри.

Эрлих и Рейвен считают, что любая разновидность растений, которой удалось разработать какой-либо способ защиты от вредителей, получает возможность агрессивно размножаться и расширять ареал. Угроза вымирания для этих растений ослабевает, зато увеличиваются шансы продолжить род и даже разветвиться на новые виды. Со временем их потомки станут более разнообразными, чем другие, которым не удалось избежать внимания вредителей.

Для насекомых эти новые растения подобны новому неизведанному континенту, который внезапно поднялся из глубин океа-

на и ждет своих исследователей. Но чтобы добраться до него, им придется «придумать» способ обойти новую систему защиты растений и обзавестись соответствующими механизмами. Семейство насекомых, которому это удастся, сможет спокойно колонизировать новые территории; в отсутствии конкуренции со стороны других насекомых они будут процветать, размножаться и дробиться на виды. Вполне возможно, что именно такая коэволюция — новое средство защиты, нападение, снова защита... — объясняет разные уровни разнообразия среди растений и среди насекомых.

Гипотеза Эрлиха и Рейвена казалась заманчивой, но практически непроверяемой. Ученые никак не могли смоделировать эволюционные процессы последних 300 млн лет, чтобы посмотреть, как разыгрывалась во времени коэволюция растений и их вредителей-насекомых. Но в начале 1990-х гг. гарвардский энтомолог Брайан Фаррелл придумал, как для проверки гипотезы использовать существующее разнообразие растений и насекомых. Появился шанс посмотреть, насколько правы Эрлих и Рейвен.

В первом эксперименте Фаррелл решил проверить, действительно ли появление новой системы защиты способствует бурному разнообразию среди растений. В качестве объекта исследований он выбрал эволюцию канальцев с млечным соком, цель которых — утопить кормящееся насекомое. Фаррелл обнаружил, что такая система защиты появилась независимо у 16 семейств растений. Он подсчитал число видов, которым дали рост эти семейства, и сравнил его с числом близкородственных видов, но лишенных канальцев с соком. В 13 случаях из 16 группы с канальцами оказались гораздо более разнообразными, чем родственные им группы без канальцев. К примеру, гингко и хвойные деревья происходят от не слишком далекого общего предка, но семейство гингко, лишенное каналов, состоит из одного-единственного вида. Хвойные же, получив канальцы со смолой, активно развивались и породили 559 видов, от сосны до тиса. Маргаритки и одуванчики принадлежат к весьма разно-

образной группе млечных растений, известных как *Asterales*; в рядах этой группы насчитывается 22 000 видов. У их ближайших бесканальцевых родичей *Calyceraceae* (калицеровых) — всего 60. Развив у себя оборонительные каналы, эти растения вполне оправдали предсказание Эрлиха и Рейвена: надежно защитившись от врагов, они обрели свободу развития и добились гораздо большего разнообразия, чем их незащищенные собратья.

Затем Фаррелл перешел ко второй части гипотезы Эрлиха и Рейвена: насекомые, сумевшие колонизировать новую защищенную линию растений, в свою очередь испытывают всплеск разнообразия. Он выбрал для изучения чрезвычайно разнообразную группу насекомых: жуков. Биолог Дж. Холдейн любил говорить, что если из биологии и можно узнать что-то о природе Создателя, так это то, что Он «необычайно любил жуков». Если насекомые — самая разнообразная группа животных, то жуки, которых известно 330 000 видов, — безусловно, самая разнообразная группа насекомых. Фаррелл решил выяснить, как им удалось достичь такого разнообразия.

Прежде всего он составил для жуков эволюционное древо. Выяснилось, что сначала жуки не питались растениями. Вообще, самые примитивные жуки питались грибами и мелкими насекомыми. И сегодня некоторые виды жуков, к примеру, долгоносики, продолжают вести примитивный образ жизни. Но 230 млн лет назад новая ветвь жуков переключилась на питание растениями. Большинство самых обычных растений, к которым мы привыкли, тогда еще не было. К примеру, не было цветковых растений. Ранние растительноядные жуки специализировались на существовавших тогда голосеменных растениях (в эту группу входят хвойные, гинкго и саговые пальмы). Питаясь голосеменными, новые группы жуков развились в гораздо большее число видов, чем их родичи, которые питались грибами и насекомыми.

Около 120 млн лет назад начали появляться покрытосеменные, они же цветковые, растения, оказавшиеся значительно бо-

лее приспособленными и разнообразным, чем голосеменные. По мере того как они развивались, пять разных семейств жуков сумели перебраться с голосеменных на цветковые растения. Фаррелл обнаружил, что во всех пяти случаях те жуки, которым это удалось, достигли большего разнообразия, чем те их родичи, что остались на голосеменных. В некоторых случаях разнообразие новых групп жуков умножилось более чем в тысячу раз. Как и предсказывали Эрлих и Рейвен, новые жуки опробовали множество новых способов питания и жизни на новых растениях. Жуки, живущие на голосеменных растениях, специализируются на сосновых шишках или подобных семясодержащих структурах. Жуки, которым удалось перебраться на цветковые растения, начали пробовать разные сорта пищи — кору, листья, корни.

Никто не проверял другие группы насекомых настолько тщательно, но скорее всего там тоже выявилась бы подобная закономерность: секрет успеха — коэволюция с цветковыми растениями. Кроме того, как все хорошие исследования, работа Фаррелла наводит на новое размышление: почему на свете так много цветковых растений? Отчасти ответ, вероятно, заключается все в той же коэволюции. По мере того как насекомые изобретали все новые и новые способы пожирания цветковых растений, те испытывали сильное эволюционное давление и искали способы сдерживания. Одновременно некоторые насекомые, такие как пчелы, развивали с растениями более взаимовыгодное сотрудничество, помогая цветковым опыляться и распространять пыльцу. Возможно, такое сотрудничество помогло им избежать вымирания и породить больше видов. Ученые выяснили, что разнообразие порождает разнообразие.

## ЧЕЛОВЕК ПРОТИВ ЖУКА

Жуки и другие насекомые эволюционировали вместе с растениями, которыми они питаются, сотни миллионов лет. В послед-

ние несколько тысяч лет мы, люди, внезапно изменили условия их коэволюции: мы окультурили растения и попытались избавить их от насекомых-вредителей. В большинстве случаев мы попытались остановить насекомых, не принимая в расчет реальных процессов коэволюции. В результате значительная часть наших усилий оборачивается бедой или по крайней мере серьезными проблемами. Пожалуй, самое наглядное проявление коэволюции в действии, — стремительный рост резистентности насекомых к пестицидам.

Человек начал окультуривать растения около 10 000 лет назад. Когда первые крестьяне засеяли свои поля чечевицей и полбой, насекомые этого не заметили и продолжали поедать растения на полях точно так же, как до этого поедали их диких предков. Поначалу человек мог только молиться богам об избавлении от вредителей; реально ничего сделать было невозможно. Бывали случаи, когда насекомых даже привлекали к суду. В 1478 г. жуки съели весь урожай вокруг швейцарского города Берна, и в ответ мэр города поручил одному из городских юристов обратиться в церковный суд и потребовать наказания преступников. «Причиняя вред, они наносят ущерб вечному Богу», — жаловались жители города. Жукам тоже был назначен адвокат; защитник и обвинитель сошлись в суде и красноречиво изложили дело. Выслушав обе стороны, епископ вынес решение в пользу крестьян и объявил жуков воплощением дьявола. «Мы обвиняем их и налагаем на них проклятие, — объявил он, — и приказываем им повиноваться и предаем их анафеме именем Отца, Сына и Святого Духа, чтобы они убирались со всех полей, земель, огородов, семян, плодов и прочих продуктов и удалились».

Жуки и не подумали удалиться. Они продолжали как ни в чем не бывало есть посевы. Тогда было решено, что жуки — не воплощение дьявола, а наказание, наложенное Господом на крестьян за тяжкие грехи. Как только крестьяне заплатили церкви десятину с того небольшого урожая, который им удалось все же со-

братъ, жуки пропали. Или, может быть, они просто истощили запасы пищи, и численность популяции резко упала — совершенно естественным образом.

Когда не помогли судебные процессы и заклинания, крестьяне прибегли к ядам. Еще шумеры 4500 лет назад начали посыпать свои посевы серой; в Древнем Риме были популярны деготь и жир. Древние земледельцы открыли, что вещества, содержащиеся в некоторых растениях, также способны защитить посевы от вредителей. Греки, прежде чем посадить семена, вымачивали их в настое из огурцов. В XVII в. европейцы начали извлекать из растений, таких как табак, химические вещества, которые оказались еще более мощным средством от вредителей, чем прежние настои. Пиретрины, полученные в 1807 г. из кавказской ромашки, используются в сельском хозяйстве до настоящего времени.

Параллельно с поиском более эффективных пестицидов европейцы устраивали огромные поля и плантации, как в Европе, так и в недавно открытых колониях. Для насекомых как будто накрыли громадные пиршественные столы. Во многих странах начались настоящие эпидемии насекомых-вредителей. Крестьяне начали прибегать к более мощным пестицидам, таким как цианиды, мышьяк, сурьма и цинк; они смешивали медь с известью и получали смесь, известную как парижская зелень. Изобретение аэропланов и опрыскивателей сильно расширило возможности сельских тружеников: теперь пестицидами можно было сплошь обрабатывать целые поля, и к 1934 г. американские фермеры использовали в год 30 млн фунтов серы, 7 млн фунтов пестицидов на мышьяке и 4 млн фунтов парижской зелени.

Около 1870 г. в Сан-Хосе, штат Калифорния, появилось маленькое плодовое насекомое; вероятно, оно было завезено в США с рассадой из Китая. Этот вредитель, получивший название щитовка калифорнийская, быстро распространился по Соединенным Штатам и Канаде, уничтожая по пути под корень плодовые

деревья. Садоводы обнаружили, что лучший способ борьбы с новым вредителем — опрыскивать сад смесью серы и извести. Через несколько недель после опрыскивания дерева щитовка на нем полностью исчезала. Известково-серный раствор получил название калифорнийской жидкости.

Однако в начале XX в. садоводы начали замечать, что традиционная смесь серы и извести работает не так уж хорошо. Как правило, несколько особей щитовки на дереве оставалось в живых после опрыскивания, и со временем численность вредителя полностью восстанавливалась. Садоводы долины Кларкстон в штате Вашингтон, к примеру, пришли к убеждению, что производители подмешивают что-то в пестицид и разбавляют его безвредными добавками. Пытаясь гарантировать себе чистый беспримесный яд, они построили собственную фабрику и начали поливать деревья пестицидами местного производства — но щитовка продолжала распространяться, не обращая внимания на новшества. Энтомолог А. Л. Меландер осмотрел деревья и обнаружил, что щитовки припеваючи живут на листьях под толстой коркой высохшего спрея.

Меландер начал подозревать, что махинации с производством яда здесь ни при чем. В 1912 г. он сравнил эффективность действия яда в разных частях штата Вашингтон. Выяснилось, что в Якиме и Саннисайде известково-серный раствор убивает всех щитовок на дереве до последней, а в Кларкстоне от 4 до 13% насекомых остаются в живых. С другой стороны, кларкстонские щитовки, как и насекомые в других частях штата, полностью гибли от другого пестицида, производившегося на основе мазута. Иными словами, кларкстонские щитовки обладали избирательной резистентностью к известково-серному раствору.

Этот любопытный факт заинтересовал Меландера. Он знал, что, если конкретная особь насекомого съест небольшое количество яда, к примеру, мышьяка, у нее может появиться иммунитет к этому яду. Но поколения калифорнийской щитовки сме-



нялись так быстро, что каждое насекомое за свой век успевало пережить лишь одно опрыскивание и никак не могло приобрести иммунитет к яду.

Меландеру пришла в голову радикальная мысль: что если случайная мутация подарила нескольким щитовкам сопротивляемость к известково-серному раствору? Когда садовод опрыскивал свои деревья, в живых оставались эти несколько особей и некоторое количество других, не обладающих резистентностью, но не получивших смертельной дозы яда. Уцелевшие щитовки затем скрещивались, и гены резистентности с каждым поколением получали в популяции все большее распространение. В зависимости от пропорции уцелевших щитовок деревья могли вновь покрыться резистентными или нерезистентными насекомыми. В долине Кларкстон садоводы пользовались известково-серной смесью дольше других садоводов северо-запада США, к тому же они заливали свои деревья ядом практически полностью. Тем самым фермеры сами подталкивали эволюцию самых резистентных щитовок.

Меландер опубликовал свои идеи в 1914 г., но никто не обратил на публикацию особого внимания: все были слишком заняты поиском новых, еще более мощных пестицидов. В 1939 г. швейцарский химик Пауль Мюллер обнаружил, что смесь хлора с углеводородами убивает насекомых эффективнее любого известного пестицида. Новый пестицид получил название ДДТ и оказался едва ли не панацеей от всех проблем с вредителями. Простой и дешевый в производстве, новый пестицид уничтожал многие виды насекомых и был достаточно стабилен, чтобы храниться на складах годами. При использовании в малых дозах — а при его силе этого было достаточно — он вроде бы никак не угрожал здоровью людей. С 1941 по 1979 г. в мире было произведено 4,5 млн тонн ДДТ — почти по килограмму на каждого живущего человека, будто то мужчина, женщина или ребенок. ДДТ был таким мощным и дешевым, что фермеры прак-

тически отказались от прежних — казалось, безнадежно устаревших — способов борьбы с вредителями. Люди перестали осушать застойные водоемы и выводить устойчивые к вредителям сорта растений.

ДДТ и подобные ему пестициды внушили человеку опасную иллюзию: мысль о том, что вредителей можно не только контролировать, но и полностью уничтожить. Фермеры начали опрыскивать свои поля не только в случае всплеск численности вредителя, но просто так, в порядке профилактики. Одновременно работники здравоохранения решили, что ДДТ поможет человечеству справиться с комарами — разносчиками серьезных болезней, в том числе малярии. В 1955 г. в книге «Победа человека над малярией» Пол Рассел из Рокфеллеровского университета пообещал: «Впервые даже страны со слабо развитой экономикой смогут, независимо от климата, полностью изгнать малярию из своих пределов».

ДДТ, бесспорно, спас множество жизней и уберег огромное количество урожая, но даже в первые годы его триумфального шествия некоторые ученые уже видели признаки беды. В 1946 г. шведские ученые обнаружили комнатную мушку, которую уже невозможно было убить при помощи ДДТ. Чуть позже комнатные мушки в других странах тоже приобрели резистентность к этому пестициду. Вскоре появились и другие виды, способные сопротивляться. Предупреждение Меландера полностью оправдалось. К 1992 г. резистентностью к ДДТ обзавелись более 500 видов, и их число все еще растет. Вначале, когда ДДТ только начал давать сбои, фермеры просто увеличили дозу; когда и это перестало помогать, переключились на более новые пестициды, такие как малатион; когда и он начал отказывать, занялись поисками еще более действенных средств.

Поход на вредителей с арсеналом из ДДТ и других аналогичных ядов закончился грандиозным поражением. В настоящее время только в США каждый год тратится более 2 млн тонн

пестицидов. Это в 20 раз больше, чем в 1945 г., хотя новейшие пестициды гораздо более токсичны (иногда в 100 раз). Несмотря на это, доля урожая, которую человек теряет из-за насекомых, выросла с 7 до 13% — в значительной степени потому, что увеличилась сопротивляемость насекомых.

Вообще, неудача ДДТ оказалась незапланированным — и весьма масштабным — эволюционным экспериментом, не менее убедительным, чем Дарвиновы выюрки или гуппи Тринидада. Как указывали в 1964 г. Эрлих и Рейвен, растения сотни миллионов лет занимались изобретением и производством естественных пестицидов, а насекомые все это время коэволюционировали с ними и изобретали обходные пути. В последние несколько тысяч лет насекомым пришлось столкнуться с новыми — человеческими — ядами на привычных съедобных растениях, и насекомые поступили так, как поступали всегда: начали искать обходные пути и способы сопротивления. Коэволюция вступила в эру человечества.

Новый пестицид при первом опрыскивании убивает громадное большинство насекомых. Тем не менее некоторым насекомым везет, они не получают смертельной дозы яда и остаются в живых; кроме того, выживают носители каких-нибудь редких мутантных генов, которые — совершенно случайно — обеспечивают сопротивляемость к данному пестициду. Возможно, эти мутации уже возникали, и не раз, в истории вида, но в обычных обстоятельствах они лишь мешали своим носителям; насекомые с этими мутациями проигрывали в конкурентной борьбе, а потому мутации вновь исчезали из генома. При постоянном возникновении и исчезновении таких невыгодных мутаций складывается генетическое равновесие, при котором в любой момент в популяции присутствует несколько — очень немного — особей с мутантными генами. И в момент, когда на сцену выходит пестицид, носители мутантных генов внезапно обретают серьезнейшее преимущество перед собратьями и соперниками.

Сопrotивляемость насекомых-мутантов может быть основана на самых разных факторах. Они могут появляться на свет с более толстым, чем обычно, слоем кутикулы на теле, и этот слой предохраняет их от действия химиката. Их клетки могут производить мутантный протеин, способный резать молекулы пестицида на кусочки. Наконец, они могут просто испытывать беспокойство при контакте с пестицидом и улетать прежде, чем успеют получить смертельную дозу.

После опрыскивания уцелевшие насекомые оказываются в привилегированном положении — у них практически нет конкурентов. Но этого мало. Они могут заодно освободиться от паразитов и хищников, ведь яд может подействовать и на них. Благодаря отсутствию конкуренции за пищу и врагов, которые могли бы сдерживать их численность, уцелевшие насекомые переживают всплеск численности. При спаривании резистентных особей друг с другом или с уцелевшими нерезистентными насекомыми мутантные гены быстро распространяются. Если опрыскивание проводится достаточно тщательно, нерезистентные формы могут исчезнуть практически полностью.

Пестициды — не лучшая замена коэволюции. Растения и насекомые способны с каждым поколением вырабатывать новые механизмы защиты и нападения, а ученым на разработку новых пестицидов требуются годы — и все это время сопротивляемость, которую обретают насекомые, требует серьезных вложений. Крестьяне вынуждены тратить на новые пестициды все больше денег. В отличие от естественных средств защиты, к которым растения приходят в процессе эволюции, пестициды иногда убивают не только вредителей, но и дождевых червей и других подземных обитателей, без которых невозможно формирование почвы из органического вещества. Некоторые пестициды убивают пчел и других опылителей. Пестициды сохраняются в природной среде многие годы и перемещаются на тысячи километров. Помимо всего прочего, они убива-

ют и людей — непосредственно, через отравление сельскохозяйственных земель; кроме того, имеются тревожные — хотя и очень спорные — свидетельства связи между воздействием пестицидов и некоторыми типами рака.

Совсем недавно ученые предложили новое решение проблемы пестицидов в форме генетически модифицированных растений. К настоящему моменту 8 млн гектаров засеяно растениями, геном которых дополнен генами бактерий; эти гены позволяют растениям производить собственные пестициды. Бактерия *Bacillus thuringiensis*, у которой взяты гены, живет в почве и паразитирует на гусеницах бабочек и мотыльков. *B. thuringiensis* производит особый белок, который нарушает работу клеток пищеварительного тракта гусеницы и вызывает ее голодную смерть. В культуре эта бактерия (известная как Bt) содержится и используется с 1960-х гг., полученным биоинсектицидом опрыскивают все что угодно — от экологических ферм до лесов. Ее токсин безопасен для млекопитающих и быстро разлагается под действием солнечного света. Но если прежде бактерия использовалась отдельно, то теперь биохимики сумели внедрить гены Bt в геном различных сельскохозяйственных растений — хлопка, кукурузы и картофеля, — и теперь эти растения производят токсин Bt в собственных тканях. Насекомые, нападающие на трансгенные растения, получают дозу Bt и гибнут.

Агентство по охране окружающей среды надеется, что растения, производящие Bt, не станут очередной жертвой коэволюции. Вообще, если хлопковод засеет все свои поля трансгенными семенами, то насекомые, столкнувшись с огромными площадями ядовитых растений, вероятно, выработают метод защиты. Однако агентство требует, чтобы по крайней мере 20% своих земель земледельцы засеивали обычными сортами. Эти участки станут убежищами для нерезистентных особей; при скрещивании их с отдельными резистентными насекомыми произойдет рас-

щепление признаков, и гены резистентности не получают особого распространения.

Такой подход, естественно, требует сотрудничества со стороны земледельцев — ведь им приходится жертвовать частью урожая на полях, засеваемых обычными сортами растений. Можно рассчитывать лишь на то, что горький опыт общения с пестицидами удержит многих фермеров от излишеств и помещает им засадить трансгенными сортами все свои поля. Вообще, если этот метод борьбы с вредителями продержится сколько-нибудь долго, то лишь благодаря должному пониманию коэволюции. Но если сопротивляемость все же распространится в популяции, фермерам, возможно, придется покупать новые модифицированные сорта растений, которые будут производить новый токсин, — иными словами, пестицидная гонка сменится трансгенной.

Из коэволюции можно извлечь и другие уроки борьбы с вредителями. Так, насекомые были бы менее опасны, если бы фермеры перестали засеивать громадные площади монокультурой. Если выращивать одновременно разные растения, специализированным вредителям будет трудно набрать достаточный репродуктивный импульс для серьезной вспышки численности. Потребители тоже могут помочь. Покупая фрукты в супермаркете, вы, вероятно, выбираете только безупречные плоды и проходите мимо тех, на которых есть хоть малейшее пятнышко. Садоводы, естественно, знают об этом и принимают все возможные меры, чтобы поставлять идеальные плоды в супермаркеты. Необходимо помнить, что для этого им приходится применять пестициды в больших количествах — иначе просто не удастся полностью обезопасить плоды от насекомых. На самом же деле слегка тронутый плод совершенно безопасен. Если бы потребители с большей охотой покупали неидеальные фрукты, садоводы могли бы в несколько раз снизить дозы пестицидов, и эволюционное давление на насекомых тоже ослабло бы.

## МУРАВЬИ: ПЕРВЫЕ ЗЕМЛЕДЕЛЬЦЫ

Мы, люди, гордимся своими изобретениями и считаем, что первыми придумали сельское хозяйство, но на самом деле это не так. В результате одного из самых необычайных эпизодов коэволюции некоторые виды муравьев еще 50 млн лет назад начали разводить грибы. Их плантации и сегодня весьма успешны, к тому же муравьям удалось избежать многих проблем с вредителями, от которых так страдают земледельцы-люди. Нам было бы очень полезно поучиться у муравьев.

Муравьи-листорезы обитают в тропических лесах по всему миру. У многих видов этих муравьев существует каста крупных муравьев-фуражиров, которые каждый день отправляются на поиски деревьев и кустов. Они взбираются на растения и откусывают части листьев, которые затем дружной колонной несут в гнездо. Там крупные муравьи передают листья более мелким, и те делят принесенные кусочки на более мелкие. Затем в дело вступают еще более мелкие муравьи, получают еще более мелкие кусочки и т.д., пока листья не превратятся в однородную зеленую массу. Затем муравьи распределяют полученную массу как удобрение по плантациям грибов, расположенным на нижних уровнях гнезда. Грибы пробиваются сквозь плотную листовую массу и вырастают, а муравьи затем собирают части грибов, богатые питательными веществами. (Не все муравьи, занимающиеся разведением грибов, удобряют свои плантации листьями; многие виды собирают для этого в лесной подстилке другие органические вещества, такие как опавшие цветы и семена.)

Грибы, растущие на плантациях муравьев-листорезов, полностью зависят от своих хозяев. Обычные грибы для размножения выращивают плодовое тело, наполненное спорами, которые затем разносит ветер. Садовые грибы потеряли способность выращивать плодовое тело. Они растут в муравьиных гнездах

и покидают их только тогда, когда юная царица, отправляясь основывать новую колонию, берет кусочек грибницы в рот.

Муравьи-листорезы получают за свои труды неплохое вознаграждение. Дело в том, что они не способны переваривать растительные ткани и поэтому в большинстве не могут воспользоваться громадными запасами пищи, которые их окружают. Муравьи-листорезы поручают тяжелую работу по переработке листьев своим одомашненным грибам. Именно сотрудничество с грибами позволило этим муравьям стать сильнейшими игроками тропического леса. В некоторых регионах муравьи съедают до пятой части всех вырастающих за год листьев.

Пытаясь понять, как возникло такое замечательное сотрудничество, ученые исследуют эволюционные взаимоотношения между муравьями и грибами. Поскольку все 200 видов муравьев, занимающиеся разведением грибов, состоят в близком родстве (и в рядах этой тесной группы нет видов, которые бы не занимались земледелием), ученые давно пришли к выводу, что началось все с единственной изначальной линии муравьев, которые изобрели земледелие. После этого секрет передавался потомкам во рту каждой новой царицы. По мере появления новых видов муравьев их грибы тоже эволюционировали и образовывали новые виды. Ясно, что в таком случае эволюционное древо муравьиных грибов должно было точно отображать эволюционное древо самих муравьев.

Но оказалось, что на самом деле все было не так. Еще в начале 1990-х гг. Ульрих Мюллер из Техасского университета и Тед Шульц из Смитсоновского института начали объезжать джунгли по всему миру и собирать муравьев-листорезов и образцы их грибов. В лабораториях ученые и их коллеги упорядочили ДНК муравьев и грибов и восстановили по ним эволюционные связи. Получилось, что муравьи независимо одомашнивали разные грибы по крайней мере шесть раз. Далее эти шесть различных поколений одомашненных грибов эволюционировали



параллельно с муравьями и дробились на виды тогда же, когда это делали их хозяева-муравьи. Но во многих случаях колонии муравьев обменивались между собой видами грибов.

В настоящее время Мюллер выясняет, как могли проходить такие обмены. «Один из возможных сценариев, — говорит он, — состоит в том, что время от времени патогенные микроорганизмы губят целые плантации. Муравьям ничего не остается, кроме как пойти к соседнему гнезду и украсть кусочек грибницы на замену или временно объединиться с муравьями соседнего гнезда в единую общину. Но иногда мы видим, что муравьи вторгаются в соседнее гнездо силой, уничтожают его обитателей и захватывают их плантации».

Благодаря работам Мюллера муравьи теперь представляются более похожими на людей-земледельцев, чем когда-либо прежде. Наши предки в Китае, Африке, Мексике и на Ближнем Востоке одомашнили несколько растений и животных — крохотную долю всех живущих на Земле диких видов, точно так же, как муравьи одомашнили несколько из сотен тысяч видов грибов. Человеческие культуры контактировали между собой и обменивались одомашненными растениями, как муравьиные роды спорамии грибов. Единственная серьезная разница между человеком и муравьем состоит в том, что муравьи занялись сельским хозяйством на 50 млн лет раньше нас.

Муравьям-листорезам тоже приходится бороться с вредителями, как и земледельцам-людям. В случае муравьев это, к примеру, грибы-паразиты — определенные виды грибов, паразитирующие на садовых грибах муравьиных плантаций. Единственная спора гриба-паразита, попавшая на плантацию, может уничтожить ее за несколько дней.

Но Кэмерон Карри, коллега Мюллера по Техасскому университету, обнаружил, что муравьи охраняют свои плантации от грибов-паразитов и активно пользуются при этом фунгицидами. Тела муравьев покрыты тонким пылевидным слоем бактерий

*Streptomyces*. Эти бактерии производят химическое вещество, которое убивает грибы-паразиты и одновременно стимулирует рост садовых грибов. Каждый из 22 видов муравьев-листорезов, которые исследовал Карри, является носителем собственного штамма *Streptomyces*.

Судя по тому, что все виды муравьев-листорезов, изученные Карри, носят с собой *Streptomyces*, вполне возможно, что самые первые муравьи-земледельцы миллионы лет назад тоже пользовались этими бактериями. Тем не менее за все это время грибы-паразиты не выработали сколько-нибудь существенной сопротивляемости фунгициду. Как такое может быть? Ведь мы, люди, получили (сами того не желая) резистентные виды вредителей всего за несколько десятков лет. Карри с коллегами только начинают разбираться в этом вопросе, но у них уже есть рабочая гипотеза: когда мы пользуемся пестицидом, мы берем отдельную молекулу, изолируем ее, воспроизводим в громадных количествах и обрушиваем на насекомых. Но *Streptomyces* — живой организм, способный изобретать новые формы фунгицидов в ответ на любое приспособление, которое появляется у грибов-паразитов. Иными словами, муравьи используют законы эволюции в своих интересах, тогда как мы обращаем их против себя.

## ВДОВЫ ЭВОЛЮЦИИ

Коэволюция способна соединять виды неразрывными узами «брака», но в случае вымирания одного из видов второй может «овдоветь». Если один из видов-партнеров вымирает, остальным приходится бороться и выживать самостоятельно. Иногда такая борьба заканчивается поражением, и в конце концов овдовевшие виды тоже исчезают с лица земли.

Даниэль Янцен, эколог из Университета Пенсильвании, работающий в лесах Коста-Рики, утверждает, что многие деревья Нового Света овдовели таким образом в конце последнего лед-

никового периода. Многие виды растений распространяют свои семена при помощи животных. Деревья выращивают плоды, которые привлекают животных своей сладкой мякотью, а семена снабжают плотной оболочкой, позволяющей им перенести путешествие по пищеварительному тракту животного. Семена неповрежденными выходят с пометом животных и прорастают далеко от тех мест, где выросли.

Семена, унесенные далеко от дерева-родителя, имеют лучшие шансы на выживание. Те, что просто падают на землю под деревом, часто съедают местные жуки; но даже если семечку удастся прорасти, молодому деревцу трудно придется в родительской тени. Кроме того, распространение семян — хорошая страховка от вымирания: если, к примеру, ураган повалит целый лес, отпрыски деревьев, выросшие в нескольких километрах от этого места, могут и уцелеть.

Если садовые деревья приспособляются к определенному опылителю, то многие другие растения адаптируют свои плоды так, чтобы они привлекали определенных животных. Некоторые плоды привлекают птиц ярким цветом; плоды растений, которые ориентируются на летучих мышей и других ночных животных с плохим цветным зрением испускают вместо этого сильный аромат. Но, указывает Янцен, плоды некоторых растений настолько необычны, что живущим ныне животным очень трудно разносить их. В Коста-Рике, где он работает, распространением семян занимаются летучие мыши, белки, птицы и тапиры. Никто из них не в состоянии питаться плодами дерева *Cassia grandis*. Плоды кассии вырастают до полуметра длиной, ее семена размером с вишню заключены в волокнистой мякоти, окруженной деревянистой кожурой. Поскольку ни одно животное Коста-Рики не ест плоды кассии, они просто висят на ветках, пока жуки не просверлят твердую корку, не проберутся внутрь и не уничтожат большую часть семян.

Плоды кассии и многих других растений Нового Света слишком крупны, тверды и волокнисты для современных животных,

но надо признать, что для гигантских наземных ленивцев, верблюдов, лошадей и многих других млекопитающих, вымерших 12000 лет назад, они были бы идеальной пищей. У этих животных был достаточно большой рот, чтобы хватать подобные плоды, и достаточно сильные зубы, чтобы их раскусывать. Миллионы лет, утверждает Янцен, гигантские плоды эволюционировали совместно с гигантскими млекопитающими. Пока другие растения адаптировали свои плоды для птиц или летучих мышей, эти деревья ориентировались на мегафауну.

Крупные млекопитающие Старого Света до сих пор поддерживают тесные отношения с некоторыми растениями — к примеру, суматранский носорог с удовольствием поедает плоды манго и разносит их гигантские семена со своим пометом. Твердая корка и волокнистая мякоть коста-риканских фруктов может быть серьезным препятствием для мелких животных и птиц, но для наземного ленивца их поедание не составило бы проблемы. Ленивец, вероятно, пасся под деревьями, вынюхивая на земле упавшие спелые плоды. Обнаружив такой плод, он захватывал его целиком в свой огромный рот и раскалывал скорлупу массивными коренными зубами. Пока он неторопливо пережевывал волокнистую мякоть, крупные семена, обычно покрытые маслом, проскальзывали в его гигантский пищевод. Позже, когда животное успевало удалиться от дерева на несколько километров, семена выходили из его пищевода вместе с солидным количеством экскрементов и прорастали.

В плейстоценовую эпоху леса Коста-Рики были не уникальны. Вероятно, по всему Новому Свету плоды растений эволюционировали совместно с гигантскими млекопитающими. Янцен предположил, что в конце этой эпохи оwdовели и многие другие растения, такие как авокадо или папайя. С вымиранием гигантских млекопитающих все эти растения понесли очень серьезные потери. В некоторых случаях их семена теперь разносят другие, более мелкие животные, такие как тапиры или грызуны, но их рас-

пространение стало гораздо менее надежным, поскольку многие семена при этом съедаются мышами и насекомыми. Многие виды стали редкостью — ведь взрослые деревья умирают, не вырастив себе замены.

Появление испанцев с лошадьми и крупным рогатым скотом помогло плейстоценовой экосистеме Нового Света немного оправиться. Эти крупные млекопитающие обожают плоды овдовевших растений. К примеру, коста-риканский плод под названием *jicaro* имеет такую твердую скорлупу, что люди делают из нее ложки и черпаки; Янцен обнаружил, что лошадь — единственное на сегодняшний день животное в Коста-Рике, способное расколоть этот плод зубами. Собственно, она с удовольствием занимается этим, и семена этого растения вместе с мякотью попадают в пищеварительную систему, проходят по кишечнику и выходят с пометом. До появления в Новом Свете лошадей семена *jicaro* вообще не могли покинуть свою твердую тюрьму-скорлупу. Так что лошади и крупный рогатый скот не только наносят вред дикой природе Нового Света — вытаптывают тонкие почвы и губят травянистые равнины, — но и в какой-то степени помогают растениям вроде *jicaro* вернуть себе прежнюю мощь и славу.

Вымирание крупных млекопитающих Нового Света оставило в беде деревья, за миллионы лет привыкшие полагаться на этих животных в распространении семян. Янцен утверждает, что последние 12 000 лет ареал этих овдовевших растений постоянно уменьшается, и даже с учетом той слабой помощи, которую они теперь получают от завезенных на континент домашних животных, им по-прежнему грозит вымирание. Но сейчас, когда темпы вымирания видов растут, человек, возможно, создает новое поколение эволюционных вдов.

Не исключено, что среди овдовевших окажутся и некоторые культурные растения. Сельское хозяйство во многом зависит от насекомых-опылителей, но человек уже несколько столетий не дает опылителям спокойно жить. До появления европейцев

в Северной Америке обитали десятки тысяч опыляющих видов, включая пчел, ос и мух. Колонисты привезли с собой из Европы медоносную пчелу, которую держали в искусственных ульях. Медоносная пчела начала конкурировать с местными пчелами за ограниченные запасы нектара, и искусственные, данные человеком преимущества — готовое убежище и гарантированные запасы меда — позволили им выиграть схватку. Бернд Хайнрих из Вермонтского университета подсчитал, что одна-единственная колония медоносных пчел может погубить до ста колоний местных шмелей. Бесчисленное множество местных опылителей просто исчезло с лица земли, а многие из оставшихся находятся сегодня в опасности.

Медоносные пчелы тоже сейчас переживают не лучшие времена. Пестициды постоянно прореживают их ряды, а паразитические клещи, недавно завезенные в США, уничтожают целые колонии. В 1947 г. в стране было 5,9 млн домашних пчел, но к 1995 г. их число упало в два с лишним раза; осталось всего 2,6 млн. Дикие медоносные пчелы исчезли практически полностью. Надо иметь в виду, что, если медоносные пчелы исчезнут, фермеры смогут рассчитывать только на местные виды опылителей — но что если их тоже уже не будет?

Так легко делать вид, что человек — победитель эволюционной гонки, что благодаря каким-то неведомым, но бесспорным преимуществам он смог покорить Землю. Но на самом деле любой наш успех зависит от равновесия между человечеством и растениями, животными, грибами, простейшими и бактериями, одновременно и вместе с которыми мы эволюционируем. Если на то пошло, человек — чемпион коэволюции и больше, чем какой бы то ни было другой вид, зависит от всемирной паутины жизни.

## ДОКТОР ДАРВИН

*Болезнь в век эволюционной медицины*

**А**лександр Бивелич впервые попал в томскую тюрьму в Центральной Сибири в 1993 г. Он был осужден за воровство и приговорен к трем годам. Через два года заключения он начал кашлять и отхаркивать слизь, у него поднялась температура. Тюремные врачи обнаружили в его левом легком небольшой очаг инфекции и диагностировали туберкулез — болезнь, вызываемую бактерией *Mycobacterium tuberculosis*. Бивелич мог подхватить эту болезнь с капелькой мокроты от кашлявшего больного заключенного, и теперь бактерии угнездились в его собственных легких. «Никогда не думал, что могу заразиться, — говорит он. — Сначала я вообще не поверил врачам». Но болезнь все сильнее овладевала его телом, и поверить пришлось.

Туберкулез должен был хорошо поддаваться лечению. Почти 60 лет назад Селман Ваксман из Университета Ратжерса обнаружил, что некоторые бактерии вырабатывают белки, способные убивать *Mycobacterium*. Лекарство, открытое Ваксманом, пополнило активно растущую группу бактерицидных препаратов-антибиотиков. Все они были настолько смертельными для бактерий, что ученые-медики сделали однозначный вывод: за ближайшие несколько десятков лет инфекционные болезни, такие как туберкулез, будут уничтожены.

Но *Mycobacterium* не готов был сдаться так легко. Несколько месяцев тюремные врачи лечили Бивелича антибиотиками, и в 1996 г. пациент, отсидев срок, вышел из тюрьмы. В 1998 г., однако, он опять был арестован за кражу и вновь оказался в томской тюрьме. На воле он не получал никакого лечения, и когда тюремные врачи сделали рентген легких, то оказалось, что очаг инфекции за это время увеличился. Теперь поражено было не только правое, но и левое легкое. Пациент начал вновь получать антибиотики, но вскоре анализы показали, что лекарства не помогают остановить распространение инфекции. Лекарства, когда-то казавшиеся чуть ли не панацеей, Бивеличу не помогли.

Тюремные врачи решили перевести пациента на новый класс антибиотиков — мощные и дорогие лекарства, которые не так-то просто достать в России, — и на несколько месяцев его здоровье удалось стабилизировать. Но через некоторое время даже эти препараты перестали действовать. В июле 2000 г. врачи Бивелича рассматривали возможность хирургической операции и удаления пораженных частей легких. Если нож хирурга и антибиотики не остановят туберкулез в самое ближайшее время, он, вероятно, умрет.

Судьба Бивелича — не редкость в России. Там в переполненных тюрьмах возникли новые, устойчивые к антибиотикам штаммы туберкулеза, и теперь 100 000 заключенных являются носителями инфекции, устойчивой по крайней мере к одному из традиционных лекарств. Многие из этих людей, как Бивелич, являются мелкими преступниками и отбывают короткие сроки заключения. Но туберкулез способен превратить короткий срок в смертный приговор.

Бивелич — жертва темной стороны эволюции: той пугающей скорости, с которой паразиты адаптируются к своим хозяевам. Как орхидеи приспосабливаются к пчелам или фруктовые деревья — к животным, которые разносят их семена, патогены постоянно эволюционируют, образуют новые формы, ищут новые



способы преодолеть защитные системы хозяев. И точно так же, как многие пестициды потеряли свою силу и перестали убивать насекомых, лекарства тоже теряют силу перед лицом мутирующих паразитов. В настоящее время во всем мире появляются резистентные формы туберкулеза и других болезней, гибнут тысячи людей. В будущем их жертвами, возможно, станут миллионы.

Только понимание законов эволюции даст, возможно, ученым-медикам шанс найти новые способы борьбы с болезнями. В некоторых случаях для этого необходимо выяснить эволюционную историю болезни — как паразит впервые сделал человека своим хозяином и какие меры принимал в ответ человеческий организм; тогда им, может быть, удастся найти средство от болезни. Не исключено, что в каких-то случаях ученые даже смогут обуздать силу коэволюции и усмирить возбудителей болезни.

## ТРИУМФ ПАЗАЗИТОВ

Везде, где есть жизнь, есть и паразиты. В каждом литре морской воды присутствует порядка 10 млрд вирусов. Существуют паразитические плоские черви, способные жить в мочевом пузыре пустынной жабы, которая 11 месяцев в году проводит, закопавшись глубоко в землю; существуют паразитические ракообразные, способные жить только в глазу гренландской акулы, которая вечно плавает в ледяной тьме Северного Ледовитого океана.

Нам, конечно, очень хочется сделать вид, что никаких паразитов нет, но на самом деле они принадлежат к самым успешным в эволюционном отношении видам. Вероятно, они существуют в той или иной форме миллиарды лет. Биологи даже предполагают, что некоторые вирусы на основе РНК — это выжившие обитатели РНК-мира, которые некогда охотились на ДНК-организмы. Судя по обилию, паразиты уже давно и счастливо правят миром. Помимо вирусов, паразитический образ жизни

избрали многие семейства бактерий, простейших, грибов, водорослей, растений и животных. По некоторым оценкам, четыре пятых всех видов на Земле — паразиты.

Вообще, паразиты по отношению к хозяину в основе своей не слишком отличаются от жуков, которые пытаются пожрать листву дерева. Чтобы выжить, паразиты должны искать себе пропитание в хозяине; хозяин, само собой, пытается защититься. Такие двоякие требования порождают яростную коэволюционную борьбу. Любые адаптации, которые позволят хозяину остаться незараженным, будут непременно подхвачены естественным отбором. Гусеницы-листовертки, к примеру, выстреливают своим пометом из анальной пушки, чтобы не создавать на своем листе ароматной кучи навоза, которая могла бы привлечь ос-паразитов. Шимпанзе, обзаведясь глистами, разыскивают и поедают невкусные растения, убивающие паразитов. Некоторые хозяева, столкнувшись с непобедимым паразитом, пытаются выйти из ситуации с минимальными потерями. Так, когда самец плодовой мушки из пустыни Сонора становится жертвой кровососущих клещей, он начинает спариваться как сумасшедший, чтобы успеть перед гибелью передать потомству как можно больше своих генов.

Паразиты, в свою очередь, изобретают все новые способы обойти хозяйскую систему защиты. При попадании в организм хозяина паразит должен выдержать атаку иммунных клеток, которые опрыскивают его ядами, стремятся задушить, закупорив мембранные каналы, или просто заглатывают целиком. Чтобы выжить, чужаки-паразиты пользуются камуфляжем и всевозможными уловками. Они покрывают свое тело белками, которые в точности похожи на наши собственные белки. Некоторые из них при помощи мимикрии даже проникают в клетки через охраняемые проходы. Некоторые паразиты «знают», как можно заклинить систему связи, по которой иммунная система передает по всему телу новости об инфекции. Некоторые способны

посылать собственные сигналы с приказом, по которому иммунные клетки тела совершают самоубийство. Но, пока паразиты придумывают новые способы обхода иммунной системы, хозяева тоже не сидят сложа руки, а изобретают новые способы уничтожения паразитов. Гонка продолжается.

## КОНЕЦ ПАНАЦЕИ

Козволюция между паразитами и их хозяевами — отнюдь не дело далекого туманного прошлого. Она продолжается каждый день, и мы с вами — участники одного из новейших экспериментов в этой области. Мы пытаемся искусственно усилить свою защиту антибиотиками, и в настоящий момент становится совершенно ясно, что нам грозит серьезнейшая опасность проиграть эту гонку вооружений.

Когда Селман Ваксман и его коллеги впервые открыли антибиотики, многие решили, что война против инфекционных болезней практически выиграна. Но некоторые исследователи с самого начала предупреждали, что эволюция может оказаться сильнее подобных чудес. Одним из таких ученых был сэр Александр Флеминг, британский микробиолог, открывший в 1928 г. пенициллин. Он провел эксперимент, в котором подверг бактерии действию пенициллина в низкой концентрации, а затем начал постепенно концентрацию увеличивать. В каждом новом поколении все больше бактерий могли сопротивляться действию лекарства, и вскоре чашки Петри в его лаборатории просто кишели бактериями, которым не страшны были регулярные дозы пенициллина.

Во время Второй мировой войны американские врачи тщательно охраняли свои запасы пенициллина и лишь иногда выдавали понемножку гражданским докторам для лечения безнадежно больных пациентов. Однако после войны фармацевтические компании начали свободную продажу этого препарата и даже изобрели таблетку, которую можно было принимать вместо

инъекции. Флеминг опасался, что доктора будут прописывать чудо-лекарство всем без разбору и, что самое страшное, люди смогут сами покупать пенициллин и принимать его вообще без предписания врача.

«Величайшая опасность самолечения — использование слишком маленьких доз. Такое лечение, вместо того чтобы уничтожить инфекцию, учит микробов сопротивляться пенициллину; в результате развивается группа устойчивых к пенициллину организмов, которые могут передаваться другим людям, а от них, может быть, следующим, пока им не встретится человек, у которого разовьется сепсис или пневмония, с которыми пенициллин не сможет ничего сделать.

В этом случае глупец, игравший пенициллином, морально ответствен за смерть человека, который в конце концов пал жертвой заражения пенициллин-резистентными организмами. Надеюсь, что подобного развития событий можно избежать».

Бактерии, как позже выяснили микробиологи, владеют мастерством козволюции даже лучше, чем насекомые; они способны менять свою генетическую структуру с поразительной скоростью. Они делятся несколько раз в час, а потому способны мутировать очень быстро, пробуя невероятное количество вариантов; время от времени у них возникают новые свойства, помогающие сопротивляться антибиотикам. В результате мутаций могут появиться белки, способные разрушать лекарство; некоторые резистентные бактерии обзавелись «насосами», которые при обнаружении антибиотика тут же выдавливают из клетки его молекулы. В обычных условиях естественный отбор не поддерживает таких мутантов, но при столкновении с антибиотиками их отпрыски добиваются успеха.

В отличие от насекомых бактерии могут получать гены резистентности не только от родителей, но и от других бактерий.

Вышедшие так или иначе из клетки участки кольцевой ДНК вполне способны передаваться от одного микроба к другому. Бактерии засасывают гены погибших сородичей и вставляют некоторые из них в собственную молекулу ДНК. Так резистентные к антибиотикам бактерии могут передавать гены резистентности не только своим потомкам, но и бактериям других видов.

Российская тюрьма XXI в. — идеальная лаборатория микробной эволюции. Уровень преступности после распада Советского Союза резко подскочил, и суды посылают в тюрьмы все больше и больше людей. В настоящее время в стране миллион заключенных, но тюрьмы не в состоянии принять их всех. На питание выделяется по несколько центов в день, а недокормленные люди особенно восприимчивы к инфекции. Кроме того, в небольшие камеры приходится набивать по несколько десятков человек. Туберкулезные больные, кашляя, легко заражают своих сокамерников. Микробы быстро путешествуют от одного хозяина к другому, одновременно размножаясь и мутируя.

*Mycobacterium* — особенно прилипчивая зараза, которую можно уничтожить только длительным курсом лечения антибиотиками (как правило, это несколько месяцев). Если пациент не принимает все прописанные врачом лекарства, бактерии получают время на мутации; в результате успевают возникнуть и размножиться резистентные штаммы. В российских тюрьмах редко заботятся о том, чтобы пациент полностью завершил предписанный курс лечения. В истощенных недолеченных телах резистентные бактерии чувствуют себя вольготно.

Если человек заболевает резистентным туберкулезом, врачи вынуждены прибегать к более дорогим лекарствам, которые могут стоить тысячи долларов. Но денег на медицину выделяется мало, и новые формы болезни в российских тюрьмах продолжают распространяться. Врачи не питают иллюзий по этому поводу; они понимают, что большинство их пациентов выйдут на свободу носителями инфекции. Отсидевшие срок заклю-

ченные увозят резистентный туберкулез в родные города и заражают новых людей. Выпуская на свободу больных, правительство всего за шесть лет — с 1990 по 1996 г. — увеличило заболеваемость туберкулезом в России в пять раз. Эта болезнь стала одной из ведущих причин роста смертности среди молодых россиян.

«Все штаммы, возникающие в русских тюрьмах, со временем окажутся у нашего порога», — говорит Барри Крейсворт, эпидемиолог Исследовательского института здравоохранения в Нью-Йорке. Более того, Крейсворт уже обнаружил некоторые штаммы из томской тюрьмы у прибывающих в Нью-Йорк иммигрантов.

Исследовательский институт здравоохранения и другие организации пытаются остановить распространение резистентного туберкулеза в России и других местах при помощи агрессивного лечения сильнейшими доступными антибиотиками. Они надеются уничтожить резистентные штаммы и не дать им возможности эволюционировать в новые формы. Ставки в этой игре чрезвычайно высоки. Если эти бактерии продолжают развиваться, может возникнуть новая непобедимая форма туберкулеза, резистентная ко всем известным антибиотикам.

Кризис антибиотиков наблюдается, конечно, не только в России; аналогичные события происходят по всему миру. Появляются новые штаммы *E. coli*, *Streptococcus* и других бактерий, способные сопротивляться едва ли не всем антибиотикам. Гонорея, бывшая когда-то почти безобидной, хотя и неприятной, превратилась в смертельно опасную болезнь: в Юго-Восточной Азии 98% случаев гонореи в настоящее время резистентны к пенициллину. В Лондоне врачи выделили замечательный штамм бактерии *Enterococcus*, который эволюционировал таким образом, что теперь *жить не может* без антибиотика ванкомицина.

После 20 лет самоуспокоенности фармацевтические компании только сейчас начинают работу над новыми антибиотиками. На разработку нового поколения лекарств потребуется не один год; но стоит им появиться на рынке, и никто не знает, как дол-

го они сохраняют эффективность против бактерий. А пока мы все-речь рискуем увидеть, как медицина повернет вспять — ведь риск заражения непобедимыми супермикробами сделает хирургические операции не менее опасными, чем они были в середине XIX в.

Специалисты по резистентности к антибиотикам призывают к глобальным действиям. Если человечество хочет уменьшить угрозу со стороны резистентных бактерий, оно не должно больше подстегивать их эволюцию. Антибиотики были представлены миру как панацея в 1940-х гг., и мы до сих пор воображаем, что ими можно вылечить все что угодно. В результате их прописывают гораздо чаще, чем нужно. (К примеру, многие люди считают, что антибиотики помогают против вирусов, тогда как на самом деле они эффективны только против бактерий.) Только в США врачи ежегодно прописывают населению более 25 млн фунтов антибиотиков, из которых от трети до половины либо не нужны, либо неправильно выписаны.

Врачам следует быть внимательнее и не прописывать сильных лекарств без необходимости, но и пациенты должны принимать антибиотики полным курсом, чтобы бактерии, обсоновавшиеся в их телах, не получали возможности выработать способность к сопротивлению. Потребители не должны поддаваться рекламе: антибактериальные мыла и спреи только провоцируют эволюцию резистентных бактерий. Пока же необходимо остановить поток дешевых в производстве антибиотиков, которые в развивающихся странах продаются без рецепта.

Многих ученых тревожат и те 20 млн фунтов антибиотиков, которые американские фермеры скармливают скоту. Коровам, курам и другим животным дают антибиотики не для того, чтобы вылечить какую-то конкретную болезнь или пресечь вспышку болезни в данной местности, а просто затем, чтобы животные не заболели. Фермеры обнаружили также, что антибиотики — по неизвестным до сих пор причинам — способствуют более бы-

строму росту животных. Накачивая скот антибиотиками, фермеры практически выводят резистентные штаммы *Salmonella* и других бактерий, которые затем могут атаковать и людей. В 1994 г. Агентство по контролю над лекарствами и качеством пищи США одобрило применение антибиотиков класса хинолонов у кур для профилактики заражения кишечной бактерией *Campylobacter jejuni*. После этого частота встречаемости хинолон-резистентных *Campylobacter* у человека выросла с 1 до 17%.

Бактериям прекрасно живется в это странное новое время. Никогда прежде за всю их долгую историю против них не применяли таких комбинаций молекул, да еще в таких солидных количествах. Гены резистентности к антибиотикам, бывшие проблемой, стали теперь ключом к успеху. Если мы, люди, хотим выжить, мы должны положить конец этой эре.

## СПИД: ЭВОЛЮЦИЯ ДЕНЬ ЗА ДНЕМ

Бактерии — не единственные паразиты, которых эволюция превратила в глобальную угрозу. За последние несколько десятилетий вирус иммунодефицита человека — причина синдрома приобретенного иммунодефицита, или СПИДа, — появившись вроде бы ниоткуда, вызвал глобальную эпидемию.

Вирусы, подобные ВИЧ, принадлежат к самым необычным паразитам. Они не живые — по крайней мере в том смысле, в каком живут человек и бактерия. У них нет метаболизма, который позволял бы им получать энергию из пищи и выводить отходы. Это всего лишь небольшие наборы ДНК или РНК в плотной белковой оболочке. Когда они вторгаются в клетку, их генетический материал захватывает контроль над производящими белки «фабриками» хозяина. Клетки хозяина начинают выпускать новые копии вируса, которые через некоторое время вырываются из клетки и отправляются на поиски нового дома.



По-своему вирусы так же беспощадны в коэволюции с хозяином, как бактерии. У них нет клеточного механизма, позволяющего обмениваться генами, как у бактерий, но они вполне компенсируют этот недостаток скоростью мутаций. Геном ВИЧ состоит всего лишь из 9000 нуклеотидов (сравним с 3 млрд пар в составе человеческой ДНК). Но внедрившись в нового человека-хозяина и попав в лейкоцит, он начинает бешено делиться. Всего за сутки один-единственный вирус превращается в миллиардные орды.

Почти сразу после того, как вирус начинает размножаться, наша иммунная система начинает узнавать и уничтожать зараженные лейкоциты, уничтожая вместе с ними и вирусы. Но, хотя иммунная система человека способна ежедневно убивать вирусы ВИЧ миллиардами, ВИЧ умудряется многие годы жить в организме человека и выдерживать все атаки. Секрет такого долгожительства — способность к развитию. Ферменты, при помощи которых ВИЧ изготавливает новые копии своих генов, очень небрежны и при каждом копировании генома делают в среднем одну-две ошибки. Среди множества получившихся мутантов обязательно окажутся несколько вариантов, которые иммунной системе трудно будет распознать сразу. ВИЧ размножается стремительно, и резистентные варианты быстро становятся доминирующими в теле данного человека. Иммунной системе потребуется некоторое время, чтобы научиться их распознавать, а когда это произойдет, вирус вновь сменит форму и обличье.

Равновесие между вирусом и хозяином сохраняется годами, вирус все время колеблется на грани между взрывом численности или резким ее падением. Без специальных анализов зараженный человек никак не может узнать, что внутри у него разыгрывается яростная коэволюционная схватка. Присутствие вируса станет очевидным лишь тогда, когда он полностью подавит иммунную систему и откроет путь другим паразитам — т.е. когда начнется полномасштабный СПИД.

В настоящее время созданы лекарства, которые вмешиваются в работу репликационных ферментов ВИЧ и замедляют развитие СПИДа. Но, хотя такие препараты против ВИЧ появились всего несколько лет назад, ускоренная мутация вируса угрожает в самом скором времени сделать их бесполезными. Изменяясь, вирус не только уходит из-под удара новейших средств иммунной системы, но и спасается от действия лекарств. Для этого достаточно одной-двух мутаций. Всего за несколько недель количество вирусов в крови пациента может вновь подскочить до уровня, который наблюдался до начала лечения.

Можно, конечно, переключиться на другой препарат — и, если получится, уничтожить большую часть резистентных к первому лекарству вирусов, но среди уцелевших могут появиться новые мутанты, обладающие сопротивляемостью уже к новому препарату. Поэтому врачи предпочитают давать пациенту коктейль из нескольких препаратов одновременно. Сопротивляемость к одному лекарству вирус, возможно, получит после одной-двух мутаций, но вероятность того, что ему удастся одновременно уйти из-под удара нескольких препаратов, гораздо меньше. Тем не менее резистентные вирусы появляются даже при применении многокомпонентного лекарственного коктейля.

## В ПОИСКАХ ИСТОКОВ СПИДА

Никто сейчас не может сказать, станут ли когда-нибудь лекарственные смеси реальным средством лечения от СПИДа. В лучшем случае эти препараты лишь помогают сдерживать рост численности вирусов, да и стоит такой курс не один десяток тысяч долларов в год, что делает его недоступным для громадного большинства жертв СПИДа. Некоторые исследователи, пытаясь найти иные пути и методы лечения, изучают историю вируса. Возможно, в его прошлом кроются факты, которые помогут найти лечение.

Когда СПИД был впервые идентифицирован как отдельное заболевание, казалось, что он появился ниоткуда. В начале 1980-х гг. американские геи начали погибать от различных странных болезней, с которыми здоровая иммунная система должна была бы справиться без труда. Оказалось, что иммунная система этих людей разрушена. Исследователи во Франции и США довольно быстро выяснили, что причина кроется в ВИЧ — вирусе иммунодефицита человека. Они также выяснили, что это опасный, но нестойкий вирус. Если вирус гриппа или простуды может передаваться по воздуху, через прикосновение губ и пальцев, то ВИЧ для этого необходима помощь: он должен перебраться непосредственно из кровотока прежнего хозяина в кровоток нового. Это может произойти во время полового акта, при использовании одного и того же шприца без стерилизации или при переливании зараженной крови.

К концу 1980-х гг. стало ясно, что человечеству грозит глобальная эпидемия. Но СПИД не похож на другие инфекционные заболевания. Так, во время эпидемии в Европе XVII в. заболевший бубонной чумой человек умирал, как правило, через несколько дней; ВИЧ, бывает, живет в человеке 10–15 лет и лишь потом сводит его в могилу. Именно неторопливость и скрытность ВИЧ виной тому, что значительную часть десятилетия с 1980 по 1990 г. инфекция распространялась почти незаметно, потихоньку переползая от одной ничего не подозревающей жертвы к другой. К 2000 г. от СПИДа страдало 36 млн человек, а 21,8 млн уже умерли от этой болезни. Самый тяжелый удар пришелся на Африку южнее Сахары, где в настоящее время СПИДом заражены 25,3 млн человек.

Откуда же взялся ВИЧ? О жизни этого вируса до начала 1980-х гг., когда началась эпидемия, нет практически никаких данных. (Отметим, что первый известный образец вируса получен из крови пациента в Заире в 1959 г.) Но ученые могут вернуться назад во времени и выяснить историю ВИЧ по генети-

ческому коду современных вирусов — построить эволюционное древо ВИЧ.

Вирус иммунодефицита человека принадлежит к классу лентивирусов — вирусов с длительным инкубационным периодом (*lentos* на латыни значит «медленный»). У кошек, как диких, так и домашних, есть вирус иммунодефицита кошек; у коров — вирус иммунодефицита коров. И, что самое существенное, у приматов тоже есть соответствующий вирус — вирус иммунодефицита обезьян, очень напоминающий ВИЧ. Однако, в отличие от человека, большинство зараженных таким вирусом обезьян не заболевают. Возможно, когда-то этот вирус был для обезьян столь же смертельным, как ВИЧ в настоящее время для человека, но естественный отбор сохранил жизнь только резистентным обезьянам.

Ученые нашли доказательства того, что эпидемия ВИЧ — результат перехода обезьяньего вируса от приматов к человеку, причем происходил этот переход несколько раз. Существует множество штаммов ВИЧ, которые подразделяются на две основные группы: ВИЧ-1 — форма, распространенная в большинстве частей света, и ВИЧ-2 — форма, распространенная только в Западной Африке. В 1989 г. вирусолог Ванесса Хирш из Джорджтаунского университета и ее коллеги обнаружили, что ВИЧ-2 больше похож на вирус иммунодефицита обезьяны мангабея из Западной Африки, чем на ВИЧ-1. Точно так же вирус мангабея больше похож на ВИЧ-2, чем на вирусы иммунодефицита других обезьян. Мангабеев в Западной Африке не только держат дома как домашних любимцев — на них охотятся, их едят. Хирш предположила, что в случайные царапины, полученные на охоте, попала зараженная обезьянья кровь. Именно таким образом человек получил от обезьяны вирус иммунодефицита, который, мутировав, и превратился в ВИЧ-2.

ВИЧ-1 распространен гораздо шире, чем ВИЧ-2, но его история была четко восстановлена лишь в 1999 г. Беатрис Хан из Ала-

бамского университета в Бирмингеме с коллегами обнаружила, что ближайшим известным родственником ВИЧ-1 является вирус иммунодефицита обезьян в той форме, в какой он встречается у шимпанзе. И не просто у шимпанзе — все вирусы, максимально похожие на ВИЧ-1, обнаружены в образцах единственного подвида шимпанзе — *Pan troglodytes troglodytes*, живущих в Габоне, Камеруне и соседних с ними странах экваториальной части Западной Африки. Именно от этого подвида шимпанзе, сделала вывод Хан, человек и унаследовал вирус ВИЧ-1, причем это происходило в разное время по крайней мере трижды.

Хан и ее коллеги теперь пытаются восстановить общую картину возникновения ВИЧ. Конечно, это всего лишь гипотеза, но гипотеза, которая подтверждается по мере появления новых данных. Предки мангабеев и шимпанзе сотни тысяч лет были носителями вируса — предка ВИЧ. Иногда охотники, разделявая добычу, подхватывали эти вирусы (вместе с множеством других). Но у предка ВИЧ, плохо приспособленного к жизни в организме человека, было мало шансов выжить и утвердиться в новом хозяине. Даже уцелев в теле одного охотника, вирусы не могли сильно распространиться. Происходило такое очень редко, да и охотники жили обычно на отшибе и мало общались с внешним миром. Вирус, как правило, вымирал прежде, чем получал возможность переселиться в новых хозяев.

Все стало иначе после драматических перемен, которые пережила Западная Африка в XX в., — ВИЧ освоился в представителях нашего вида и пошел гулять по миру. В Африке выросли города; в глубину континента протянулись железные дороги; в леса пришли лесорубы с мощными машинами; люди вынужденно переселялись на плантации и в поселки в поисках работы. Вырос спрос на дичь, а вместе с ним и частота контакта охотников с кровью приматов. Люди начали быстро перемещаться по стране на автобусах и поездах, и теперь вирус мог легко перейти с первого своего человеческого контакта к новым хозяевам.

Разнообразие вирусов ВИЧ среди народов Экваториальной Африки огромно по сравнению с остальным миром, и это, по мнению Хан, говорит о том, что вирус обезьяньего иммунодефицита передавался здесь от обезьян человеку не один, а много раз. ВИЧ-2 перепрыгивал из мангабеев в людей не меньше шести раз, а ВИЧ-1 переключался с *Pan t. troglodytes* на человека по крайней мере трижды. Большинство таких прыжков заводили вирус в тупик. Из шести штаммов ВИЧ-2 лишь двум удалось как следует закрепиться в человеке, а глобальной эпидемией СПИДа мы обязаны в основном одному-единственному штамму ВИЧ-1. Стоило Западной Африке вступить в более тесный контакт с окружающим миром, и вирус вырвался на свободу — распространился в Европу, США и по всему миру.

Пока это лишь гипотеза, которая нуждается в дополнительной проверке. Эволюционное древо ВИЧ, нарисованное Хан, основано на исследовании вирусов всего из шести особей шимпанзе; возможно, с получением новых данных какие-то ветви дерева придется поменять местами. Но добыть образцы вирусов из крови диких шимпанзе очень непросто, и с каждым днем задача становится все труднее: из-за активной торговли мясом шимпанзе, ставшей, возможно, причиной глобальной эпидемии СПИДа, *Pan t. troglodytes* стремительно исчезает с лица земли.

Не исключено, что в этих шимпанзе заключена тайна первых глав биографии вируса ВИЧ. Они заражены ближайшим известным родственником ВИЧ-1, но их иммунная система с ним вполне справляется. Поскольку вирусы находятся в близком родстве, механизмы защиты от них, выработанные обезьянами, могут оказаться ключом к лекарству от СПИДа. Если эти обезьяны исчезнут, тайна, возможно, исчезнет вместе с ними.

«Наши больницы полны неизлечимыми больными с инфекционными болезнями вроде СПИДа. Эти же самые болезни встречаются и у животных, вот только животные не могут вызвать к себе скорую помощь», — говорит Стивен О'Брайен, вирусолог

из Национального института рака. — У них есть только естественный отбор. Если мы посмотрим на их геном и поймем, как они отражают атаки этих вирусов, мы сможем гораздо лучше разрабатывать методы лечения людей.

## СПАСЕННЫЕ ЧЕРНОЙ СМЕРТЬЮ?

О'Брайен изучает эволюцию в поисках новых, нестандартных способов борьбы с ВИЧ. Человек и прежде эволюционировал, защищаясь от паразитов, и вполне возможно, что некоторые из давних приспособительных механизмов и сегодня оберегают некоторых людей от ВИЧ.

Начиная с 1985 г. О'Брайен собирает образцы крови у людей, принадлежащих к различным группам риска по ВИЧ, — к примеру, у гомосексуалистов и наркоманов, постоянно делающих себе внутривенные инъекции. Он анализирует их ДНК — сравнивает гены тех, кто заразился ВИЧ, с генами тех, кто не заразился, — в надежде обнаружить мутации, которые, возможно, способны защитить человека от вторжения вируса.

К середине 1990-х, когда в коллекции собралось более 10 000 образцов, О'Брайен и его команда приуныли. «Мы начали терять энтузиазм. Мы проверили несколько сотен генов, один за другим, и на каждый из них получили один и тот же ответ — никакого эффекта». Но в 1996 г. положение наконец изменилось. Тогда несколько команд исследователей одновременно обнаружили, что ВИЧ, проникая в лейкоцит, каким-то образом взламывает рецептор на поверхности клетки, известный как CCR5. Команда О'Брайена вновь обратилась к своим образцам в поисках мутаций гена, ответственного за производство этого рецептора.

«Мы были поражены», — говорит О'Брайен. Такая мутация обнаружилась: у некоторых людей отсутствовала секция гена, включающая 32 основания. Ген с такой мутацией не мог произ-

водить нужный белок. В результате у людей, у которых обе копии соответствующего гена были мутантными, на поверхности лейкоцитов не было рецепторов CCR5 (а у тех, у кого мутантной была лишь одна копия гена, таких рецепторов было меньше обычного). Кроме того, О'Брайен обнаружил сильную корреляцию между наличием этой мутации в генах и ВИЧ-инфекцией: люди, у которых было две копии мутантного гена CCR5, не заражались почти никогда. «Это был первый серьезный генетический эффект, который нам удалось обнаружить, — говорит О'Брайен. — И какой эффект!»

Если у лейкоцита нет CCR5-рецепторов, дверь внутрь него для вируса закрыта — скорее даже заложена кирпичом. В результате те, кто имеет в своем генотипе две копии мутантного гена, могут раз за разом сталкиваться с ВИЧ и не заражаться при этом. Те, у кого мутантный ген только один, производят меньше рецепторов CCR5: они могут заразиться ВИЧ, но полномасштабный СПИД у них наступает позже на два-три года.

Команда О'Брайена выяснила, кто является носителем мутации CCR5, и результат удивил ученых. В Европе эта мутация встречается относительно часто; около 20% населения имеют в своем генотипе одну или две копии мутантного гена. Сильнее всего эта мутация распространена в Швеции, а чем дальше на юг, тем реже она встречается. Среди греков, к примеру, ее носителей очень мало; среди жителей Центральной Азии — еще меньше. В остальной части мира она вообще не встречается.

Единственной причиной, по которой мутация CCR5 могла достичь такой частоты, мог быть тот факт, что для предков жителей Северной Европы она обладала какой-то ценностью; естественный отбор должен был подхватить полезную мутацию и способствовать ее распространению. «Селективное давление, похоже, было чудовищным, — говорит О'Брайен, — и в эту категорию укладывается только эпидемия какой-нибудь инфекционной болезни, которая убила тысячи, если не миллионы, людей и обошла носителей этой мутации».



Согласно выводам О'Брайена, событие, способствовавшее распространению мутации среди европейцев, — каким бы оно ни было, — произошло 700 лет назад. Возраст удалось определить по участкам ДНК вокруг мутантного гена. Со временем в молекуле ДНК накапливаются изменения, и О'Брайен воспользовался тем, что частота возникновения вариаций остается примерно постоянной во времени. Интересно другое: 700 лет назад в Европе действительно произошло событие, при котором естественный отбор работал очень активно. Это — великая эпидемия чумы, или Черная Смерть.

Черная Смерть, выкосившая в период с 1347 по 1350 г. более четверти европейцев, была всего лишь самой мощной в длинной череде эпидемий бубонной чумы, столетиями бушевавшей на континенте. Чума действовала на людей, как пестицид на насекомых: любые мутации, которые могли помочь человеку выжить, в следующих поколениях встречались значительно чаще. О'Брайен подозревает, что CCR5 как раз и была одной из таких благоприятных мутаций, и с каждой вспышкой чумы ее частота заметно подсакивала.

Бубонную чуму вызывает *Yersinia pestis* — бактерия, которая может жить в крысах, а к человеку попадает через укус блохи. Как и ВИЧ, *Yersinia* связывается с лейкоцитами крови. Никто в точности не знает, как именно проходит этот процесс. В настоящее время О'Брайен и его сотрудники пытаются это выяснить. Если его гипотеза верна, *Yersinia* тоже использует для этого рецептор CCR5. Те европейцы, кому повезло родиться без CCR5, утверждает он, не заражались Черной Смертью; сегодня некоторые из их потомков защищены от ВИЧ.

Если мутация CCR5 действительно обеспечивает защиту от бубонной чумы, то мы наблюдаем здесь случай самой настоящей экзептации. Благодаря суровому естественному отбору во время Черной Смерти, некоторые европейцы сегодня, возможно, защищены от другого вируса, который использует

те же клеточные рецепторы. Может быть, то, что эпидемия СПИДа в Африке и Юго-Восточной Азии носит гораздо более серьезный характер, чем в Европе и США, объясняется различной эволюционной историей этих континентов. О'Брайен надеется, что, опираясь на полезные свойства мутации CCR5, со временем можно будет разработать лекарство от ВИЧ. Если ученые-медики смогут изобрести препарат, который блокировал бы нормальные рецепторы CCR5, можно будет без всяких побочных эффектов создавать у людей иммунитет к ВИЧ.

Даже если эволюционные исследования О'Брайена, Хана и других ученых позволят создать лекарство от ВИЧ, проблемы на этом не закончатся. В будущем нас, скорее всего, ждут новые болезни, и разбираться с каждой придется заново. Эпидемия СПИДа пришла к нам от приматов в виде девяти разных лентивирусов, которые сумели перебраться с обезьян на человека. У приматов есть еще 24 известных лентивируса (все они родственны ВИЧ), которые, возможно, еще ждут своего часа. Современный мир, в котором богатство и роскошь тесно уживаются с нищетой, а межконтинентальные перелеты — с использованными внутривенными иглами, готов их принять.

## **УКРОТИТЕЛИ ЧУМЫ**

Сегодня, когда человечеству приходится сталкиваться с таким множеством новых болезней, врачам, возможно, придется искать новые способы борьбы с паразитами. Одним из таких способов может стать их укрощение и даже приручение. Когда болезнетворный паразит попадает в тело хозяина, перед ним всегда стоит выбор. С одной стороны, он может сразу же приступить к бешеному размножению, питаться тканями хозяина и отравлять его отходами жизнедеятельности, пока тот не умрет. Несмотря на то, что при этом паразит успеет скопировать себя не один триллион раз, он рискует вымереть, если убьет хозяина

прежде, чем сможет заразить нового. С другой стороны, он может подойти к делу более осторожно, размножаясь так медленно, что хозяева даже не замечают, что больны. Не исключено, что у такого паразита гораздо больше шансов передаться через вилку или рукопожатие — ведь его хозяин остается в живых достаточно долго, чтобы дать ему такую возможность. Но если рядом у него найдется более агрессивный собрат, способный к тому же размножаться быстрее, то наш умеренный паразит может не выдержать конкуренции.

Пол Эвальд, биолог из Колледжа Амхерста, изучает, как разные паразиты совершают этот выбор. Как правило, выясняется, что если паразиту для передачи нужен мобильный хозяин, то паразит будет деликатен. Риновирусы, вызывающие простуду, передаются только через чихание или прикосновение, так что им необходим относительно здоровый хозяин, способный общаться с другими людьми. «Так что нет ничего удивительного в том, что риновирусы принадлежат к самым мягким из всех известных нам вирусов, — говорит Эвальд. — Более того, насколько мы можем судить, никто и никогда не умирал от риновируса, чего нельзя сказать о подавляющем большинстве прочих болезнетворных организмов».

С другой стороны, если паразиту для попадания в нового хозяина прежний не нужен, он может себе позволить более жесткую стратегию. Малярию, к примеру, переносят комары, и порождаемая ей жестокая лихорадка часто укладывает больного в постель.

Эвальд отмечает, что не каждый патоген следует этому правилу. Оспа, к примеру, не имеет посредников для переноски и должна самостоятельно искать себе нового хозяина. Тем не менее это одна из самых смертельных болезней, известных человеку. Она может позволить себе быть вирулентной, потому что, в отличие от вирусов простуды и других мягких болезней, может долгое время — десятилетиями — существовать вне хозяина,

дожидаясь, пока ее подхватит случайный человек. Попад в тело нового хозяина, она бешено размножается, пока не убьет его, а затем начинает ждать следующего шанса.

Все эти паразиты непрерывно эволюционируют в ответ на воздействие окружающей среды, и Эвальд предсказывает: если вдруг паразиту станет легче или тяжелее распространяться, он приспособится. Он даже проверил свои выводы на нескольких разных болезнях, в том числе холере. Холера выделяет в организм хозяина токсины, которые вызывают у того диарею и тем самым дают возможность паразиту покинуть тело. После этого другой человек может подхватить бактерию в туалете, и если он будет прикасаться к пище, то потом от этой пищи может заразиться еще кто-нибудь. С другой стороны, холера может распространиться, если канализационные стоки попадут в питьевую воду. Для первого пути распространения необходим относительно здоровый хозяин, который мог бы контактировать с другими людьми; для второго — лишь плохое водоснабжение. Согласно теории Эвальда, там, где заражение идет через питьевую воду, холера должна развиваться в направлении большей токсичности.

Свидетелем именно такого развития событий Эвальд стал в 1991 г. во время вспышки холеры в Южной Америке. «Холера пришла в Перу, а затем быстро, за пару лет, распространилась по всей Южной и Центральной Америке, — объясняет он. — Попадая в страны с хорошими источниками чистой воды, микроорганизмы становились более безвредными». Так, в Чили, где чистой воды достаточно, микроб эволюционировал в мягкую форму; в Эквадоре, где с водой значительно хуже, он стал более опасным.

Эвальд считает, что вместо того, чтобы пытаться уничтожить болезнь, мы могли бы попытаться в каком-то смысле приручить ее. Это не было бы первым случаем в истории, когда человек одомашнил своих естественных врагов. «Волки представляли опасность для человека на протяжении всей его эволюционной

истории, — говорит Эвальд, — но есть волки, которые давно живут вместе с нами и эволюционировали в собак. Вместо того чтобы конкурировать с нами, они теперь помогают нам. Я думаю, что мы могли бы проделать то же самое с болезнетворными микробами».

«Одомашнить» паразитов не так сложно, как кажется на первый взгляд. К примеру, чтобы приручить *Plasmodium*, паразита, который вызывает малярию, достаточно, может быть, всего лишь натянуть на окна противомоскитные сетки. Комары не смогут свободно залетать в окна и соответственно не смогут укусить за одну ночь много людей; скорость распространения инфекции уменьшится. Если какая-то разновидность плазмодий «привыкла» убивать хозяев быстро, сетки на окнах поставят ее в эволюционно невыгодное положение — ведь хозяева будут умирать раньше, чем плазмодиев сможет заразить еще кого-нибудь. В конкурентной борьбе победят более мягкие разновидности, и люди станут реже умирать от малярии.

Там, где речь идет о болезнях, эволюция работала против нас тысячи лет. И все это время мы обуздывали их.

## ЛОГИКА СТРАСТИ

*Эволюция пола*

**Ж**изнь — это танец партнеров — вирусов простуды и их сопливых хозяев, орхидей и насекомых-опылителей, подвязочных змей и ядовитых оregonских тритонов. Но ни один список партнеров по жизненному танцу не был бы полным без мужского и женского начал. Для громадного большинства видов животных танец полов — обязательная и принципиально важная часть существования.

Конечно, секс — необходимая часть жизни, но кроме того это таинственная и завораживающая загадка. Зачем павлины таскают за собой такие шикарные тяжелые хвосты — и почему вы не найдете ничего подобного у самок павлина? Почему во время спаривания австралийских красноспинных пауков самец бросается на ядовитые клыки самки, становясь в конце полового акта пищей для нее? Почему в гнездах муравьев тысячи стерильных самок — рабочих муравьев и все они служат единственной плодовой царице? Почему сперматозоиды у самцов всегда мелкие и подвижные, а яйцеклетки у самок гигантские и неподвижные? Почему вообще существуют самцы и самки?

Ответы на эти вопросы можно найти в эволюции. В настоящее время биологи полагают, что пол сам по себе является эво-

люционным приспособлением. Он дает двуполом организмам конкурентное преимущество перед теми, кто размножается без участия самцов и самок. Но двуполость, хотя и приносит пользу обоим полам, и самцам, и самкам, одновременно порождает между ними конфликт интересов. Наилучшая репродуктивная стратегия для самца совсем не такая, как для самки. На протяжении бесчисленных поколений этот конфликт постепенно формирует животных во всех отношениях — от анатомии до поведения. И он не заканчивается после спаривания. Борьба продолжается везде, где только можно — в матке и в семье, — и формирует все вплоть до формы животных сообществ.

Биологи-эволюционисты выяснили, что хвост павлина, стерильные муравьи и пауки-самоубийцы обретают очевидный смысл, стоит только распознать суть конфликта между полами. А понимание роли секса в формировании животных приводит нас, естественно, к довольно щекотливому вопросу: не являются ли некоторые аспекты человеческой психологии также результатом эволюционного давления секса?

## ЗАЧЕМ НУЖЕН ПОЛ?

Вопрос о том, почему мы занимаемся сексом, большинству людей даже не приходит в голову. Мы делаем это, потому что хотим детей, или потому что это приятно, или по обоим причинам. Но многие организмы вполне способны размножаться и без секса. Бактерии и многие простейшие умеют просто делиться надвое без участия какого бы то ни было партнера. Бесполовых животных немного, но они все же существуют. У некоторых видов хлыстохвостых ящериц на западе США, к примеру, нет самцов. Одна самка забирается на другую, кусает ее за шею, обвивается вокруг нее, как живой бублик, и всячески изображает те действия, какие обычно производит самец во время спаривания. Герпетологи считают, что вся эта пантомима нужна для того,

чтобы ящерица, играющая в ней роль самки, могла овулировать. Но сперма ей для оплодотворения яиц не требуется. Они просто начинают делиться и вырастают в эмбрион. Начинается развитие клона, а мать тем временем оказывает своей псевдопартнерше ответную услугу — играет роль самца. Рождаются у таких ящериц тоже только самки, и все они совершенно идентичны матерям.

Мало того, что в сексе нет жесткой необходимости; по идее, он должен прокладывать виду кратчайший путь к эволюционной катастрофе. Во-первых, как способ размножения он малоэффективен. В популяции бесполох хлыстохвостых ящериц каждая особь может производить на свет собственных детенышей; в двуполой популяции этим занимается лишь половина особей. Если бы бесполое особи и особи того же вида, имеющие пол, жили рядом, бесполое должны были бы смести двуполох благодаря хотя бы вдвое большей скорости размножения. Но секс несет с собой и другие издержки. Самцы, состязаясь за самок при помощи крепких рогов или сладкоголосого пения, тратят громадное количество энергии и иногда забываются настолько, что подпускают к себе хищника. «Половое размножение обходится слишком дорого, — говорит Роберт Вриенхок из Исследовательского института при Аквариуме бухты Монтерей.

Исходя из здравого смысла, любая группа животных, перешедшая на половое размножение, должна быстро проиграть в конкурентной борьбе другим, бесполом животным. И все же мы знаем, что секс правит миром. Павлины, судя по всему, не собираются эволюционировать в сторону избавления от тяжелых неудобных хвостов; самцы новых поколений красноспинных пауков, в точности как их отцы, бросаются в объятия смерти. А вот бесполом путем, подобно девственным хлыстохвостым ящерицам, способна размножаться лишь доля процента позвоночных.

Почему секс, несмотря на все недостатки, имеет такой успех? Недавно ученые получили данные в пользу необычной гипотезы: секс помогает сопротивляться паразитам. Вообще, паразиты со-



бирают со своих хозяев тяжкую дань, и любое приспособление, которое помогает от них избавиться, имеет шанс стать чрезвычайно успешным. В 1970-х гг. биологи начали строить простые математические модели коэволюции между паразитами и хозяевами; получалось, что процесс этот, подобно смертельной карусели, бесконечно движется по кругу.

Представьте себе озеро с рыбой, которая размножается клонированием. Каждая рыбка в озере — идентичная копия своей матери, но вообще-то рыбки не все одинаковые. Когда-то в одной из рыб могла возникнуть мутация, и новые признаки передались всем ее потомкам. Потомки эти образуют разновидность рыб, которую по уникальным мутациям можно отличить от прочих разновидностей.

А теперь предположим, что в озере появляется смертельный паразит. По мере распространения он мутирует, образуя собственные штаммы. При этом некоторые штаммы паразита несут в себе мутации, которые помогают им обустроиваться в определенных разновидностях рыб. У штамма, способного паразитировать на самой массовой разновидности рыб, будет больше потенциальных хозяев, и вскоре он тоже станет самым массовым из всех разновидностей паразита в озере. Другие штаммы паразита, ограниченные числом потенциальных хозяев, займут в местной иерархии более низкие уровни.

Но паразиты часто не могут воспользоваться достигнутым успехом. Они так активно размножаются в своих хозяевах (обозначим эту разновидность рыб буквой А), что убивают их раньше, чем те успевают произвести потомство. Численность популяции типа А резко падает, а их паразитам становится труднее отыскивать себе новых хозяев для заражения, и численность паразитов тоже падает.

Атака паразитов на рыб типа А дает более редким разновидностям рыб эволюционное преимущество. Они свободны от паразитов, и их численность быстро растет. Со временем са-

мой распространенной становится другая разновидность рыб (обозначим ее В). Успех делает ее благодатной почвой для тех редких паразитов, что лучше всего приспособлены именно к этой разновидности. Они начинают быстро размножаться, догоняя по численности хозяев. Наступает крах, численность рыб типа В резко падает, ее сменяют рыбы типа С — и все повторяется с начала.

Биологи называют такую модель эволюции гипотезой Черной Королевы — в честь героини кэрролловской «Алисы в Зазеркалье»; эта королева заставила Алису быстро бежать, в результате чего обе остались там же, где и были. «Ну, а здесь, знаешь ли, приходится бежать *со всех ног*, чтобы только остаться на том же месте!» — заявила Черная Королева. Паразиты и хозяева эволюционируют очень быстро, но этот процесс не приводит ни к каким долговременным изменениям ни в тех, ни в других и очень напоминает бег на месте.

Уильям Гамильтон, оксфордский биолог, выдвинул в начале 1980-х предположение о том, что половое размножение может давать животным, участвующим в гонке Черной Королевы, некоторое преимущество, поскольку паразитам труднее приспособиться к таким хозяевам. Такое животное — не клон своей матери. Оно несет в себе комбинацию генов отца и матери, причем сложную комбинацию, а не простую смесь родительских генов. Когда клетки делятся на яйцеклетки или сперматозоиды, хромосомы каждой пары сплетаются друг с другом и обмениваются генами. Благодаря этому сексуальному танцу гены самца и самки могут перемешаться и образовать одну из миллиардов возможных комбинаций — генотип детеныша.

Вследствие всего этого рыбы, которые размножаются половым путем, не образуют отдельных клонов; гены свободно гуляют по всей озерной популяции, смешиваясь с генами других особей. Гены, утратившие способность защитить своего носителя от паразита, сохраняются в ДНК тех особей, которые несут в себе

также и более эффективные гены. Не исключено, что позже эти «лишние» гены вновь проявятся и обеспечат носителю защиту от новых штаммов паразита — и тогда они вновь распространятся в озерных популяциях. Паразиты, конечно, не оставляют без внимания рыб, размножающихся половым путем, но все же не могут вызвать среди них такие резкие колебания численности и такую жесткую цикличность, как среди их собратьев-клонов.

Взлеты и падения численности бесполой рыбы, вызываемые паразитами, могут привести к разрушению генома. Каждый конкретный ген может присутствовать в популяции и в первоначальном, и в дефектном виде (у разных особей). Каждый раз, когда численность популяции резко падает, погибают и некоторые носители «правильного» гена. Существует вероятность, что после достаточного количества циклов в популяции вообще не останется неповрежденных генов.

Если «правильная» версия гена исчезнет из популяции рыб-клонов, она, скорее всего, уже никогда не появится вновь. Единственный способ, которым эволюция может исправить ошибку, — это новая мутация, которая исправит поврежденный участок последовательности. Но мутации случайны, поэтому, скорее всего, новая мутация не исправит вред, нанесенный предыдущей, а еще сильнее исказит последовательность. Понятно, что со временем повреждения в геноме бесполой рыбы будут накапливаться, Черная Королева об этом позаботится. А вот двуполое рыбное население в каждом поколении перемешивает гены, так что «исправные» копии их редко исчезают навсегда. В целом качество их ДНК не снижается со временем, да и сами они могут становиться более приспособленными, чем бесполое. «Хорошие» гены придают им выносливости или, к примеру, позволяют извлекать из съеденных насекомых больше энергии. Хотя размножаются они медленнее, сопротивляемость к паразитам может обеспечить им эволюционное преимущество перед бесполой популяцией.

По крайней мере такова была гипотеза. На теоретических моделях она выглядела очень перспективно, но ученым необходимо было проверить ее в реальном мире. В 1970-х гг. Роберт Вриенхок обнаружил, что природа уже поставила подобный эксперимент на рыбах-гамбузиях, обитающих в ручьях и озерах Мексики\*. Известно, что гамбузии иногда спариваются с особями близкородственного вида, порождая гибриды — рыб не с двумя, а с тремя копиями генов. Рождаются при этом только самки, которые затем размножаются клонированием, а не половым путем. Им, правда, тоже требуется сперма рыбы-самца — без нее их яйцеклетки не начинают расти, но сами яйцеклетки образуются без участия сперматозоидов и не включают в себя генов самца.

Вриенхок и его коллеги изучили гамбузий в нескольких озерах и ручьях, и каждая разновидность рыб дала свое подтверждение гипотезе Черной Королевы. Многие рыбки заражены глистами-трематодами, которые образуют в их тканях черные цисты. В одном озере Вриенхок обнаружил, что у гибридных клонов гораздо больше таких цист, чем у нормальных рыб. Иными словами, селиться в клонах паразитам проще, чем в нормальных рыбах, имеющих пол, потому что паразиты быстрее адаптируются к их иммунной системе. В другом озере, где жило две разновидности клонов, более распространенный тип был сильнее подвержен инфекции — в точности как предсказывает гипотеза Черной Королевы.

В третьем водоеме ситуация на первый взгляд противоречила гипотезе: сексуальные рыбки оказались более уязвимыми, чем клоны. Но после тщательного изучения экосистемы озера Вриенхок понял, что это еще более сильный аргумент в пользу гипотезы Черной Королевы. Несколько лет назад во время засухи озеро практически пересохло, и после возвращения воды его заново колонизировали несколько оставшихся в живых рыб.

---

\* Это и дальнейшие исследования по этой теме были сделаны вместе с Кертисом Лайвли (Curtis Lively), известным специалистом-биологом. — *Прим. науч. ред.*

В результате рыбы в озере, хотя и размножались половым путем, состояли между собой в близком родстве — а значит, были лишены генетического разнообразия, которое, собственно, и представляет собой преимущество полового размножения. Чтобы восстановить разнообразие ДНК, Вриенхок и его коллеги выпустили в озеро несколько гамбузий из других водоемов. Через два года сексуальные рыбки обрели устойчивость к паразитам, а те, соответственно, переключились на клонов.

## СПЕРМАТОЗОИД И ЯЙЦЕКЛЕТКА

Преимущества полового размножения настолько велики, что возникала эта система десятки раз, в самых разных семействах животных, растений, красных водорослей и других эукариот. Первые двуполые животные, вероятно, просто выпускали струйку своих половых клеток (называемых гаметами) в океан и оставляли их на волю течений, доверяя им самим позаботиться о встрече. Половое размножение, как мы уже сказали, развивалось независимо много раз; тем не менее большинство гамет выглядят примерно одинаково: яйцеклетка велика и неподвижна, сперматозоид — крохотный пловец. Когда сперматозоид сливается с яйцеклеткой, в нее попадает только содержимое его ядра; митохондриям и другим органеллам вход в яйцеклетку закрыт.

Такой порядок очень популярен в живом мире, потому что он прекрасно работает. Дэвид Дюзенбери, биолог из Технологического института Джорджии, выделил преимущества этого порядка при помощи математической модели гамет, стремящихся к встрече друг с другом. В его модели обе гаметы могут плавать или оставаться на месте; они могут быть одинаковы по размеру или различны. Выясняется, что гаметы в чем-то подобны двум людям, заблудившимся ночью в глухом лесу. Если оба начнут бродить по лесу, они вряд ли сумеют найти друг друга. Лучше всего, чтобы один из них оставался на месте и подавал сигналы второму.

В ситуации с людьми таким сигналом может быть, к примеру, крик; для гамет это особые химические соединения, известные как феромоны. Чем громче люди кричат, тем легче их услышать. Для гамет громкий крик означает выработку большего количества феромонов. Дюзенбери считает, что любое увеличение в размерах позволяет гамете выпускать гораздо больше феромонов, увеличивая дистанцию связи. В самом деле, именно яйцеклетка рассылает феромоны для привлечения сперматозоидов, а не наоборот.

Разумеется, поисковой партии, прочесывающей лес, легче будет найти заблудившегося человека, чем другому человеку, если он будет искать один. Точно так же самый простой способ увеличить вероятность встречи — использовать для поисков яйцеклетки не один сперматозоид, а множество. Согласно Дюзенбери, эволюция готова подхватить любую мутацию, которая сделала бы яйцеклетку вида крупнее или сперматозоиды многочисленнее. Тогда виду для успешного размножения требовалось бы меньше энергии, ведь его гаметы лучше и надежнее находили бы друг друга. Такой вид уцелел бы в местах, где менее эффективные формы просто не смогли бы размножаться.

Увеличившись в размерах, яйцеклетки смогли бы не только эффективнее распространять феромоны, но и запасти больше энергии впрок, на то время, когда после оплодотворения им придется делиться. Чем больше энергии сможет запасти яйцеклетка, тем меньше ее будет требоваться от сперматозоидов. Они смогут стать еще мельче и многочисленнее, увеличивая таким образом шансы самца на оплодотворение яйцеклетки и передачу своих генов потомству. Но все более мелкие сперматозоиды не в состоянии принести с собой много ресурсов, поэтому естественный отбор благоприятствует все более крупным яйцеклеткам, которые сами способны обеспечить процесс энергией. Со временем сперматозоиды превратились практически в подвижные мешочки с генами, зато яйцеклетки стали гигантскими клетками с богатым запасом питательных веществ.

Результатом установившегося порядка — большая яйцеклетка и много маленьких сперматозоидов — стал огромный дисбаланс между полами. Один-единственный мужчина может за свою жизнь произвести достаточно спермы, чтобы сделать беременными всех без исключения женщин на планете, и не по одному разу. Но женщина овулирует лишь раз в месяц; мало того, подобно остальным млекопитающим она несколько месяцев должна вынашивать дитя, а после рождения выкармливать грудным молоком. Каждые роды она рискует умереть от осложнений, а выкармливание младенца заставляет ее сжигать десятки тысяч дополнительных калорий. Репродуктивные возможности женской половины человечества представляют собой как бы узкое бутылочное горлышко, ограничивающее репродуктивный потенциал мужчин.

Итак, единственный самец вида способен оплодотворить всех без исключения самок — но есть ведь и другие самцы, которые не прочь были бы сделать то же самое. У многих видов этот конфликт ведет к битвам между самцами. Как именно выглядит эта битва, зависит от характеристик вида и экосистемы, в которой он обитает. Морские слоны на севере сталкиваются своими тысячекилограммовыми телами, разбрызгивая кровь и пену, чтобы стать единственным властелином и сексуальным партнером целого гарема из десятков самок. Овцебыки на просторах арктической тундры пытаются вогнать друг в друга свои толстые рога, и каждый десятый погибает от травмы черепа. Даже самцы жуков и мух отрастили у себя «рога» для сражений за право продолжить род.

## САМКА ВЫБИРАЕТ

Состязания между самцами были хорошо известны натуралистам уже в XIX в. Знал о них, разумеется, и Дарвин. Эти состязания без проблем укладывались в его теорию эволюции: если

самцы сражаются из-за самок, то победители, естественно, спариваются чаще других. Если чуть более толстый череп дает самцу преимущество, то в следующем поколении у многих самцов будут толстые черепа. Пара твердых шишек может сделать череп еще более эффективным оружием в сражении за самку — а со временем они могут эволюционировать в ветвистые рога.

Но Дарвина интересовало и другое: чем заняты самки во время этих сражений? Пассивно ждут, чтобы ими овладел победитель схватки? Может быть, некоторым викторианским джентльменам мысль о женской пассивности и грела душу, но Дарвин понимал, что здесь тоже есть проблема: такая схема ничего не говорит о видах, где самцы не устраивают очных поединков.

Представьте себе павлина с его великолепным хвостом. «Вид павлиньего пера, где бы я его ни увидел, вызывает у меня тошноту!» — сказал как-то Дарвин. В громадном веере с радужными «глазами» нет никакой жизненной необходимости — самки *Pavo cristatus* без него прекрасно обходятся. Это не оружие — самец не может поколотить соперника хвостом и тем самым заставить того подчиниться. Более того, это лишний груз, который может помешать самцу и сделать его легкой добычей хищника. Но несмотря на все недостатки, павлины-самцы каждую весну отрачивают себе новый комплект сверкающих перьев взамен тех, что они сбросили в конце предыдущего года.

«У Дарвина были крупные проблемы с павлинами, ведь на первый взгляд павлиний хвост идет вразрез с теорией эволюции и естественного отбора, — говорит Марион Петри, биолог из Университета Ньюкасла. — Он много думал об этих птицах, но прошло несколько лет, прежде чем он предложил свое объяснение их происхождения. Особую форму отбора, вызвавшую, возможно, появление павлиньего хвоста, он назвал половым отбором».

Во время брачного сезона павлины собираются группами, получившими название леков, и привлекают самок громкими криками. Как только в поле зрения появляется самка, самец



раскрывает хвост и заставляет его вибрировать. Дарвин предположил, что самки павлина оценивают самцов по хвосту. Некоторые хвосты кажутся им особенно привлекательными, и самки стремятся спариться с их владельцами. Он не мог сказать, определяется ли выбор самок эстетическими соображениями или наличием у особенно хвостатых самцов каких-то особо желательных качеств. Во всяком случае, выбирая одного из самцов, самки поступают точно так же, как голубеводы, которые отбирают голубей по качествам, которые естественный отбор в природе не стал бы поддерживать. Трубастый голубь услаждает взор селекционера; великолепный павлин — самки этого вида. В каждом поколении выбор самок приносит репродуктивный успех самцам, обладающим приятными для самок чертами. Со временем, утверждал Дарвин, предпочтения самок способны сформировать даже такое экстравагантное украшение, как павлиний хвост.

Половой отбор, как назвал Дарвин новую движущую силу эволюции, произвел на читателей не слишком сильное впечатление. Альфред Уоллес считал, что старого доброго естественного отбора вполне достаточно. Самки птиц выглядят невзрачно, заявил он, потому что проводят много времени в гнездах и потому для них особенно важна маскировка. Может быть, яркая расцветка — это нормальное состояние перьев, и птицы-самцы, которым не обязательно так тщательно прятаться, просто не подверглись естественному отбору.

Десятки лет среди биологов преобладали сомнения в том, что самки действительно имеют право голоса в вопросах секса. Только в последние примерно 20 лет исследователи сумели экспериментально показать, что у самок имеются явные предпочтения. Оказалось, что предпочтения эти настолько сильны, что могут без труда вызвать и направить эволюцию павлиньего хвоста.

Марион Петри, к примеру, продемонстрировала, что павлиньи курочки имеют весьма определенные вкусы во всем, что ка-

сается самцов-павлинов. «Многие самки, если дать им свободный выбор из нескольких петухов, выберут одного и того же, и именно он в природе получит значительную долю самок в своей популяции», — говорит Петри. А самки, как показала Петри, выбирают самцов-счастливчиков по хвосту. Сложные хвосты с большим количеством «глазков» для курочек привлекательнее скромных, менее изукрашенных хвостов. В среднем на хвосте у павлина присутствует 150 глазков. Петри выяснила, что достаточно удалить всего несколько глазков, чтобы существенно снизить шансы петуха быть выбранным. У петуха с хвостом, на котором насчитывается меньше 130 глазков, почти нет шансов спариться.

Другие биологи показали, что представительницы многих других видов также имеют четкие предпочтения в выборе пары. Курам нравятся петухи с большими яркими гребнями; самочки рыб-мечехвостов предпочитают самцов с длинными хвостами; самки сверчков выбирают самцов с самой сложной и изысканной песней. Поскольку все эти признаки передаются по наследству, половой отбор действительно может быть направляющей силой эволюции. А поскольку длинный хвост, яркая расцветка и громкая песня предъявляют к самцам суровые требования, их экстравагантности должен существовать какой-то предел. Если брачные украшения поднимут цену выживания для самцов слишком высоко, естественный отбор положит предел их эволюции в этом направлении.

Дарвин всегда старался обойти один фундаментальный вопрос полового отбора: почему самки предпочитают хвост или гребень вполне определенного вида? Он просто говорил, что она находит его привлекательным. В 1930 г. британский генетик Рональд Фишер перефразировал эту мысль более формально: если самки птиц находят длинные хвосты привлекательными, то короткохвостым самцам трудно будет найти себе пару. У самки, выбравшей длиннохвостого самца, скорее всего родятся длиннохвостые сыновья, и у ее отпрысков-самцов будут хорошие

шансы найти себе пару. Иными словами, матери просто хотят, чтобы их сыновья выглядели сексуально.

Однако в настоящее время все большее число ученых считает, что самки выбирают себе пару далеко не случайным образом. На самом деле их привлекают внешние признаки, которые, возможно, свидетельствуют о генетическом потенциале своего носителя.

Как правило, у самок меньше возможностей передать свои гены следующему поколению, чем у самцов, поэтому эволюция часто делает их очень осторожными в выборе партнера. Одна из серьезнейших угроз для потомства любой самки — это паразиты. Даже если у нее хорошие гены и ей самой не угрожают болезни, спаривание с партнером — носителем более слабого генотипа может ослабить и ее генотип при передаче потомству.

Самка животного не может отправить гены партнера в лабораторию для анализа, но может судить о степени его приспособленности по тому, как он выглядит или ведет себя. Чтобы громко петь или отращивать длинные яркие перья, самец должен быть силен; если он ослаблен схваткой с паразитами, у него просто ничего не получится. Какой именно брачный наряд или ритуал выработают самцы вида, чтобы произвести впечатление на своих дам, зависит от особенностей вида. Приматы — единственные млекопитающие с хорошим цветовым зрением; возможно, именно поэтому у некоторых видов приматов — единственных среди млекопитающих — в брачном наряде присутствуют яркие красные и синие оттенки. Но какую бы форму ни принимал брачный ритуал, он непременно символизирует серьезную жертву. Если самку можно обмануть пустым, ничего не стоящим представлением, ее дети не смогут унаследовать от отца сильные гены — и привлекательность фальшивого представления быстро канет в Лету вместе с потомством неудачливой самки.

Гребень не доставляет петуху физических неудобств, но и это серьезная жертва со стороны самца. Гребню, как и многим дру-

гим деталям брачного наряда самцов, для роста необходим тестостерон, а тестостерон снижает активность иммунной системы особи. Чтобы вырастить гребень, петух подвергает себя серьезному риску заболеть. Только по-настоящему сильные петухи способны так нагружать свою иммунную систему.

Еще один способ судить о здоровье по внешности кроется в симметрии. Еще в процессе внутриутробного развития эмбрион подвергается воздействию разного рода стрессов. У его матери, к примеру, в этот период может быть недостаточно пищи, и тогда у зародыша не хватит энергии на нормальный рост. Некоторые особи генетически приспособлены сопротивляться подобному давлению и вырастают здоровыми. Но у других животных стресс нарушает хореографию эмбрионального развития, в результате чего они вырастают бесплодными или излишне восприимчивыми к болезням. Самке в поисках партнера лучше избегать подобных самцов.

Отклонения в развитии оставляют свой след и во внешнем виде особи, в первую очередь в видимой асимметрии его тела. По большей части тело животного симметрично. Сложнейший набор генов, который формирует его левую половину, должен проделать в точности ту же работу и справа. Если развитие животного в чем-то идет с отклонениями, точная симметрия его тела тоже может нарушиться. У антилопы могут вырасти рога разной длины; у павлина на разных половинках хвоста может оказаться разное число глазков. Вообще, симметрию можно считать показателем нормы.

В настоящий момент ученые пытаются разобраться, действительно ли самки по внешнему виду самцов оценивают их гены, и многие результаты подтверждают эту идею. Самки сверчков предпочитают тех самцов, в песне которых есть лишние коленца, — а продолжительность песни сверчка надежно показывает степень его сопротивляемости паразитам. Самки деревенских ласточек предпочитают самцов с длинными и симметричными

хвостовыми перьями, а длина и симметрия этих перьев — верный признак здоровья. Марион Петри показала, что у павлинов с большими хвостами шансы на выживание лучше, чем у прочих павлинов, и что эта живучесть передается потомству.

Один из лучших способов проверки эволюционной гипотезы состоит в том, чтобы отыскать исключение, которое только подтверждает правило. Далеко не у каждого вида животных самцы устраивают очное состязание перед строгими судьями — самками. У некоторых видов два пола отчасти поменялись ролями. Так, самка морской иглы (*Syngnathus typhle*) откладывает яйца в особую сумку в теле самца — и по существу самец становится беременным. Он несколько недель вынашивает яйца, снабжая их питательными веществами и кислородом из собственной крови. За один сезон размножения каждая самка может отложить яиц столько, что вынашивать их должны два самца. Это вызывает яростную конкуренцию между самками за самцов, число которых ограничено. В результате партнер выбирает не самка морской иглы, а самец; как правило, самцы предпочитают крупных, ярко окрашенных самок небольшим и невзрачным.

Выбирая партнера, животные не принимают осознанных решений. Павы не считают глазки на хвостах претендентов и не думают: «Всего 130 глазков? Слишком мало для меня! Следующий!» Вероятно, в мозгу самки при виде образцового павлиньего хвоста возникает сложная цепь биохимических реакций, вызывающая желание спариться с обладателем хвоста. Так происходит практически при любых формах адаптивного поведения: на базе инстинкта могут быть реализованы сложные поведенческие схемы и стратегии выживания.

## БИТВА СПЕРМАТОЗОИДОВ

Если самец сумел завоевать внимание самки и успешно спарился с ней, это не означает автоматически, что он становится

отцом. Его сперматозоиды должны еще пройти через репродуктивную систему самки и отыскать готовую к оплодотворению яйцеклетку. При этом зачастую они путешествуют не одни: им приходится состязаться со спермой других самцов, с которыми также спарилась эта самка.

Может показаться странным, что самка, так тщательно выбирающая партнера, не ограничивается им одним, а спаривается еще с кем-то. Но там, где речь заходит о сексе, простых решений быть не может. Иногда крупные самцы спариваются с самками силой, не обращая внимания на их согласие или выбор. В других случаях самка, уже выбрав какого-то самца и спарившись с ним, вдруг встречает еще лучший образец мужской привлекательности и спаривается и с ним тоже. Куры, к примеру, предпочитают спариваться с доминантными петухами, но субдоминантным самцам иногда удается потоптаться на курице прежде, чем доминантный самец успеет его отогнать. Куры не дорожат подобными назойливыми поклонниками. Если субдоминантный самец спарится с курицей, она, скорее всего, просто выдавит из себя его семя. Это увеличит шансы на то, что сперма доминантного петуха, с которым она спарится позже, оплодотворит ее яйца, и цыплята вырастут более крепкими и здоровыми.

Сексуальная распушенность широко распространена в животном мире, даже у тех видов, которые многие поколения ученых считали абсолютно верными. Около 90% всех видов птиц живут моногамно — самец и самка соединяются на сезон или даже на всю жизнь, вместе строят гнездо и вместе воспитывают птенцов. Моногамия здесь — вопрос выживания: без помощи обоих родителей беспомощные птенцы могут просто не дожить до взрослого состояния. Но когда орнитологи в 1980-е гг. начали брать у птенцов образцы ДНК, выяснилось, что у многих видов птенцы несут в себе отнюдь не гены отца. У большинства видов несколько процентов всех птенцов «незаконнорожденные»; у некоторых этот показатель доходит до 55%.

Моногамная птица-самка не станет изменять своему партнеру просто так. Самки деревенских ласточек, к примеру, оценивают самцов, в частности, по длине хвостовых перьев. Самки, сошедшиеся на сезон с короткохвостыми самцами, с гораздо большей вероятностью станут изменять своим партнерам, чем те самки, которым достались длиннохвостые партнеры. Время на выбор пары на сезон у каждой самки ограничено, поэтому она не может до бесконечности ждать идеального партнера. Однако она может в какой-то степени скомпенсировать недостатки партнера, спарившись с более желанным залетным самцом. А партнер поможет ей выкормить птенцов, даже не будучи их отцом.

Самец, таким образом, оказывается в затруднительном положении. Несмотря на все усилия, на все ухаживания, он никак не может быть уверен, что именно его сперма оплодотворит ее яйца. Может быть, она уже носит в себе сперму другого самца, а может быть, спарится с другим самцом позже. В результате самцы многих видов изобрели способы состязаться между собой даже в матке.

Один из способов обойти других самцов в этом странном состязании — производить много спермы. Ведь схватка сперматозоидов внутри самки похожа на лотерею: чем больше у самца билетиков, тем больше шансы на выигрыш. Среди приматов, к примеру, средний размер яичек прямо пропорционален числу самцов, с которыми в среднем спаривается каждая самка. Чем интенсивнее конкуренция, тем больше спермы производит обезьяний самец.

Более хитрый способ выиграть в лотерею оплодотворения состоит в том, чтобы уничтожить билетики других игроков. У самцов плодовой мушки, к примеру, сперма ядовита; она обездвигивает сперматозоиды предыдущих ухажеров внутри самки. У самца чернокрылой стрекозы-красотки орган, подобный пенису, укрыт в особой трубочке, и прежде чем ввести самке собственную сперму, они этой трубочкой, как жесткой щеткой,

вычищают из нее сперму других самцов. Таким образом они способны удалить от 90 до 100% чужой спермы и соответственно серьезно улучшить шансы на успех для собственных сперматозоидов. Самец стрекозы *Hadrothemis defecta* при помощи особых надувных рожек на вышеупомянутом органе пропихивает сперму других самцов глубоко внутрь тела самки, в самые дальние его уголки, — и только после этого вводит собственную сперму и размещает ее поближе к яйцеклеткам.

Еще один способ выиграть — вообще не позволить другим самцам участвовать в лотерее. В сперме плодовых мушек, помимо яда, содержатся химические вещества, которые эффективно снижают либидо самки. Потеряв интерес к спариванию, она вряд ли получит сперму других самцов. У пауков *Nerienne litigiosa* самка, чтобы привлечь потенциальных партнеров, опрыскивает свою паутину феромоном. Самец, обнаружив самку по запаху, спешит разрушить ее паутину, чтобы другим самцам труднее было отыскать ее.

У некоторых видов самцу, который стремится обеспечить своей сперме безусловное преимущество в оплодотворении яиц, лучше всего совершить самоубийство. Так, самец австралийского краснопинного паука, как правило, жертвует собой ради секса. Он начинает ухаживание за самкой с подергивания нитей ее ловчей паутины; такая своеобразная серенада может длиться часами. Затем, если самка — или другой самец, который уже занял место возле нее, — его не прогонит, самец осмеливается приблизиться. Она нависает над ним горой, ведь ее тело весит в 100 раз больше, чем его собственное. Любому животному в его положении гибель грозит ежесекундно: укус самки этого паука столь же смертелен, как укус ее родственницы, черной вдовы.

Краснопинный самец осторожно забирается самке на брюшко. Он вытягивает педипальпу, отросток головы, напоминающий у этого паука боксерскую перчатку, на кончике которой находится длинная свернутая трубочка; ее-то паук



и вставляет в тело самки, после чего начинает закачивать в нее свою сперму. Нождаанно он, опираясь на педипальпу, бросает свое тело вверх от брюшка самки и падает спиной прямо на ее «клыки» — жвалы. Она прокусывает ему брюшко и впрыскивает в тело самца яд, который начинает потихоньку переваривать его внутренности в питательную массу. Пока самка не спеша обедает, самец продолжает оплодотворять ее, а через несколько минут отползает в сторону. Он отступает на несколько сантиметров и в течение примерно десяти минут пытается привести себя в порядок. Несмотря на то, что его тело растворяется изнутри, самец возвращается к самке, вставляет в нее вторую педипальпу и через некоторое время повторяет свой акробатический бросок. Самка вновь приступает к обеду, вгрызаясь в тело самца глубже и глубже. Спаривание может продолжаться до получаса, и к концу этого времени самец едва жив; когда он вынимает из тела самки вторую педипальпу, она оплетает его шелковым саваном. На этот раз спасения нет. Самка продолжает кормиться, и через несколько минут от самца остается лишь мумифицированная оболочка.

Мейдианн Андраде, биолог из Университета Торонто, тщательна изучила самоубийственный ритуал спаривания красносспинных пауков, чтобы определить, не кроется ли здесь эволюционное достижение. Выяснилось, что не все самцы красносспинного паука становятся обедом для самки. Съедают партнера только голодные самки, в результате чего примерно треть самцов после своего отчаянного прыжка остается в живых. Эта особенность позволила Андраде измерить репродуктивные преимущества каннибализма.

Похоже, что продолжительность акта оплодотворения у пауков контролирует самка. Андраде обнаружила, что в случаях, когда самка не поедает самца, секс продолжается в среднем 11 минут. Но если самка решает съесть самца, их совокупление может продолжаться и 25 минут. Пока она насыщается, он про-

должает закачивать сперму в ее тело. Предложив себя на обед, самец растягивает акт совокупления — и в результате успевает доставить на место больше спермы и оплодотворить вдвое больше яиц, чем если бы он уцелел. Кроме того, после гибели партнера самка обычно с презрением отвергает других ухажеров — то ли потому, что сыта, то ли потому, что получила достаточно спермы. Во всяком случае шансы других самцов на спаривание с ней резко падают, давая погибшему самцу преимущественное право на оплодотворение яиц самки.

Судя по всему, подобного рода преимущество для красноспинного самца ценнее собственной жизни. Вообще, у самца мало шансов спариться по многим причинам — у них короткая жизнь, да и педипальпы, по которым идет сперма, во время секса обламываются, оставляя пауков стерильными. Так что свой единственный шанс самец старается использовать с максимальной эффективностью.

## ХИМИЧЕСКАЯ ВОЙНА МЕЖДУ ПОЛАМИ

Борьба за сексуальную победу идет с переменным успехом и продолжается в каждом поколении. Эту борьбу трудно увидеть в действии, но ученым все же удалось при помощи блестящих экспериментов кое-что подсмотреть. К примеру, Уильям Райс, биолог из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, исследовал химическое оружие, при помощи которого самцы фруктовой мушки обеспечивают своим сперматозоидам конкурентное преимущество в состязании с прочими.

Семенная жидкость самца плодовой мушки не только обездвиживает сперматозоиды остальных самцов и ослабляет либидо самки, она еще и ускоряет график откладывания самкой яиц. Заставляя самку откладывать яйца как можно быстрее после спаривания, самец уменьшает промежуток времени, когда она могла бы спариться с другими самцами. Химические

вещества, которые использует самец плодовой мухи для влияния на партнершу, ядовиты для самки. Этот яд не убивает ее сразу, но чем чаще она спаривается, тем сильнее укорачивает себе жизнь. Самцу нет дела до того, что его партнерша умрет молодой. Поскольку самцы плодовых мушек не заботятся о потомстве, их единственный эволюционный интерес — произвести как можно больше оплодотворенных яиц.

Арсенал, который используют самцы плодовых мух, производит на самок то же действие, что и пестициды, которыми фермеры пытаются их уничтожить. То и другое заставляет их эволюционировать. Если пестициды заставляют насекомых развивать в себе сопротивляемость, то самки плодовых мушек развивают способность нейтрализовать яд, получаемый вместе со спермой самца. А эволюция защитных приспособлений у самок способствует тому, что сперма самцов становится еще более токсичной.

В 1996 г. Райс сумел задокументировать этот смертельный балет. Он поддерживал у себя в лаборатории большую размножающуюся популяцию плодовых мушек и благодаря некоторым особенностям генетики дрозофил мог манипулировать ими. Он делал, к примеру, так, чтобы в определенном поколении рождались только самцы, причем все они наследовали исключительно отцовские гены. Затем эти самцы-клоны спаривались со свежими самками, которых Райс подсаживал из внешней популяции, и производили на свет новое поколение самцов.

Самки всегда приходили извне и, естественно, не были знакомы с химическим оружием самцов Райса — а соответственно, не могли и развивать защитный аппарат. Тем временем самцы, производившие более токсичную сперму, могли более эффективно манипулировать самками и давать более многочисленное потомство. Сорок одно поколение спустя у Райса появилась раса суперсамцов, которые могли спариваться с самками чаще и успешнее, чем их предки. Их успех дорого обходился самкам:

поскольку семенная жидкость самцов стала более ядовитой, их партнерши умирали в гораздо более юном возрасте.

Райс нашел и другие доказательства гонки вооружений между полами. Он сумел заставить мушек заключить перемирие и объявить о прекращении огня. В 1999 г. он поставил эксперимент, в котором объединил самцов и самок дрозофил в моногамные пары. Теперь самцы, вместо того чтобы конкурировать друг с другом, могли спариваться сколько угодно — но только с одной самкой-партнером, которую дал каждому из них Райс. Конкуренции не стало, и ядовитые вещества в сперме перестали приносить эволюционную выгоду. Самцы перестали применять яд, и у самок пропал стимул развивать противоядия и другие защитные механизмы. Через 47 поколений Райс обнаружил, что моногамные самцы стали наносить своим партнершам значительно меньше вреда и сопротивляемость самок к яду также упала.

Плодовые мушки Райса стали вести гораздо более спокойный образ жизни — но только потому, что он их заставил. Сами по себе они никогда не нашли бы пути к примирению. Очевидно, что любой самец, способный уничтожить чужую сперму, передаст свои гены потомкам куда более успешно, чем любой моногамный самец. И любая самка, способная себя защитить, тоже получит преимущество. Эволюция не может похвастать предусмотрительностью биолога-экспериментатора, так что любовь плодовых мушек воистину слепа.

## ОЖЕСТОЧЕННАЯ БОРЬБА В МАТЕРИНСКОЙ УТРОБЕ

Даже после того, как прошло спаривание, а яйцо оплодотворено, отцы и матери могут усилить свой успех при помощи различных эволюционных тактик. У млекопитающих, в частности у человека, оплодотворенная яйцеклетка проходит в матку матери и начинает выращивать себе плаценту. Плацента внедряет свои кровеносные сосуды в тело матери и налаживает обмен;

цель плода — получать через кровь кислород и питательные вещества. Растущему зародышу требуется громадное количество энергии, которую он может получать только от матери; ее организм при этом отдает так много, что подвергается серьезной опасности. Если мать позволит зародышу расти слишком быстро, она может тем самым нанести себе большой вред — под угрозой может оказаться ее будущая плодовитость и даже сама жизнь. Поэтому эволюция должна поддерживать матерей, которые способны сдерживать развитие своих будущих младенцев.

Но у отцов совершенно другая эволюционная программа. Для него быстро растущий здоровый плод — ничем не омраченное благо. В конце концов, зародыш никак не может повредить его собственному здоровью или его способности в будущем иметь детей.

Дэвид Хейг, гарвардский биолог, предположил, что гены, которые ребенок наследует от отца и матери, обслуживают именно эти противоречивые интересы. Материнские гены заняты вовсе не тем же самым, чем отцовские. Возьмем, к примеру, ген, известный как инсулиноподобный фактор роста II (ИФР II). Белок, производимый этим геном, побуждает эмбрион забирать у матери больше питательных веществ. В экспериментах на беременных мышах исследователям удалось показать, что если отцовская копия ИФР II активна, то материнская никогда не работает. Оказывается, что у мышей есть и другой ген; задача белков, которые он производит, разрушать белки ИФР II. При этом материнская копия этого разрушителя ИФР II активна, а отцовская молчит.

Иными словами, гены мышцы-отца пытаются ускорить рост зародыша, а материнские — замедлить. Результат этой борьбы можно воочию увидеть в тех экспериментах, где ученые искусственно блокируют материнские или отцовские гены. Если блокируется отцовская копия ИФР II, мышата рождаются примерно в полтора раза меньше обычного. Но если заблокировать материнскую копию гена — разрушителя ИФР II, мышата рож-

даются на 20% тяжелее. Если Хейг прав, то все мы — результат компромисса между конкурирующими интересами наших отцов и матерей.

## МАТЕРИНСКИЙ КАПИТАЛ

Участие отца в деторождении довольно ограничено. Во многих отношениях матери могут контролировать судьбу зародышей, которых вынашивают, без всякого вмешательства со стороны партнеров-самцов. Они могут вложить в яйца разное количество энергии, в зависимости от того, насколько желанен был их отец. Самки дикой утки, к примеру, от доминантных самцов откладывают более крупные яйца, чем от самцов с низким рейтингом.

Самки некоторых видов способны повысить собственные шансы на репродуктивный успех, заранее определив пол детеныша. Лучше всех умеют контролировать пол будущего потомства сейшельские вьюрки. Эти птички Индийского океана живут парами, каждая на собственной территории. На острове Кузин, площадь которого всего 25 га, места всегда не хватает и новые пары далеко не всегда могут найти себе свободный участок. В результате молодые самочки иногда, вместо того чтобы отправляться на поиски партнера, остаются с родителями. Они помогают строить гнезда, защищать территорию, высиживать яйца и кормить вылупившихся птенцов. Если пищи достаточно, то самки сейшельского вьюрка становятся хорошими помощницами для своих родителей. Но если семье вьюрков приходится выживать на не слишком удачном участке, где пищи всегда не хватает, то дочери — скорее обуза, чем подспорье.

В 1997 г. Ян Комдер, работавший тогда в нидерландском Университете Гронингена, сравнил яйца птиц, живущих на бедных и изобильных участках острова. Выяснилось, что на обильных пищей территориях у вьюрков на каждого птенца мужского пола

рождается по шесть женского. Зато на бедных землях на каждых трех самцов приходится всего одна самка.

Комдер обнаружил, что такое соотношение полов не определяется генами отдельных व्यюрков. По существу, птицы могут сами решать, сколько сыновей и дочерей должно у них родиться. Комдер доказал это, переселив несколько пар व्यюрков с острова Кузин на два других острова Сейшельского архипелага, не заселенные птицами. Он выбрал те пары, которым на острове Кузин достались бедные земли и у которых рождались в основном сыновья, и поселил их в изобильных местах. Как только птицы освоились на новых, обильных пищей участках, у них стали рождаться в основном дочери.

В такой стратегии заключена четкая и ясная эволюционная логика. Когда пищи не хватает, лучше производить на свет больше самцов. Как только подрастут, они покинут родное гнездо в поисках пары и новых территорий — а родители смогут выращивать новых птенцов на своей скудной пищевой базе. (Молодые самцы могут не найти свободных территорий и погибнуть, но это допустимый риск.) С другой стороны, в сытые времена из дочерей получаются прекрасные помощницы, так что व्यюрок-мать каким-то образом меняет соотношение между самцами и самками в своем потомстве. Как именно व्यюрки это делают, никто пока не знает, но факт остается фактом: они на это способны.

## СЕМЕЙНАЯ ЖИЗНЬ ПО ДАРВИНУ

Любое животное, появившись на свет, может оказаться членом большого выводка — или сиротой-одиночкой. У подёнок, к примеру, до проклевывания яиц не доживает ни один из родителей. У американских черных медведей самка заботится о детенышах в течение года, тогда как самец не принимает в воспитании детей никакого участия. Самец деревенской ласточки работает наравне с самкой; родители обеспечивают птенцов пищей до того

момента, когда те встанут на крыло. Слоны могут десятилетиями жить большой семьей, вместе с братьями, сестрами, тетками, дядьями и бабушками.

В определенных условиях вырастить и воспитать детей не менее важно для репродуктивного успеха, чем найти партнера. Если самец навозного жука умудрится спариться с тысячей самок, но все его дети погибнут через неделю после появления из яиц, это будет означать, что все его сексуальные победы оказались — в эволюционном смысле — напрасными. У многих видов животных отец и мать вместе растят и воспитывают детенышей. Но и здесь возможен конфликт интересов, опасный для семейных уз. Самцы, которые тратят свое время на воспитание детенышей другого самца, имеют меньше шансов передать потомству собственные гены. В результате самцы некоторых видов научились распознавать обман со стороны своих партнерш. Эндрю Диксон из Лестерского университета наблюдал, как много заботы о птенцах проявляют самцы камышовой овсянки, как они вместе с самкой кормят и защищают малышей. Диксон взял у птиц образцы ДНК и выяснил интересный факт: чем меньше птенцов в гнезде реально принадлежит отцу семейства, тем меньше усилий он прилагает и тем меньше пищи приносит в гнездо.

Однако у многих видов, от мышей до тонкотелых обезьян и дельфинов, самцы не просто игнорируют молодняк, который не принадлежит им генетически. Иногда дело доходит до смертоубийства. Особенно хорошо такое неприятное поведение изучено у львов. Львиный прайд состоит из десятка-другого львиц с львятами и нескольких — до четырех — самцов. Когда львята-самцы подрастают, взрослые самцы изгоняют их из прайда. Молодые львы вместе с другими изгоями ищут прайд, где самцы показались бы им слабыми. Они дерутся с местными львами и, если те признают их силу и убегут, сами становятся владыками прайда. В этот момент львятам прайда угрожает серьезная опасность: очень велика вероятность, что новые самцы просто



возьмут их в зубы и задавят насмерть. Из всех львят, которые погибают в первый год жизни, каждого четвертого убивают взрослые львы.

То, что нам, людям, представляется жестокостью, на самом деле всего лишь очередная иллюстрация принципов эволюционной логики. По крайней мере так утверждают многие зоологи. Конечная цель молодого льва, захватывающего чужой гарем, — стать отцом собственных детенышей. Но пока львица выкармливает львят, у нее не бывает течки, поэтому присутствие львят в прайде означает, что новому владыке придется ждать, возможно, несколько месяцев, прежде чем он сможет спариться с их матерями. Учитывая, что господство его может оказаться недолгим и уже через год-другой его самого изгонят из прайда молодые сильные соперники — а его львят скорее всего убьют, если они не успеют вырасти к этому моменту, — можно понять, что льву просто некогда играть роль доброго отчима.

Львицы стараются, как могут, защитить своих детенышей. Едва заслышав рев чужих самцов, они встают, начинают рычать и собираются вместе, не желая сдаваться без боя. Чем больше львиц вступится за детеныша, тем больше у него шансов уцелеть. Может быть, львицы собираются в прайд именно поэтому — в надежде выстоять и не дать совершиться детоубийству.

Но львицам далеко не всегда удастся защитить своих малышей. Новые самцы, захватив гарем, спешат как можно быстрее обзавестись собственным потомством. После того как самец избавился от чужих львят, у львицы начинается течка; она становится сексуально ненасытной. Доминантный самец прайда покрывает течную львицу чуть ли не сто раз в день. Его сил хватает дня на два; затем приходит черед субдоминантных самцов, которые занимаются тем же самым еще несколько дней. Через четыре месяца у львицы рождаются львята, но вопрос биологического отцовства навсегда остается открытым. Может быть, именно этим объясняется тот факт, что львы-самцы никогда

не убивают львят в собственном прайде. Всегда есть шанс убить родного детеныша — катастрофа с точки зрения эволюционного наследия.

В 1970-е гг., когда появились первые сообщения о детоубийстве среди животных, многие исследователи встретили их скептически. Они говорили, что такая жестокость со стороны самцов — наверняка патология. Кроме того, откуда самцу знать, кто из детенышей его, а кто не его? Но сообщения продолжали поступать. Стивен Эмлен, орнитолог Корнеллского университета, придумал весьма элегантный способ проверить гипотезы, связанные с детоубийством. В 1987 г. он изучал якан — панамских птиц, у которых, как у морской иглы, мужской и женский пол отчасти поменялись ролями. Самец яканы высидживает яйца и выкармливает птенцов, тогда как самка следит за порядком на своей территории, спаривается с самцами и отгоняет чужих самок. Иногда происходит наоборот: пришелица прогоняет местную самку и наследует ее самцов.

Эмлен рассудил, что если льву-самцу выгодно убивать чужих львят, то самке якана, захватившей чужой гарем, тоже выгодно избавиться от чужих птенцов. Эмлену нужно было добыть несколько якан для анализа ДНК, и он решил подстрелить двух самок, партнеры которых в тот момент выкармливали новорожденных птенцов. Вечером он убил одну из самок, и к утру на ее территории уже хозяйничала новая самка; она клевала птенцов и била их об землю, пока не прикончила. Самец беспомощно смотрел на это безобразие. Через несколько часов новая самка уже домогалась этого самца, и он покрыл ее. Вечером Эмлен подстрелил вторую намеченную самку, и на следующее утро сцена убийства птенцов повторилась в точности.

«Если рассматривать все это с точки зрения особи, которая стремится передать свои гены следующему поколению, — говорит Эмлен, — это оправданно, хотя и отвратительно».

## ВСЕ НА БЛАГО ГЕНА

Львы-детоубийцы, ласточки-изменницы, вьюрки, способные менять соотношение полов в потомстве... Можно подумать, что жизнь животных представляет собой сплошной сексуальный эгоизм. Но ведь известно немало случаев, когда в результате эволюции возникли животные, которые совершенно отказались от борьбы за сексуальное первенство.

Этот парадокс очень заинтересовал Уильяма Гамильтона, особенно в применении к пчелам и другим социальным насекомым. Как известно, в пчелином улье живет одна царица, несколько самцов и от 20 000 до 40 000 рабочих самок. Рабочие пчелы размножаться не способны; они проводят жизнь за сбором нектара, содержат улей в порядке и кормят личинок царицы. Они всегда готовы защитить родной улей от чужаков даже ценой собственной жизни. С точки зрения эволюции такое поведение кажется массовым самоубийством.

Но Гамильтон предположил, что благодаря генетическим особенностям медоносной пчелы и родственных ей видов насекомых получается, что на самом деле бесполое самки работают на благо рода и защищают долгосрочные интересы своих генов. Пчеломатка производит сыновей и дочерей совершенно по-разному. Самцы вырастают из неоплодотворенных яиц, которые начинают делиться и развиваются во взрослых насекомых без всякой спермы. Поскольку неоплодотворенные яйца не получают отцовской ДНК, самцы пчел имеют лишь по одной копии каждого гена. С другой стороны, царица спаривается с одним из своих самцов-консорттов и делает дочерей по принципу обычного менделевского расщепления; соответственно, самки получают по две копии каждого гена.

Таким образом, все пчелиные самки очень близки друг к другу — гораздо ближе, чем сестры у людей. Люди наследуют один из двух генов отца и один ген из соответствующей материнской пары. Шансы унаследовать тот или иной конкретный

ген составляют 50%, поэтому у человеческих сестер совпадает в среднем половина генов. Но у пчел все сестры наследуют от отца совершенно одинаковые гены, ведь у самца всего один комплект и выбирать не из чего. С учетом расщепления материнской ДНК можно сказать, что у пчелиных самок одинаковы в среднем три четверти генов. Если бы пчелиная самка тоже произвела на свет дочь, она передала бы ей лишь половину своих генов; остальное молодая пчела получила бы от отца. Таким образом, любая самка медоносной пчелы имеет больше общего со своими сестрами, чем с дочерьми.

В таких обстоятельствах, утверждает Гамильтон, неудивительно, что рабочая пчела отказывается от продолжения рода, чтобы работать на благо семьи и улья. Личинки, которых она помогает выращивать, настолько близки к ней генетически, что сумеют распространить ее гены даже быстрее, чем если бы она сама спаривалась и откладывала яйца.

Одним ударом Гамильтон сумел разрешить парадокс альтруизма, который еще со времен Дарвина ставил биологов в тупик. Если эволюция состоит в конкуренции между особями за выживание и продолжение рода, помогать другим бессмысленно. Быть может, предполагали некоторые исследователи, животные поступают самоотверженно ради блага всего вида или хотя бы ради блага группы. Но подобный альтруизм попросту не выдерживал проверки и резко расходился с тем, что ученые знали о распространении генов во времени.

Гамильтон первым рассмотрел вопрос альтруизма с точки зрения гена. Возможно, альтруизм не приносит пользы особи, которая его проявляет, но возможно также, что это неплохой способ обеспечить копирование и распространение генов, принадлежащих в частности и этой особи. Альтруизм повышает приспособленность животного, но не потому, что увеличивает шансы данной особи на продолжение рода. Гамильтон назвал такую непрямую пользу альтруизма «совокупной приспособленностью».

Правило совокупной приспособленности Гамильтона нашло себе великолепное подтверждение. Рабочие самки не только генетически ближе друг к другу (как сестры), чем к собственным дочерям; они генетически ближе друг к другу, чем к собственным братьям. Братья не получают отцовских генов, которые наследуют от своих отцов их сестры, а из материнских генов у них в среднем совпадает лишь половина. Таким образом, если самка делит с сестрами 75% общих генов, то с братом у нее совпадает лишь 25% генов. Иными словами, ее родство с сестрами в три раза ближе, чем с братьями. Эта разница отражается и в соотношении числа братьев и сестер в гнезде. В колониях многих общественных насекомых число самок относится к числу самцов как 3 к 1. И отношение это устанавливают рабочие пчелы, а не царица. Они попросту хуже заботятся о мужских личинках, чем о женских.

Но совокупная приспособленность должна давать отношение 3 к 1 лишь у тех насекомых, где царица спаривается один раз, а затем на основе одной и той же спермы производит на свет всю колонию. Если царица спарится с другим самцом и использует его сперму, все сестры в гнезде не будут носителями одинакового — отцовского — набора генов. Финский энтомолог Лизелотта Сундстром обнаружила, что в некоторых колониях муравьев *Formica* самка может спариваться не один, а несколько раз. Выяснилось, что в колониях, где отец один, среди личинок строго соблюдается соотношение 3:1; но там, где отцов несколько, соотношение полов иное, ближе к 1:1. Раз сестры здесь генетически не ближе друг к другу, чем к своим братьям, рабочим пчелам нет никакого резона выказывать предпочтение одному полу в ущерб другому.

## ВЕЛИКОДУШИЕ ПАВЛИНА

Не исключено, что при помощи совокупной приспособленности Гамильтона можно объяснить принципы семейной жизни не только в муравьиных колониях, но также среди птиц и млеко-

питающих. Когда Марион Петри начинала изучать павлинов, ее интересовали не только хвосты, но и токовища — особые места, где собираются самцы, чтобы покрасоваться перед самками. Почему, задавалась она вопросом, самцы-павлины собираются для этого в группы? Ведь менее успешные самцы наверняка останутся ни с чем, их обойдут вниманием в пользу особей с самыми великолепными хвостами. Может быть, им лучше было бы ухаживать за самками самостоятельно, чтобы не проигрывать в сравнении с лучшими?

По территории английского зоопарка Випснейд-Парк свободно разгуливают 200 павлинов. В 1991 г. Петри увезла восемь випснейдовских павлинов на ферму в ста милях оттуда и обеспечила каждого из них гаремом из четырех пав. Она каждый день собирала яйца и выводила птенцов в инкубаторе; помечала их кольцами и выпускала в общий загон. Через год она привезла 96 молодых павлинов (по 12 от каждого из восьми отцов) обратно в Випснейд.

Известно, что на четвертом году жизни павлин-самец выбирает себе место, где в дальнейшем он будет демонстрировать свой хвост. В 1997 г. Петри наблюдала за выбранными ею павлинами, собравшимися на токовище, и пришла к неожиданному выводу: родные и сводные братья устраивались гораздо ближе друг к другу, чем павлины, не состоявшие в генетическом родстве. Ближайший сосед любого петуха оказывался его родственником впятеро чаще, чем следовало бы при случайном распределении. Птенцы, не знавшие ни своих родителей, ни братьев, сумели в Випснейде каким-то образом найти друг друга.

С точки зрения интересов рода павлинье токовище устроено достаточно разумно. У братьев много общих генов, и репродуктивный успех любого из них означает дальнейшее продвижение и распространение этих генов. Род только выиграет, если некоторые павлины, вместо того чтобы заниматься поисками пары для себя, помогут братьям обзавестись партнершами. Если самка

спарится хоть с кем-нибудь из братьев, их общее генетическое наследие окажется в безусловном выигрыше.

Не исключено, что именно совокупная приспособленность лежит в основе самых запутанных и сложных мыльных опер, которые постоянно разыгрываются в природе. К примеру, в Кении птица под названием белогрудый пчелоед живет общинами, которые ученые когда-то считали едва ли не воплощением утопических коммун. Эти птицы образуют гигантские — до 300 особей — колонии, а для гнезд роют норы в высоком земляном откосе. Такая колония напоминает многоквартирный дом с множеством жильцов. Поначалу орнитологи считали, что взрослые птицы такой колонии живут в мирной моногамии. Птенцы, вырастая, нередко остаются с родителями и помогают обихаживать своих младших братьев и сестер. Иногда они даже помогают соседям.

В 1970-е гг. Стивен Эмлен начал посещать колонию пчелоедов; он хотел понять, насколько альтруистичны на самом деле эти птицы. Несколько лет он и его коллеги наблюдали, как почти неразличимые птицы перепархивают из гнезда в гнездо, улетают за пищей и возвращаются. Ученые построили генеалогическое древо птичьих родов и проверили его правильность при помощи анализа ДНК. Выяснилось: то, что на первый взгляд кажется простым альтруизмом, на самом деле представляет собой спутанный клубок семейных интриг.

Эмлен обнаружил, что пчелоеды вовсе не живут простыми парными семьями. Они образуют большие кланы, куда входят птицы нескольких поколений (до 17 особей). Это могут быть родители, родители родителей, дяди и тети, племянники и племянницы, двоюродные братья и сестры. Большая семья занимает группу соседних гнезд, и все ее члены много времени проводят в гостях друг у друга. Если хищник уничтожит выводок птенцов, то старший сын, помогавший их выкармливать, переселится в одно из соседних гнезд и будет помогать тамошним обитателям. Отметим, что помогает он не чужим, а кому-то из близких

родственников — дядюшке, может быть, или сестре. Эти родственники тоже несут в себе часть его генов, и молодой самец, потерявший возможность помогать своей непосредственной семье, будет помогать им. А ученые выяснили, что в вопросе выживания семьи такая помощь может оказаться решающей. Присутствие в гнезде помощника позволяет вырастить вдвое больше птенцов.

Пчелоеды постоянно заняты семейными заговорами и интригами. Самки пчелоедов действительно навещают гнезда соседей, но не для того, чтобы помочь с птенцами; нет, они пытаются откладывать яйца в чужие гнезда. Если обитатели гнезда не заметят, что у них появилось чужое яйцо, они будут тратить силы на выкармливание чужого птенца — а его настоящая мать сможет вырастить в своем гнезде еще больше птенцов. Пока кладка в гнезде, вся семья держится настороже и тщательно охраняет ее от подобных вторжений. Но Эмлен обнаружил, что яйца в гнездо норовят отложить не только чужие самки, но и взрослые дочери семьи. Сначала ученые просто не поняли, откуда у дочерей яйца — ведь они продолжают жить с родителями и пока не имеют пары. Выяснилось, однако, что иногда молодые самки улетают далеко от родных гнезд и спариваются с самцами других колоний.

Родители тоже устраивают заговоры. Если сын семейства находит себе пару и пытается устроиться в собственном гнезде, отец начинает навещать его — да так часто, что молодая семья не может спокойно жить и заводить собственных детей. Кто знает, может быть, молодой самец одумается и вернется в родительское гнездо, где всегда требуется помощник. Под безмятежной поверхностью птичьей утопии кипят нешуточные страсти, направленные на повышение совокупной приспособленности рода.

## СЕКСУАЛЬНАЯ ПОЛИТИКА ШИМПАНЗЕ

Эмлен и другие исследователи сумели объяснить многие случаи альтруизма среди животных генетическими интересами. По со-



временным представлениям, в природе очень немного видов, члены которых действительно помогают ближнему без оглядки на кровные узы. К таким видам относятся, к примеру, летучие мыши-вампиры. Каждую ночь они вылетают на поиски животных, чтобы напиться их крови. Но если поиски завершатся неудачей, вампир может вернуться в гнездо и попросить крови у кого-нибудь из членов колонии (не родича), которому повезло больше. Антрополог из Университета Ратджерса Роберт Трайверс назвал такое поведение «реципрокным (или взаимным) альтруизмом». Эволюция благоприятствует взаимному альтруизму, утверждает Трайверс, потому что в конечном счете неродственные животные, помогая друг другу, повышают тем самым свои шансы на выживание. Мыши-вампиры быстро сжигают съеденную пищу, так что две-три неудачных ночи — и летучая мышь потеряет силы от голода. Конечно, готовность поделиться кровью — в определенном смысле жертва, но одновременно это страховой полис на случай собственной неудачи.

Чаще всего реципрокный альтруизм развивается у животных с большим мозгом. Если вы способны узнавать особей своей стаи и помнить, кто из них помог вам, а кто, наоборот, воспользовался вашей добротой, вы можете извлечь из взаимного альтруизма вполне ощутимую пользу. Так что не стоит удивляться тому, что чаще всего среди животных помогают ближнему (не родственнику) наши с вами ближайшие родичи — шимпанзе и бонобо (отдельный вид человекообразных обезьян, который иногда называют карликовым шимпанзе).

Шимпанзе сотрудничают с неродственными особями, оказывают им услуги, а иногда даже жертвуют чем-то ради них. Они объединяются для совместной охоты на антилоп или обезьян-колобусов и делятся добычей. Иногда взаимный альтруизм помогает особям шимпанзе обрести социальный вес — так, два подчиненных самца могут объединиться и вместе свергнуть ведущего самца в своей группе. При этом нельзя сказать, что шимпанзе

оказывают услуги направо и налево. Они всегда отслеживают свои и чужие одолжения, а столкнувшись с предательством, прекращают добрые отношения или даже наказывают шимпанзе-обманщика.

Следует отметить, что в обезьяньем обществе пользоваться плодами взаимного альтруизма могут только самцы; самкам он недоступен. Если самец шимпанзе проводит всю свою жизнь в той группе, где родился, то самка, достигнув зрелости, покидает стаю. Она присоединяется к другой группе обезьян, но рождение и воспитание детенышей не позволяет ей установить с кем-то из них прочные долговременные отношения. Мать с малышом не успевает за стайей, которая быстро передвигается по лесу в поисках фруктов, а поскольку детеныши шимпанзе зависят от матери до четырехлетнего возраста, может получиться так, что самка шимпанзе 70% своей взрослой жизни проведет вне своей группы.

В результате самцы шимпанзе получают полную власть в стае. Они устанавливают связи с другими самцами, заключают союзы и всячески карабкаются вверх по обезьяньей иерархической лестнице. Кроме того, взаимный альтруизм позволяет самцам не так сильно зависеть от нестабильных пищевых запасов. В основном шимпанзе едят фрукты и потому вынуждены постоянно перемещаться по лесу в поисках созревших плодов. Самцы могут объединиться для охоты и дополнить свою диету мясом, разделив добычу на всех; кроме того, иногда они вместе нападают на более мелкие группы шимпанзе и захватывают их плодовые деревья.

Самки, у которых никогда не бывает возможности заключать союзы и пользоваться плодами взаимного альтруизма, не имеют в стае никакого влияния. Если группа шимпанзе находит пищу, то самки не начнут есть, пока самцы не насытятся. Мало того, самцы нередко применяют к самкам насилие. Самец может ударить самку, чтобы заставить ее вступить с ним в сексуальные отношения, а если в группе появится новая самка с младенцем, то местные самцы могут убить малыша. «Общество шимпанзе

ужасно патриархально и ужасно жестоко», — говорит приматолог из Гарвардского университета Ричард Рэнгем.

Самки шимпанзе, как и самки других видов, не склонны пассивно страдать. Они всеми силами стараются защитить своих малышей и найти себе хорошую пару. По сравнению с другими видами высших приматов самки шимпанзе поздно достигают половой зрелости; некоторые приматологии даже считают, что такая задержка имеет цель — уменьшить шансы на то, что ей придется встраиваться в новую группу беременной или с малышом, который, скорее всего, будет убит.

После достижения половой зрелости самка шимпанзе использует секс для защиты своих детенышей. Каждый раз, когда самка становится сексуально восприимчивой, ее гениталии набухают и розовеют, и она начинает делать авансы всем самцам группы. Как правило, сексом с ней занимаются преимущественно доминантные самцы, но они не в состоянии удержать самок от спаривания с другими самцами. В среднем на каждого рожденного детеныша самка шимпанзе спаривается 138 раз с тринадцатью разными самцами. Но сигнал, который подают разбухшие гениталии самки, вводит самцов в заблуждение: на самом деле период, когда для самки возможно зачатие, продолжается очень недолго. В результате около 90% времени, когда самка занимается сексом, она не в состоянии зачать. Не исключено, что самка шимпанзе, подобно львице, спаривается со многими самцами для того, чтобы защитить своих детенышей от детоубийственных инстинктов самцов, — ведь в этом случае никто из самцов не сможет узнать, кто отец малыша.

## ЛЮБОВЬ, А НЕ ВОЙНА

Бывает, что эволюционный конфликт между полами приводит к насилию самцов над самками, как у шимпанзе, но это не обязательно. В соответствующих условиях высшие приматы могут

прийти к спокойному мирному существованию, при котором роль секса значительно расширяется. Он становится не только гарантом и средством передачи генов, но и инструментом сохранения мира.

Мирные приматы, о которых идет речь, называются бонобо. Науке они известны относительно недавно: бонобо были признаны отдельным от шимпанзе видом всего 70 лет назад. В 1929 г. один немецкий анатом, изучая в Бельгийском колониальном музее череп детеныша шимпанзе, вдруг понял, что на самом деле этот череп принадлежал небольшой взрослой особи другого вида. Бонобо обитают южнее реки Заир в Демократической Республике Конго; они не только мельче, но и стройнее обычных шимпанзе, с более длинными ногами и узкими плечами. У них красноватые губы и маленькие черные уши, более плоские, чем у шимпанзе, лица и длинные тонкие черные волосы с аккуратным ровным пробором посередине.

Различия между шимпанзе и бонобо не ограничиваются анатомией. Во время Второй мировой войны силы союзников разбомбили немецкий город Хеллабрюн. В одном из зоопарков города жила колония шимпанзе, в другом обитали бонобо. Взрывы бомб несколько не испугали шимпанзе, а все бонобо во время бомбежки умерли от страха. Несколькими годами позже два немецких приматолога, изучая бонобо все в том же Хеллабрюне, заметили, что их половая жизнь совершенно не похожа на половую жизнь шимпанзе. Ученые написали, что если шимпанзе спариваются *more canum* (как собаки), то бонобо делают это *more hominum* (как люди). В отличие от всех остальных приматов, кроме человека, бонобо во время полового акта располагаются лицом друг к другу.

Статья немецких ученых осталась незамеченной; остальные специалисты по приматам не обратили внимания на их странное заявление. Только в 1970-х гг. уже новое поколение ученых вдруг обнаружило, что бонобо разительно отличаются от шимпанзе.

Как и у шимпанзе, молодые самцы бонобо остаются в родном сообществе, а самки, взрослея, покидают его и ищут для себя новую группу. Но дальше все происходит совсем не так. В новой группе молодую самку встречают не грубые самцы, готовые убить ее малыша и принудить ее к сексу. В сообществах бонобо верховодят самки. Если бросить в группу бонобо кисть бананов, то сначала поедят самки, а самцы подождут своей очереди. Если молодой бонобо попытается напасть на самку, на него тут же налетит целая толпа разъяренных дам. Известны случаи, когда самки прижимали проштрафившегося самца к земле, а одна из них больно кусала его за яички. У самцов бонобо есть и своя иерархия, но высшие места в ней занимают сыновья доминирующих самок; между самцами не возникает практически никаких связей.

Самка бонобо, присоединяясь к новой группе, становится участницей непрерывной оргии. Если у самок шимпанзе время спаривания (разбухшие гениталии) продолжается около 5% взрослой жизни, то самки бонобо сексуально восприимчивы 50% времени. Они рано начинают половую жизнь: юные бонобо пробуют совокупляться задолго до того момента, когда способны к зачатию. Но этого мало: бонобо знают не только гетеросексуальные контакты. Молодые самцы готовы фехтовать penisами и охотно занимаются оральным сексом друг с другом. Самки тем временем трутся гениталиями, пока не достигнут оргазма.

Среди бонобо секс — не просто средство продолжения рода или даже способ защитить малышей от рассерженных самцов. Это инструмент социальной жизни. Чтобы войти в сообщество бонобо, новая самка приближается к какой-нибудь местной обитательнице и всячески ее убажует. Такая услуга помогает ей приобрести союзницу, и не одну; так самка постепенно встраивается в существующую структуру сообщества.

Кроме того, при помощи секса можно сбрасывать напряжение, возникающее временами в сообществе. Когда бонобо нахо-

дят пищу — будь то плодовое дерево или гнездо термитов, — они начинают вопить от возбуждения. Но вместо того чтобы драться за еду, как это могли бы сделать шимпанзе, бонобо занимаются сексом. Точно так же, если самец в приступе ревности прогонит от самки другого самца, позже оба они могут мирно устроиться в сторонке и помириться, потирая друг другу гениталии. Секс не дает конкуренции разгореться в настоящую полномасштабную войну. «Шимпанзе разрешают сексуальные вопросы силой; бонобо разрешают вопросы власти и главенства сексом», — пишет приматолог из Университета Эмори Франс де Вааль в своей книге «Бонобо: забытые приматы».

Шимпанзе и бонобо имеют общего предка, жившего, по оценкам ученых, 2–3 млн лет назад. Ричард Рэнгем и его коллеги высказали предположение, что разница между ними возникла из-за разных условий среды обитания — скорее даже места обитания. Бонобо живут во влажных джунглях, где круглый год можно рассчитывать на спелые плоды, — в отличие от открытых лесов, где нередко обитают шимпанзе. Даже если у бонобо вдруг кончатся фрукты, они всегда смогут прокормиться травами, которые в джунглях всегда имеются в изобилии.

Благодаря обилию плодов группам бонобо не приходится передвигаться по лесу так быстро, как группам шимпанзе, и самки даже с маленькими детенышами вполне успевают за стаей. Еды хватает всем, поэтому самки не конкурируют друг с другом и могут формировать долговременные союзы. Объединившись, самки способны держать самцов в узде. В результате детоубийство у бонобо — дело неслыханное. Самцы мирно держатся в своих группах и не ходят набегами на соседей. При встрече двух групп бонобо скорее займутся сексом, чем подерутся.

«Похоже, что относительно простого изменения пищевой экологии достаточно, чтобы возникла такая серьезная разница в сексуальном поведении», — говорит Рэнгем.

Преимущества такой социальной структуры для самок бонобо очевидны: они созревают для продолжения рода на несколько лет раньше, чем шимпанзе, и могут произвести на свет больше детенышей. Ученые подозревают, что эта разница объясняется тем, что самке шимпанзе всегда приходится считаться с угрозой детоубийства. Самкам бонобо не нужно об этом беспокоиться.

Дружба, предательство, обман, доверие, ревность, измена, материнская привязанность, самоубийственная любовь — все эти понятия звучат очень по-человечески. Когда биологи говорят о разводе у птиц или измене у мышей, эти слова всегда как бы заключены в невидимые кавычки. Тем не менее мы, люди, — тоже животные; и у нас самцы вырабатывают больше, чем достаточно, спермы, а у самок яйцеклетки созревают по одной и не слишком часто; наши предки были объектом эволюции несколько не в меньшей степени, чем какая-нибудь морская игла или якана. Может ли быть, что совокупная приспособленность, реципрокный альтруизм и конфликты между полами подспудно влияют на наши действия? Или даже на наши мысли?

Задайте эти вопросы в баре, где собираются биологи, и приготовьтесь отбиваться от летящих в вас кружек. Почему человек — такая больная тема? Чтобы осознать всю сложность проблемы, мы должны сначала понять, откуда взялось человечество.





## ЧАСТЬ IV

# **ЧЕЛОВЕК В ЭВОЛЮЦИИ И ЭВОЛЮЦИЯ В ЧЕЛОВЕКЕ**



## РАЗГОВОРЧИВАЯ ОБЕЗЬЯНА

### *Социальные корни эволюции человека*

Самый очевидный способ отличить нас, людей, от миллионов других обитающих на Земле видов — взглянуть на сделанные человеком вещи. Даже с расстояния в тысячи километров признаки нашей деятельности бросились бы в глаза любому инопланетному натуралисту, пролетающему мимо Солнечной системы на каком-нибудь межзвездном «Бигле». Вокруг планеты летают тучи искусственных спутников, космических станций и просто мусора; на поверхности тоже видны соответствующие признаки, от Великой китайской стены до ночного освещения наших городов; космический эфир полон всевозможных голосов — телефонных разговоров, телепередач и другого телекоммуникационного лепета.

Технология — самый очевидный, но не единственный отличительный признак человечества. Человек — в высшей степени общественное животное в сравнении с другими видами. Мы существуем в глобальной сети государств, альянсов, племен, клубов, дружеских и корпоративных связей, лиг, союзов и тайных обществ. Наверное, инопланетному натуралисту было бы не так просто разглядеть в нас общественную природу — по крайней мере куда труднее, чем технические сооружения, но на самом

деле соединяющие нас невидимые связи не менее важны для человеческой природы, чем мосты или города, которые мы для себя строим.

Оглядываясь в прошлое на эволюцию нашего собственного вида, мы сталкиваемся по существу с теми же трудностями, с которыми столкнулся бы упомянутый выше инопланетный натуралист. Мы видим следы разумной деятельности наших предков и можем даже до них дотронуться. Еще 2,5 млн лет назад наши предки раскалывали камни и получали режущую кромку, при помощи которой удобно было отделять мясо от костей. 1,5 млн лет назад они уже делали мощные каменные рубила, которыми пользовались, возможно, не только для разрезания мяса, но и для изготовления других инструментов, таких как палка-копалка. Около 400 000 лет назад появились первые копья и началась технологическая летопись; чем ближе к нашим дням, тем плотнее в ней укладываются события. За 4 млрд лет истории Земли ни одно другое животное не оставило после себя следов какой бы то ни было производительной деятельности. Да, сегодня мы можем взять в руки каменное рубило, сделанное миллион лет назад, прикоснуться к обществу, в котором жил изготовивший его человек, но представить себе жизненные впечатления и опыт этого человека — мы не в состоянии.

Тем не менее, хотя разобраться в социальной эволюции человека невероятно трудно, ученые считают, что именно этот вид эволюции был одним из решающих факторов подъема нашего биологического вида — возможно, единственным решающим фактором. Наши шимпанзеподобные предки жили шимпанзеподобной общественной жизнью, но 5 млн лет назад они откололись от прочих высших приматов и ушли исследовать новую экологическую нишу — саванны Восточной Африки. В саванне социальная жизнь этих гоминид сильно усложнилась. Возможно, в результате этого усложнения человек приобрел многие черты, которые отличают его от прочих видов животных, — большой

мозг, интеллект, наконец, речь и способность пользоваться орудиями. Возможно также, что конкуренция при выборе партнера и борьба за репродуктивный успех в обществе наших предков-гоминид оставили заметный след в психологии современного человека, сформировали нашу способность к любви, ревности и другим сильным эмоциям.

## АФРИКАНСКАЯ ДОГАДКА ДАРВИНА

Разрабатывая свою теорию естественного отбора, Дарвин не мог не думать и о происхождении человека. У него не было возможности исследовать ручные рубила возрастом миллион лет — в то время они еще не были известны; более того, до конца 1850-х у ученых вообще не было достоверных останков древнего человека. Дарвин иногда записывал свои мысли на эту тему в дневнике, но опубликовать их он так и не решился. В 1857 г., за два года до выхода «Происхождения видов», Уоллес спросил Дарвина, будет ли в книге обсуждаться вопрос о происхождении человека. Дарвин ответил: «Думаю, что постараюсь обойти всю эту тему, слишком уж она окружена предрассудками, хотя я всем сердцем признаю, что для натуралиста это высочайшая и интереснейшая задача».

Его молчание объяснялось исключительно стратегическими соображениями. Должно быть, человек появился в результате эволюции, как любое другое животное. Но Дарвин не стал углубляться в эту часть своей теории в надежде, что так его книга будет встречена с меньшей предвзятостью. Но, несмотря на всю осторожность автора, многие читатели «Происхождения видов» сразу же задались вопросом о том, как в свете этой теории выглядит человек. Шимпанзе и гориллы, которых как раз в то время исследователи везли из африканских джунглей, делали этот вопрос еще более животрепещущим. Гексли и другие биологи изучили приматов и показали, что они еще больше похожи на человека,

чем известные прежде орангутанги. В 1860 г. в письме Уоллесу Дарвин признался, что передумал: он напишет эссе о происхождении человека.

На выполнение этой задачи у Дарвина ушло 11 лет. Разумеется, все это время он занимался не только этим: много времени требовала подготовка новых изданий «Происхождения видов» и книга об орхидеях; небольшая, как планировалась, книга об одомашнивании животных и растений разрослась до размеров пухлого двухтомного чудовища; кроме того, Дарвин месяцами болел. Но, несмотря на все трудности, желание высказаться по вопросу о происхождении человека только росло. Разве мог естественный отбор разом сотворить человека во всем его великолепии, научить его говорить и рассуждать, любить и исследовать? Даже Уоллес сдался. Он решил, что возможности нашего огромного мозга гораздо больше, чем необходимо для выживания, — нам вполне хватило бы мозга чуть более совершенного, чем у обезьяны. Вывод: сотворение человека — плод божественного вмешательства.

Дарвин был не согласен с этим, и в 1871 г. наконец вышла книга «Происхождение человека и половой отбор», в которой он изложил свои представления об эволюции человека. Книга получилась очень неровной. В нескольких главах Дарвин представил читателю введение в теорию полового отбора, которой, как он считал, объяснялись различия между человеческими расами. (Даже у Дарвина случались проколы.) В труде, посвященном истории эволюции человека, он потратил сотни страниц на подробное объяснение принципов полового отбора на примере других животных. Тем не менее в книге содержались и свидетельства в пользу того, что человек в его нынешнем виде произошел путем эволюции от обезьяноподобных предков.

Когда Дарвин начинал работу над «Происхождением человека», у ученых практически не было данных о возрасте человека как вида; имелось всего несколько свидетельств, притом

двусмысленных. Так, в 1856 г. шахтер из долины Неандер в Германии откопал в шахте части скелета существа, которое затем окрестили неандертальским человеком. У него был тяжелый низкий лоб; по особенностям черепа можно было задать вопрос: что это — отдельный вид или, как утверждал Гексли, предельный случай разновидности человека? Другие ученые находили в Англии и Франции не черепа, а орудия — кремневые лезвия и каменные скребки — вместе с окаменевшими костями давно вымерших в этих местах гиен. Пошли разговоры о древности человеческого рода, но, кроме самого факта, сказать в общем-то было нечего.

В то время окаменелые останки и орудия почти не пролили света на эволюцию человека, поэтому Дарвин предпочел не разбирать эти скудные свидетельства, а сравнить человека с высшими приматами. Что касается скелета, то здесь человек и примат почти полностью идентичны — кость за костью. Человеческий эмбрион во время внутриутробного развития проходит практически те же стадии, что зародыш гориллы или шимпанзе. Расхождение начинается относительно поздно, когда зародыши обретают разные пропорции. Дарвин утверждал, что такое сильное сходство — признак того, что люди и приматы произошли от какого-то древнего общего предка. После отделения от общего эволюционного ствола у наших предков постепенно развились все те черты, которые, собственно, и делают нас людьми. Поскольку больше всего похожи на человека горилла и шимпанзе, а обе эти обезьяны обитают в Африке, Дарвин высказал предположение о месте происхождения самого человека: «Несколько более вероятно, что наши пращуры жили на Африканском континенте, нежели где-то в другом месте».

В 1871 г. читатели Дарвина могли подумать, что это предположение — выстрел наугад, в науке такое тоже случается. Но 130 лет спустя Дарвин был отомщен: доказательств появилось больше чем достаточно. Теперь исследователи знают, что генетическое сходство человека и африканских приматов не менее поразительное, чем сходство человека и европейских приматов.

тельно, чем их анатомическое сходство. В 1999 г. международная группа ученых опубликовала эволюционное древо человека, построенное на базе самого подробного исследования наших генов. Человечество на этом древе образует небольшой пучок веточек, примостившийся высоко на линии шимпанзе. Древо наглядно демонстрирует, что генетически мы, по существу, представляем собой подвид этой человекообразной обезьяны.

Измерив скорость, с которой мутируют наши гены, ученые определили, что последний общий предок шимпанзе и человека жил примерно 5 млн лет назад. Со времен Дарвина палеоантропологам удалось найти немало окаменелостей древнего человека — и десятка других человекообразных видов (известных как гоминиды). Окаменелости показывают, что в эволюции человека было пять крупных, принципиальных изменений. Первое изменение, начавшееся около 5 млн лет назад, постепенно оттеснило наших предков из леса на просторы африканских саванн. Второе связано с изобретением первых каменных орудий около 2,5 млн лет назад, а третье произошло на миллион лет позже, когда грубые режущие кромки на расколотых камнях сменились массивными каменными рубилами, уже вполне оформленными. Полмиллиона лет назад наши предки пережили четвертое изменение — овладели огнем и научились более тщательно изготавливать копья и другие орудия. И наконец 50 000 лет назад человек начал оставлять после себя признаки поистине современного сознания — рисунки на стенах пещер, резные украшения, сложное оружие и ритуальные захоронения.

Древнейшие и наиболее близкие к шимпанзе останки гоминид были обнаружены в начале 1990-х гг. командой ученых, работавших в Эфиопии. Там была найдена целая коллекция зубов, кусочки черепа и несколько костей руки; возраст всего этого составляет 4,4 млн лет. Вообще, окаменелости очень похожи на останки высших приматов, но в некоторых отношениях они все же ближе к человеку, чем к шимпанзе. Когда рот этого суще-



ства закрывался, некоторые зубы верхней и нижней челюстей сходились совсем по-человечески. Позвоночник, как и у нас, прикреплялся к черепу в самой нижней его части. (У шимпанзе и других приматов точка присоединения позвоночника располагается ближе к задней части черепа.) В то же время некоторые черты существа из Эфиопии были определенно обезьяньими. Массивные клыки, как у шимпанзе, покрывал лишь тонкий слой зубной эмали. Это существо не смогло бы есть много мяса или жестких растений; скорее всего, оно питалось только мягкими плодами и нежными листьями, как сегодняшние шимпанзе.

Мы уже встречали подобное необычное сочетание признаков — у ходячих китов, рыб с ногами и пальцами, беспозвоночных с зачатками мозга, характерного для позвоночных животных. Эфиопское создание, известное как *Ardipithecus ramidus*, — это не недостающее звено между человеком и шимпанзе, но небольшая веточка эволюционного дерева неподалеку от развилки, на которой разошлись пути наших предков и обезьян.

Хотя эфиопский *A. ramidus* остается представителем древнейших известных гоминид, ученые нашли окаменелости нескольких других видов гоминид, возраст которых намного превышает 3 млн лет. Все они найдены в Восточной Африке. На берегах озера Туркана в Кении палеоантрополог Мэв Лики обнаружила останки гоминид возрастом 4,2 млн лет; она назвала свою находку *Australopithecus anamensis*. В Эфиопии, Кении и Танзании несколько групп ученых откопали останки вида *A. afarensis*, обитавшего там примерно от 3,9 до 3 млн лет назад. Это, пожалуй, самый знаменитый из ранних гоминид, именно к этому виду принадлежит образец по имени Люси — почти полный скелет самки *A. afarensis*, найденный Дональдом Йохансоном. В этом же регионе Африки найдены и останки других древних гоминид, которые тоже могут оказаться самостоятельными видами.

Ранние гоминиды жили в беспокойные времена. Глобальное похолодание превращало сплошной ковер джунглей в Африке

южнее Сахары в рваные островки леса среди открытых саванн. Судя по всему, шимпанзе и гоминиды приспособились к переменам очень по-разному. Шимпанзе держались за уцелевшие кусочки густых лесов Центральной и Западной Африки, пережившие изменение климата. Тем временем гоминиды приспособились к более открытым местам обитания Восточной Африки.

По мере похолодания менялись и тела наших предков. Пальцы на ногах стали меньше походить на пальцы на руках. Ноги удлиннились. Голову и спину они начали держать прямее. Кевин Хант из Индианского университета высказал предположение о том, что все эти изменения были связаны с переходом на другую диету. Возможно, живя в джунглях, древние гоминиды залезали на деревья в поисках пищи, точно так же, как это делают сегодняшние шимпанзе. Но когда леса начали редеть, считает Хант, наши предки начали собирать плоды с низких деревьев и кустов. Они могли стоять на двух ногах, придерживаясь одной рукой за ветви деревьев, а второй собирая плоды. С изменением диеты изменилась и походка гоминид. Первые гоминиды, вероятно, медленно передвигались на четырех конечностях, опираясь на землю костяшками пальцев и поддерживая таким образом свой вес (сегодняшние шимпанзе ходят точно так же). Но обзаведясь длинными ногами, они начали ходить на двух ногах и перестали опираться на руки.

Переход к прямохождению стал одним из величайших изменений, пережитых нашими предками, но первые двуногие гоминиды вряд ли могли свободно ходить, как сегодня это делаем мы. При их коротких ногах гоминидам пришлось бы бежать, чтобы поспеть за нами. Они вынуждены были передвигаться куда медленнее и в результате проходили за день лишь небольшое расстояние. Возможно, ранние гоминиды ходили только от дерева к дереву, иногда протягивая руку за растущим особенно низко плодом, а чаще лазили по деревьям при помощи своих длинных рук и загнутых пальцев, которыми было так удобно хвататься

за ветки. (Вероятно, им приходилось также спасаться на деревьях от саблезубых тигров и других хищников.)

Тысячелетие следовало за тысячелетием, и гоминиды распространялись по большей территории. Появлялись новые виды, останки которых сегодня можно обнаружить на севере до самого Чада, а на юге вплоть до Южной Африки. А уже 2,5 млн лет назад гоминиды начали оставлять после себя нечто совершенно новое в палеонтологической летописи: каменные орудия.

Гоминиды изготавливали орудия, стуча одним камнем по другому и откалывая у него с края маленькие кусочки. В результате получались примитивные режущие кромки, которыми можно было рубить или скрести. Гоминиды — не единственные приматы, способные делать и использовать орудия. Орангутанги знают, как отломить с дерева ветку и очистить ее от побегов и листьев, чтобы этой веткой можно было искать в дуплах деревьев мед или термитов. Шимпанзе еще более изобретательны: они умеют пользоваться палками как зондами; могут положить орех в выемку на камне и разбить скорлупу другим камнем (так кузнец стучит молотком по наковальне). Они умеют использовать листья как губки, впитывающие воду, или как зонтики во время дождя, или как сухое сиденье в мокрую погоду. Но орудия, изобретенные гоминидами 2,5 млн лет назад, намного превосходили возможности их родичей-приматов.

Пределы возможностей шимпанзе продемонстрировал в начале 1990-х Николас Тот из Индианского университета. Он начал учить сообразительного бонобо по кличке Канзи, пойманного в дикой природе, делать каменные орудия. Несколько месяцев Канзи стучал камнями друг о друга, но без особого успеха. Отчасти его беда заключалась в том, что большие пальцы бонобо не имеют такой свободы движений, какой можем похвастаться мы и некоторые другие приматы. Поэтому он не мог наносить по камню точные удары и не получал желаемой формы. Кроме того — и это не менее важно, — его мозг был не в состоянии учесть

все переменные, задействованные в этом процессе: с какой силой бить, в каком точно месте нанести удар и т.д. Однако 2,5 млн лет назад наши предки сумели во всем этом разобраться.

Изготовление орудий, как и двуногость, могло возникнуть у предков человека в связи с климатическими переменами. Между 3 и 2 млн лет назад климат Южной Африки постепенно стал более сухим, чем прежде, и на месте бесконечных лесов появились столь же бесконечные травянистые равнины. Переселившись в саванну, гоминиды эволюционировали к еще более вертикальной осанке. Возможно, таким образом они приспособились к жизни на жарких открытых пространствах — ведь стоящее вертикально тело подставляет немилосердным лучам солнца минимальную площадь, да и ветерок лучше обдувает тело в таком положении. Антилопы и газели, хорошо приспособленные к условиям нового места обитания, быстро распространились по саванне: некоторые окаменелости свидетельствуют о том, что с костей этих животных соскребали мясо, а сами кости раскалывали. Возможно, гоминиды распространились по равнине вслед за этими млекопитающими и питались их мясом; либо довольствуясь остатками трапез львов и других крупных хищников, либо отгоняя хищников от добычи и загладевая ею.

Когда впервые были вытесаны каменные орудия, в Африке обитало по крайней мере четыре вида гоминид. Самые вероятные кандидаты на роль мастеров — первые представители нашего собственного рода, *Ното*. Древнейший известный *Ното* впервые появился в палеонтологической летописи около 2,5 млн лет назад, примерно в одно время с древнейшими каменными орудиями. Отличия *Ното* от других гоминид в некоторых отношениях просто поразительны. Их большие пальцы противопоставлены остальным, а мозг заметно крупнее. Судя по объему черепа, размер мозга по отношению к величине у древнего *Ното* был на 50% больше, чем у древнейших гоминид.

Хотя у гоминид не было ни челюстей гиены, ни львиных когтей, каменные орудия позволили им значительно обогатить свой рацион мясом. Большой мозг начал быстро эволюционировать, и всего через несколько сотен тысяч лет мозг гоминид уже вдвое превосходил по размеру мозг шимпанзе. Располагался такой громадный мозг в длинноногом теле, рост которого мог достигать 180 см. Исчезли всякие признаки лазания по деревьям. Этих гоминид, известных как *Homo ergaster*, первыми в истории можно назвать человеческими существами. Подобно человеку современного типа, *Homo ergaster* испытывали неодолимую тягу к странствиям и вскоре навсегда покинули Африку. 1,7 млн лет назад они добрались до Каспийского побережья и сегодняшней Грузии, где после них остались черепа и орудия.

Но орудиям этих обитателей Грузии — обычные оббитые кремни, которыми гоминиды пользовались уже в течение 800 000 лет, — суждено было очень скоро уйти в историю. Около 1,5 млн лет назад оставшиеся в Африке гоминиды совершили очередной технологический скачок и изобрели ручное рубило. Для изготовления этих новых орудий требовалось гораздо большее мастерство, чем для прежних моделей. Чтобы сделать такое рубило, надо было обколоть подходящий камень с обеих сторон, что придавало кромке гораздо большую остроту. Тот, кто этим занимался, не просто стучал камнем по камню, пытаясь получить хоть какую-то режущую кромку. Теперь мастер уже точно знал, что и как собирается сделать.

Изобретение ручного рубила и других новых каменных орудий позволило африканским гоминидам обеспечить свой растущий, постоянно голодный мозг достаточным питанием. Ткани мозга требуется в 22 раза больше энергии, чем такому же участку мышечной ткани в покое, а гоминиды теперь должны были кормить просто гигантский мозг. Возможно, теперь, вооружившись новыми инструментами, гоминиды могли добыть больше мяса — разделявая более крупных животных с крепкой шкурой,

но если судить по современным племенам охотников и собирателей, древние гоминиды питались не только мясом.

Даже сегодня охотники-собиратели, владеющие гораздо более совершенным оружием (к примеру, отравленными стрелами), не в состоянии поймать достаточно дичи, чтобы прокормить свои семьи. Антрополог из Университета Юты Кристен Хокс изучила рацион питания народа хадза, и сегодня живущего в саваннах Восточной Африки. Конечно, время от времени хадза едят мясо газели или какого-нибудь другого крупного животного, но куда более надежным источником калорий для них служат корни и клубни растений. Хокс предположила, что 1,5 млн лет назад женщины древних *Ното* начали использовать импровизированные каменные инструменты для изготовления палок-копалок, при помощи которых можно было выкапывать из твердой земли корни.

Прошло совсем немного времени после изобретения новых орудий, и из Африки хлынули новые волны мигрирующих гоминид. Около миллиона лет назад гоминиды начали переселяться в Азию и Европу, куда вместе с ними пришли и их орудия. Уже 800 000 лет назад гоминиды практически освоили Старый Свет, от Испании на западе до Индонезии на востоке. Но севернее 50-й параллели, то есть примерно южной оконечности Англии, эти гоминиды не заходили. Пройдет еще не одна сотня тысяч лет, прежде чем их потомки двинутся дальше на север. Как указала Хокс, 50-я параллель представляет собой естественную границу, севернее которой корнеплоды растут плохо из-за слишком холодного климата. Если сравнить гоминид с армией, которой движет желудок, то этот барьер стал для нее непреодолимым.

## ОРУДИЯ И ОТНОШЕНИЯ

Без орудий гоминиды не смогли бы распространиться так широко. Но какая эволюционная сила позволила им научиться делать **эти**

орудия? Зачем? Мозг гоминид на протяжении их истории увеличивался не равномерно, а довольно резкими скачками. Предполагается, что в какой-то момент этот увеличенный сложный мозг приобрел свойства, которые, собственно, и позволили его владельцам овладеть непростым искусством изготовления орудий. Но главный вопрос остается без ответа: как и почему возник большой мозг?

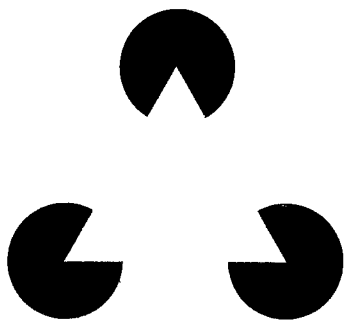
Возможно, ответ на него кроется в общественной жизни приматов и обезьян. В сравнении с другими приматы — очень общественные животные; они живут группами, заключают союзы и стараются занять место повыше в социальной иерархии. Приматы прекрасно сознают переменчивость своего общественного мира — часто даже лучше, чем мира физического. Так, зеленые мартышки до смерти боятся питонов, но не способны при этом распознать свежий след питона. С другой стороны, они четко отслеживают генеалогию и историю своей группы. Если две мартышки поссорятся, их родители обидятся и будут еще несколько дней задираТЬ друг друга.

В некоторых случаях приматы так остро чувствуют своих сородичей, что способны предугадать их реакцию и, соответственно, способны ввести их в заблуждение. Эндрю Уайтен, приматолог из шотландского Университета Св. Андрея, однажды наблюдал, как молодой медвежий павиан по кличке Пол незаметно подкрался ко взрослой самке по кличке Мел. Мел в этот момент занималась тем, что выкапывала из земли съедобную луковицу какого-то растения. Пол осторожно огляделся и убедился в том, что других павианов поблизости нет. Внезапно он испустил крик, и через несколько минут на зов отпрыска примчалась мать. Решив, что другая самка обижает ее сына, родительница согнала Мел с облюбованной ею небольшой горки. А Пол забрал себе выкопанную Мел луковицу.

Следует отметить, что самые большие обманщики и хитрые проныры из всех приматов — наши ближайшие родственники,

человекообразные обезьяны. «Иногда можно подумать, что высшие приматы читали Макиавелли, — говорит Уайтен. — Они очень озабочены подъемом по социальной лестнице и стараются заключать полезные для этого союзы. Но в то же время при случае они, в точности как посоветовал бы Макиавелли, готовы обманывать и предавать своих союзников».

Раньше специалисты по высшей нервной деятельности считали, что само по себе общественное сознание не представляет собой ничего особенного. Они считали, что мозг — это универсальная система обработки информации, которая решает любую поставленную задачу — социальную, физическую или любую другую — одними и теми же средствами. Но данные свидетельствуют о том, что работа мозга не универсальна. Судя по всему, это модульная система — совокупность нейронных сетей различной структуры, каждая из которых настроена на решение определенных задач.



Наш мозг содержит множество модулей для выполнения специализированных ментальных задач. К примеру, мозг сам дополняет видимые образы и делает из них цельное изображение. Эта оптическая иллюзия наглядно демонстрирует результат работы нейронов, дополняющих и завершающих контуры видимых предметов.

Чтобы представить себе, как работают подобные модули, взгляните на рисунок. Картинка представляет собой три кружка с вырезанными секторами, но вы видите на ней треугольник.



Дело в том, что в зрительном центре вашего мозга имеется модуль, задача которого — различать контуры объектов, даже если эти контуры видны не полностью. Именно этот модуль позволяет вашему мозгу выделить объект в поле вроде бы беспорядочных линий. Сигналы, идущие от глаз человека к мозгу, обрабатываются множеством различных модулей, у каждого из которых своя задача, — а затем мозг объединяет все результаты воедино и строит на их базе трехмерное изображение мира, которое, собственно, мы и воспринимаем.

Чтобы научиться использовать зрительные модули, не нужно ходить в школу; по существу, они формируются еще на стадии зародыша и созревают, когда человек рождается и начинает пользоваться глазами. Многие биологи считают, что эти модули представляют собой адаптационные приспособления и созданы естественным отбором, — что это такие же четкие отличительные признаки человека, как хобот у слона или клюв у птицы. А возникли они как средство решения задач, с которыми регулярно сталкивались наши предки. Скорее всего, зрительные модули сформировались у наших отдаленных предков-приматов при попытках распознать издали свои любимые плоды или не заблудиться в лесу. Вместо того чтобы 60 раз в секунду заново строить полную картину окружающего мира, мозг приспособился использовать модули и извлекать из потока зрительной информации только по-настоящему важные куски.

Если известно, что видим мы при помощи специальных нейронных модулей, то, может быть, мы пользуемся модулями и при восприятии окружающего общества. Психолог из Кембриджского университета Саймон Бэрон-Коэн, изучая людей с различными мозговыми расстройствами, сумел выделить некоторые модули социального интеллекта. Одна группа его пациентов страдает так называемым синдромом Уильямса. Эти люди имеют IQ от 50 до 70, иногда плохо различают право и лево и не могут складывать числа. Тем не менее люди с синдромом

Уильямса нередко оказываются талантливыми музыкантами и ненасытными читателями. Они очень общительны и отличаются эмпатией.

Пытаясь разобраться в социальных способностях людей с синдромом Уильямса, Бэрон-Коэн придумал специальный тест. Он отобрал в журналах фотографии особенно выразительных лиц и вырезал из них полоски с глазами. Он показывал эти полоски участникам эксперимента и просил определить по глазам, какие эмоции испытывает человек на картинке. Ответы людей с синдромом Уильямса полностью совпали с ответами контрольной группы здоровых взрослых людей. Может быть, структура мозга у пациентов с синдромом Уильямса и нарушена, но способности заглянуть человеку в душу они не утратили.

Тот же эксперимент с детьми-аутистами принес Бэрон-Коэну противоположные результаты. Аутизм не означает автоматически низкого IQ; случается, что аутисты обладают блестящим интеллектом. Но все они стабильно испытывают трудности с усвоением действующих в обществе правил и плохо понимают, что думают и чувствуют другие люди. Никому из аутичных подопечных Бэрона-Коэна не удалось определить чувства и настроение человека по картинкам с глазами. Что-то в структуре мозга не позволяет таким людям ставить себя на место других.

Не исключено, что работа Бэрона-Коэна продемонстрировала нам контуры модулей, ответственных за социальный интеллект. При повреждении этих модулей — к примеру, у аутистов, — остальные формы интеллекта могут сохраниться в полном объеме. А люди с синдромом Уильямса наглядно демонстрируют, что мозговые нарушения могут затрагивать некоторые формы интеллекта и не влиять при этом на социальные способности.

Возможно, одним из важнейших факторов возвышения рода человеческого, помимо эволюции приматов в целом, стала эволюция социального интеллекта. Об этом свидетельствует масса мозга различных приматов. Робин Данбар, психолог из Ливер-

пульского университета, провел сравнительный анализ размеров мозга, в особенности коры — самого внешнего слоя мозга, где осуществляется высшая умственная деятельность. У некоторых приматов — к примеру, у лемуров, — неокортекс относительно невелик в сравнении с массой тела. У других — к примеру, у шимпанзе и павианов — наоборот. Данбар выявил поразительную закономерность: размеры неокортекса у приматов тесно связаны со средним размером группы у этого вида. Чем больше группа, тем больше неокортекс.

Жизнь в большой группе, решил Данбар, предъявляет серьезные требования к социальному интеллекту особи. Такие приматы должны отслеживать свои отношения с другими членами группы, помнить друзей и обидчиков, узнавать родственников и знакомых. В этих видах естественный отбор поддерживает мутации, связанные с увеличением неокортекса и повышением его производительности, — ведь такие мутации дают приматам возможность развивать социальный интеллект. Неудивительно, что приматы с большим неокортексом чаще обманывают своих сородичей, чем представители других видов.

Если мы, люди, подчиняемся тем же правилам, что и высшие приматы, — а это разумное предположение, потому что мы с вами тоже приматы, — то вывод однозначен: в развитии нашего необычайно большого мозга решающую роль сыграла эволюция социального интеллекта.

## ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛИ СОЗНАНИЯ

Древнейшие гоминиды были очень похожи на шимпанзе. Похожи во всех отношениях — строением тела, тем, в каких местах они предпочитали селиться, даже размером мозга. Вероятно, их общественная жизнь тоже очень напоминала общественную жизнь современных шимпанзе и требовала сравнимого социального интеллекта. Ученые пытаются понять, так ли это,

и определить, насколько шимпанзе понимают своих сородичей. Происходит ли их макиавеллиева хитрость от понимания того, что другие шимпанзе тоже обладают сознанием, точно таким же, как их собственное? Способны ли шимпанзе это понять? Есть ли у них то, что психологи называли бы «моделью сознания»\*?

Исследования шимпанзе показывают, что если такая модель у шимпанзе и есть, то находится она в зачаточном состоянии. Они знают, к примеру, что могут и чего не могут видеть их сородичи, другие шимпанзе группы. Гарвардский приматолог Брайан Хэйр с коллегами сумел показать это при помощи серии экспериментов с доминантными и подчиненными шимпанзе одной группы. Всякий раз, когда шимпанзе конфликтуют из-за пищи, побеждают доминантные особи. В экспериментах Хэйра в клетку с разных сторон одновременно запускали двух самок шимпанзе — доминантную и подчиненную. В клетке при этом лежали два банана или других фрукта, причем подчиненная самка могла понять, что доминантная видит только один из них (с ее стороны второй был заслонен куском пластиковой трубы). Подчиненная самка видела это и решительно направлялась к скрытому от второй самки плоду, не желая вступать в конфронтацию с доминантной особью из-за плода, видимого обеим.

«Чем дальше, тем больше мы понимаем, что у шимпанзе имеются зачатки некоторых элементов модели сознания, — комментирует гарвардский специалист по шимпанзе Ричард Рэнгем. — Мы теперь знаем, что шимпанзе может посмотреть на другого шимпанзе, понять, что тот видит, и затем построить свою стратегию соответственно. Нам не известны другие виды, кроме человека и шимпанзе, которые были бы на это способны».

Но шимпанзе, похоже, не в состоянии до конца проникнуть в сознание другого шимпанзе. Дэниел Повинелли, приматолог

\* В научной и справочной литературе встречается несколько переводов термина «theory of mind»: «теория разума», «теория сознания», «модель сознания», «модель психического». — *Прим. ред.*

из Университета юго-западной Луизианы, провел эксперимент по сравнению социального интеллекта шимпанзе и двухлетних детей. Подопытные должны были жестом попросить у одного из двух экспериментаторов кусочек чего-нибудь вкусного. При этом у одного из экспериментаторов был завязан рот, у другого — глаза. Двухлетние дети понимали, что человек с завязанными глазами не увидит их жеста и обращались к человеку с завязанным ртом. Шимпанзе, с другой стороны, могли с равной вероятностью адресовать свои жесты любому из двух экспериментаторов.

Эксперимент Хэйра показывает, что шимпанзе понимают кое-что в зрительном восприятии — знают, к примеру, что барьер может помешать другому шимпанзе увидеть какую-то вещь. С другой стороны, из эксперимента Повинелли ясно, что шимпанзе не понимают до конца смысла воспринимаемых образов — не понимают, что по другую сторону от глаз есть сознание, которое, собственно, и обрабатывает увиденное.

Эти исследования позволяют предположить, что общий предок шимпанзе и человека на самом деле не мог осознать, что остальные его сородичи, члены того же вида, тоже обладают сознанием и способны думать точно так же, как он. Иными словами, у него не было модели сознания. Должно быть, наши предки-гоминиды приобрели ее в процессе эволюции уже после того как отделились от шимпанзе 5 млн лет назад.

И Эндрю Уайтен, и Робин Данбар утверждают, что гоминиды начали формировать свою модель сознания в процессе постепенного переселения из джунглей сначала в более открытые леса, а затем и в саванны. Они начали регулярно встречаться с крупными опасными хищниками, такими как львы и леопарды, и не могли уже при неожиданной встрече с ними быстро укрыться на дереве. На открытых равнинах гоминидам пришлось жить более крупными стаями, чем их предкам в густых непроходимых джунглях. Жизнь в большой группе должна была дать толчок

эволюции социального интеллекта, для чего потребовался более крупный мозг. В процессе социальной эволюции гоминиды обрели способность «читать мысли». Теперь, взглянув на глаза сородича, они могли понять не только, что он видит и чего не видит, но и о чем думает. Они научились читать язык тела и размышлять об уже совершенных действиях других людей. Одновременно пришло умение лучше обманывать друг друга, заключать союзы и помнить о поступках друг друга.

Уайтен полагает, что, раз начавшись, такая эволюция стала развиваться по спирали и быстро вышла из-под контроля. Любая особь, которой повезло родиться с более четким представлением о разуме окружающих, могла легко обманывать остальных членов своей группы и добиваться максимального репродуктивного успеха. «А это порождает эволюционное давление на остальных в направлении лучшего распознавания обмана, — замечает Уайтен. — А для распознавания обмана надо лучше представлять, что происходит в голове у сородича. Своего рода чтение мыслей».

Не исключено, что в эволюции гоминид появилась положительная обратная связь, обеспечившая стремительный рост социального интеллекта и, соответственно, стремительное увеличение размеров мозга. В конце концов эта эволюционная спираль привела к полному изменению социальной структуры общества гоминид. Доминантному самцу становилось все труднее поддерживать иерархию в стае, потому что его подчиненные становились все умнее. Общество гоминид превратилось из шимпанзе-подобной стаи в эгалитарную структуру. Каждый член группы применял к сородичам собственную модель сознания и старался добиться, чтобы никто не обманывал группу и не пытался единолично командовать.

Только в эгалитарном обществе, утверждает Уайтен, гоминиды могли до конца использовать все преимущества образа жизни охотников-собирателей. Мужчины могли вместе охотиться по единому плану и при этом спокойно, не мучаясь подозрениями,

оставлять на стоянке женщин и детей. А женщины могли вместе организовывать собственные экспедиции за клубнями и другими растениями. Орудиями и сотрудничеством гоминиды завоевали себе в саванне неплохую экологическую нишу.

«Модель сознания возвышает нас до нынешнего уровня, — говорит Уайтен, — потому что мы можем так сильно сочувствовать другим. В то же время она позволяет нам быть намного хитрее и коварнее любого другого вида на планете.

## ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЕ СТРАСТИ

Больше миллиона лет наши предки-гоминиды жили в африканских саваннах; они питались падалью или охотились, собирали съедобные растения. Именно в это время, ставшее как бы одной долгой прелюдией к современной жизни, наши предки впервые стали полагаться на орудия труда и зависеть от них; кроме того, как говорит Данбар, они стали жить сложными сообществами и понимать сородичей-гоминид посредством своей модели сознания.

Логично предположить, что в этом мире естественный отбор должен был продвигать определенные способности и модели поведения. Некоторые из этих умений были необходимы для выживания — способность изготовить каменное орудие, к примеру, или хорошее зрение, позволявшее издали заметить добычу. Другие способности и модели поведения помогали найти пару. Считается, что наши плейстоценовые предки находились под влиянием тех же мощных эволюционных сил, что заставляют павлина отращивать хвост, а льва убивать чужих детенышей.

Если поведение гоминид определялось стремлением к сексу и продолжению рода, то, может быть, и нами сегодня руководят все те же плейстоценовые страсти? Мало какие вопросы, связанные с эволюцией, порождали такой вал споров, такую злобу и ненависть. Одни ученые утверждают, что да, нами руководят эти же

страсти; мало того, эти ученые утверждают, что мы можем расчленить их, проанализировать и извлечь на свет божий их первоначальный адаптивный смысл и ценность. Оппоненты же говорят, что поведение человека давно отошло от эволюционного причала: любая попытка объяснить какие-либо современные эмоции или традиции адаптивными механизмами, возникшими в африканской саванне миллион лет назад, — это научная гордыня чистой воды. Мало того, что в этих спорах природа противопоставляется воспитанию; разногласия затрагивают самую сердцевину, самую суть наших представлений об эволюционном прошлом и нашего подхода к пониманию этого прошлого.

Эту болезненную психологическую тему открыл в 1975 г. Эдвард Уилсон из Гарварда в знаковой книге «Социобиология». Большая часть книги посвящена тому, как замечательно эволюционная теория помогает ученым разобраться в общественной жизни животных. То, что поначалу кажется эволюционным парадоксом, при подробном и тщательном изучении обретает смысл. Стерильные рабочие муравьи помогают передать потомству свои гены, потому что все они состоят в тесном родстве. Когда лев-самец, завоевав главенство в прайде, убивает львят, он тем самым вызывает у их матерей течку и добивается, чтобы они вынашивали его собственных детенышей.

«А теперь посмотрим на человека, — написал Уилсон в начале последней главы «Социобиологии», — как если бы мы были зоологами с другой планеты и хотели составить полный каталог всех общественных видов на Земле». Люди — приматы, живущие большими сообществами. Они происходят от гоминид, у которых в свое время, вероятно, развился реципрокный альтруизм и способность делиться пищей. Бартер, обмен и услуги — а вместе с ними ложь и обман — стали принципиально важной частью раннего человеческого общества. В этих ранних обществах роли мужчин и женщин разделились; мужчины охотились и приносили добычу, женщины воспитывали детей и собирали



съедобные растения. Кроме того, эволюцию человека, рассуждал Уилсон, должен был направлять половой отбор. «Агрессивность приходилось сдерживать, и прежние формы доминирования, принятые у приматов, сменились сложными общественными умениями, — писал он. — Молодым самцам выгодно было вписаться в группу, сдерживая свою сексуальность и агрессию, и дожидаться своей очереди занять лидирующее положение».

Попытавшись превратить психологию в эволюционную биологию, Уилсон произвел громкую сенсацию. «Социобиология» стала бестселлером и темой передовицы в *New York Times*. Поведение человека, заявила газета, это «возможно, такой же результат эволюции, как строение кисти руки или размер мозга». Но теория Уилсона вызвала и немало враждебности, исходившей в значительной части от левого крыла академического сообщества. Левые ученые обвинили Уилсона в том, что при помощи науки он стремится оправдать статус-кво, найти объяснение и, опять же, оправдание всем видам неравенства, существующим в современной жизни. Несогласные врывались на научные конференции, где выступал с докладами Уилсон, и скандировали анти-социобиологические лозунги, а однажды даже облили его водой.

Более сдержанные критики напоминали, что человечество не укладывается в жесткие рамки социобиологии. Не исключено, что структуру муравьиной семьи и тот факт, что стерильные муравьи заботятся о детях царицы, можно объяснить совокупной приспособленностью, но как объяснить множество форм, которые принимает семья в человеческом обществе? Возьмем, к примеру, народ нуэр, проживающий на юге Судана. Здесь к бесплодным женщинам относятся как к мужчинам; им позволено жениться на других женщинах, детей которым делают другие мужчины. Дети, рожденные в таком браке, считаются детьми бесплодной женщины. Такая семья могла возникнуть только в рамках культурной традиции, здесь нет никакого генетического императива.

И сегодня многие антропологи продолжают оспаривать положения социобиологии, выдвигая подобные аргументы. Но еще в 1980-е гг. некоторые из несогласных начали замечать, что их собственные данные не только не противоречат этой теории, но даже подтверждают ее. Одной из таких несогласных стала Кристен Хокс. Свою карьеру антрополога она начинала среди народа бинумариен, живущего на нагорьях Новой Гвинеи; Хокс выясняла, как родство в этом племени влияет на поведение. Она изучала, к примеру, категории, при помощи которых люди бинумариен классифицируют родственников, и традиционные схемы взаимопомощи. Только после возвращения в США Хокс всерьез задумалась о том, могла ли эволюция влиять на человеческую культуру, и решила проверить социобиологию при помощи привезенных из экспедиции данных.

Если Уилсон прав, то люди бинумариен должны четко различать разные степени генетического родства. В конце концов, совокупная приспособленность требует, чтобы человек сначала помогал родному брату, а потом уж двоюродному. Но Хокс выяснила, что в языке бинумариен нет соответствующих понятий, и такое социобиологическое различие невозможно. К примеру, двое мужчин, которых на Западе назвали бы кузенами, у бинумариен называются братьями. (В западном обществе этот словарь тоже неоднозначен: дядей может быть и брат кого-то из родителей — и тогда у вас примерно четверть общих генов, — и муж вашей тети — и тогда генетически вы вообще не родственники.)

На первый взгляд кажется, что Хокс нашла серьезный аргумент против социобиологии: что генетическая близость родственников не влияет на отношение к ним людей бинумариен. Но оказалось, что под слоем языковых отношений можно увидеть и действие совокупной приспособленности. В пищу бинумариен выращивают свиней и сладкий картофель на полях. Каждый взрослый член сообщества обрабатывает собственное поле, так что если кто-то кому-то помогает, то лишь за счет вре-

мени, которое он мог бы потратить на собственном поле. Хокс обнаружила, что, как бы ни назывались здесь степени родства, в реальности бинумариен тратят больше времени на помощь генетически близким родственникам, чем тем, кто связан с ними более отдаленным родством.

Если в 1980-е некоторые антропологи изменили свое отношение к социобиологии, то и сама социобиология стала более гибкой, обрела нюансы. Ее сторонники уже не утверждали, что гены однозначно определяют поведение человека; вместо этого они показывали, как гены регулируют поведение животных, помогают им принимать неосознанные решения по выбору пары и воспитанию детенышей. Эти адаптивные стратегии — «правила принятия решений», как назвал их Стивен Эмлен, — позволяют животным в разных обстоятельствах вести себя по-разному.

Сам Эмлен показал, как действуют сложные правила принятия решений среди птиц-пчелоедов, которых он изучает в Кении. Молодая самка пчелоеда может в первый же свой взрослый сезон сама завести птенцов, помочь паре родителей с малышами в соседней гнездовой норке или вообще пропустить этот сезон. Если к ней проявит интерес доминантный самец постарше, не имеющий пары, она почти наверняка оставит родительское гнездо и родовую территорию и поселится с ним в другой части колонии — особенно если у него уже имеется группа помощников, которые будут вместе с новой парой выкармливать их птенцов. Но если молодой самке придется выбирать только из молодых субдоминантных самцов, то она, скорее всего, откажет ухажерам, потому что у юных самцов редко бывают помощники, да и отец жениха будет донимать его требованиями вернуться и помочь с выкармливанием следующего выводка птенцов.

Эмлен показал, что эволюционные силы могут создать тонкую и гибкую стратегию даже в поведении несчастной птицы — животного с крошечным мозгом, вряд ли способным вместить много мыслей. Почему же у гоминид не могли появиться та-

кие же сложные — и бессознательные — правила принятия решений?

Новое поколение социобиологов сосредоточило свое внимание на характере эволюционного давления, которое могли испытывать наши предки в африканской саванне. Больше миллиона лет наши предки жили в неизменных условиях: на заросших травой равнинах и одним и тем же способом: маленькими группами охотников-собирателей. Они убивали добычу при помощи каменных орудий или подбирали падаль, а кроме того, пищей им служили выкопанные из земли клубни и другие растения. На протяжении миллиона лет они подыскивали себе пару и воспитывали детей в одних и тех же условиях. Со временем и тело человека, и его сознание приспособились к такому образу жизни. Возможно, в процессе адаптации в мозгу наших предков развились соответствующие нейронные модули, облегчавшие жизнь в саванне и настроенные именно на нее. Эти модули напоминали лезвия складного ножа — каждое для своей задачи в мире охотников-собирателей.

Многие современные социобиологи считают, что миллион лет, проведенный человеком в саванне, конечно, остался в прошлом, но в эволюционном плане он не прошел бесследно. Индустриальная цивилизация существует всего пару веков, и всего несколько тысяч лет назад человечество перешло от охоты и собирательства к сельскому хозяйству. Вместе это составляет лишь долю процента от общего времени эволюции гоминид. Возможно, жизнь человека за эти несколько тысяч лет сильно изменилась, но времени прошло недостаточно, чтобы естественный отбор успел заметно изменить нашу психологию.

Посмотрев на себя таким образом, мы, может быть, сумеем понять, почему одни умственные задачи нам даются легче, чем другие. Такой подход к изучению мышления, получивший название эволюционной психологии, предложили супруги психолог Леда Космидес и антрополог Джон Туби из Калифор-

нийского университета в Санта-Барбаре. Космидес и Туби попытались воспользоваться таким подходом для интерпретации некоторых странных результатов психологических экспериментов. В частности, Космидес провела классический психологический эксперимент по логике, известный как тест Вейсона, с собственными дополнениями. Представьте, что перед вами раскладывают четыре карточки, на которых написано Z, 3, E и 4. Вам говорят, что на оборотной стороне карточек тоже что-то написано и что существует общее правило, по которому гласной букве на лицевой стороне всегда соответствует четное число на обороте. Какую карту или какие карты вам нужно перевернуть, чтобы проверить, выполняется ли здесь это правило?

Правильный ответ состоит в том, что перевернуть надо карточки E и 3. (Карточку 4 проверять не обязательно, поскольку даже если на обороте у нее обнаружится согласная буква, правило при этом не будет нарушено.) Как правило, люди очень плохо выполняют тест Вейсона. Но Космидес показала, что, если перевести условие задачи в социальные термины, доля правильных ответов резко повышается. Представим, к примеру, что перед вами выкладывают четыре карточки с надписями «18», «лимоннад», «25», «пиво» и объясняют, что на одной стороне карточек обозначен возраст людей в баре, а на другой — напитки, которые они пьют. Какие карточки нужно перевернуть, чтобы определить, не нарушает ли кто-нибудь закон, запрещающий употреблять алкогольные напитки до 21 года?

Правильный ответ: перевернуть надо карточки «18» и «пиво». Его дает почти каждый, кто проходит тест в таком варианте, хотя логика в его основе лежит точно такая же, как и в классическом тесте Вейсона. Космидес и Туби утверждают, что мы так хорошо справляемся с этой формой теста потому, что приспособлены к отслеживанию всевозможных социальных сложностей. У наших предков в процессе эволюции появился модуль для распознавания обманщиков, потому что в группе охотников-собираателей,

где мясо, орудия и другие ценные вещи должны делиться на всех, люди выигрывают, если вовремя заметят, что кто-то в группе пытается поживиться за счет остальных.

Эволюционные психологи утверждают также, что нашим предкам требовались особенно мощные модули, определяющие поведение человека по отношению к противоположному полу и к своим детям. Именно от них в конечном итоге зависит репродуктивный успех человека. Получается, что мы ничем не отличаемся от других животных. Самка павлина выбирает партнера согласно выработанным эволюцией правилам принятия решений, но она, конечно, не составляет мысленно уравнений и не взвешивает плюсы и минусы различных решений. Просто все, что она видит, слышит и ощущает, подталкивает ее ко вполне определенным действиям. Точно так же и люди. Человек влюбляется не потому, что холодный расчет показал ему все генетические преимущества такого союза. Но, если верить эволюционным психологам, такие чувства, как любовь, вожделение и ревность, запускаются адаптационными механизмами в нашем мозгу.

Какие качества, к примеру, человеку кажутся привлекательными? В конце концов, именно оценка — первый шаг к выбору партнера. Многие животные демонстрируют сильную тягу к симметрии, возможно потому, что это довольно надежный внешний индикатор здоровья. Не исключено, что к людям это правило тоже применимо. В одном из исследований Дэвид Уэйнфорт из Университета Мехико измерил параметры мужских лиц в Белизе и выяснил, что мужчины с несимметричными лицами чаще оказываются жертвами серьезных заболеваний.

Нередко симметрия или асимметрия лица незаметна глазу и не воспринимается на сознательном уровне; тем не менее она оказывает заметное влияние на наши представления о привлекательности того или иного человека. Дэвид Перретт из Университета св. Андрея обработал при помощи компьютера

фотографии лиц, приведя каждую из них к более или менее симметричному виду. После этого он показал испытуемым группу оригинальных фотографий и их обработанные версии и попросил распределить их в порядке привлекательности. Как правило, участники эксперимента ставили симметричные выше несимметричных версий.

Возможно, наши плейстоценовые предки оценивали потенциальных партнеров не только по лицу. У девочек в период полового созревания появляются определенные внешние черты, которые сообщают наблюдателю, что она вступает в репродуктивный возраст. У них расширяются бедра — в них накапливается жир, который во время беременности сможет послужить резервным запасом энергии. У способных к деторождению женщин объем талии обычно составляет 67–80% объема бедер. У мужчин, детей и женщин постклимактерического возраста эти параметры гораздо ближе друг к другу — на уровне 80–95%. Тонкая по отношению к бедрам талия коррелирует с юностью, здоровьем и плодovitостью.

Судя по всему, человек очень тонко настроен на восприятие всех этих особенностей. Психолог Техасского университета Девендра Сингх провел интересное исследование на эту тему. Он показывал мужчинам и женщинам разных возрастов и культур фотографии женщин с разным отношением объема талии к объему бедер. Как правило, испытуемые признавали женщин с отношением 60–70% привлекательными. Вкусы и представления о женской красоте меняются, но женщины с тонкой талией и широкими бедрами неизменно кажутся привлекательными. Сингх обнаружил также, что хотя модели «Плейбоя» и победительницы конкурсов красоты с годами заметно постройнели, отношение талия–бедра у них осталось примерно прежним. Не исключено, что корни привлекательности таких женщин уходят больше чем на миллион лет в прошлое, когда мужчину при выборе пары в первую очередь заботила ее плодovitость.

## НЕ ТАК УЖ СЧАСТЛИВО ДО КОНЦА СВОИХ ДНЕЙ

Между самцами и самками у животных неизбежно возникает конфликт интересов. Самец теоретически может за свою жизнь стать отцом тысяч детенышей, тогда как у самки возможностей гораздо меньше, да и энергии она на каждую попытку тратит гораздо больше. Наши плейстоценовые пращуры наверняка сталкивались с тем же эволюционным конфликтом. Если мужчине рождение ребенка, как правило, обходилось достаточно дешево, то женщины вынуждены были нести неизбежную дополнительную нагрузку. Девять месяцев они ходили беременные, рисковали умереть от самых разных осложнений до и в процессе родов и к тому же тратили тысячи дополнительных калорий во время выкармливания малыша.

В результате этого конфликта у мужчин и у женщин сформировались разные критерии привлекательности партнера. Как в плейстоцене, так и теперь качества, которые мы ищем в потенциальных партнерах, разные. Психолог из Техасского университета Дэвид Басс провел долгосрочное исследование нескольких тысяч мужчин и женщин 37 различных культур от Гавайских островов до Нигерии. Всем участникам задавался один и тот же вопрос: их просили перечислить в порядке приоритета качества, которые были бы для них главными при выборе партнера для длительных отношений или брака. Выяснилось, что в среднем женщины предпочитают мужчин постарше, а мужчины — более молодых женщин. Мужчины ценят физическую привлекательность выше, чем женщины, а женщины особенно ценят в потенциальном супруге потенциал кормильца-добытчика. Басс считает, что в этих универсальных предпочтениях проявляются адаптационные механизмы, которые эволюция дала еще нашим плейстоценовым предкам: женщин привлекают мужчины, которые смогут прокормить их детей, а мужчин больше интересует плодовитость и здоровье потенциальной партнерши.



Эволюционные психологи утверждают, что фундаментальный конфликт интересов заставляет мужчин и женщин вести себя по-разному. Исследования подтверждают общеизвестный в общем-то факт: мужчины гораздо охотнее вступают в сексуальные отношения, чем женщины. Мужчины высказывают желание иметь в течение жизни вчетверо больше сексуальных партнеров, чем женщины — мужчин; они вдвое чаще предаются сексуальным фантазиям. Мужчины не допускают длительных простоев и гораздо быстрее начинают подыскивать себе новую партнершу, при этом они охотнее соглашаются на секс с совершенно незнакомой женщиной.

Однако тот факт, что женщины в плейстоцене стали разборчивыми в отношении мужчин, вовсе не означает, что они были абсолютно верны своим партнерам. Как мы убедились в предыдущей главе, очень многие самки в животном мире обманывают своих партнеров. Самки моногамных птиц, к примеру, нередко не прочь спариться с каким-нибудь залетным самцом, а их обманутые партнеры вынуждены выкармливать чужих птенцов. Вообще говоря, обманывая партнера, самка подвергает себя опасности, потому что он может бросить гнездо. Но нельзя исключить, что выгода в данном случае перевешивает риск, — если, конечно, ей удастся найти для своих птенцов отца с более здоровыми генами. Вполне возможно, что у женщин плейстоцена сложились примерно такие же правила принятия решений в отношении неверности, — и возможно, сегодняшние женщины их унаследовали.

Иэн Пентон-Воук из Университета св. Андрея попытался понять, какие мужские лица привлекают женщин. Он создал изображения «женственных» и «мужественных» мужских лиц на компьютере и выяснил, что в период овуляции женщины предпочитают маскулинные лица. Возможно, черты, которые делают лицо мужественным, — к примеру, нависающие брови, выступающая нижняя челюсть, четко очерченные скулы, — рабо-

тают как хвост у павлина и сообщают наблюдателю о хороших генах их обладателя. Для формирования этих черт необходим тестостерон, а тестостерон подавляет иммунную систему мужчины. Такой обмен делает мужественное лицо дорогим удовольствием для владельца; ясно, что позволить себе его могут только мужчины с сильной иммунной системой.

По данным исследования получается, что женщин сильнее всего влекут маскулинные лица именно в тот момент, когда вероятность зачатия для нее максимальна. Пентон-Воук считает, что в этом факте проявляется адаптационный механизм, назначение которого — обеспечить хорошие гены для ребенка любой ценой. В период овуляции женщина может быть склонна к роману с маскулинным мужчиной, а в остальное время — больше интересоваться мужчиной, который помогает ей содержать и воспитывать детей.

Если считать, что эволюцию наших предков двигал подобного рода конфликт интересов, то не исключено, что некоторые не самые приглядные наши эмоции возникли когда-то как адаптационные механизмы. Дэвид Басс предположил, что ревность — вовсе не патология, а один из таких механизмов. Явных признаков измены не существует, и люди часто не могут определить, что партнер или партнерша им изменяют. Мужчины не знают даже, когда у женщины происходит овуляция; в отличие от самок других приматов, женщина в этот момент не щеголяет набухшими гениталиями. В условиях такой неопределенности ревность, по мнению Басса, обретает очевидный эволюционный смысл. «Модуль ревности» в мозгу позволяет человеку непрерывно отслеживать тончайшие признаки предательства, которые рациональное сознание просто игнорирует. («Что это, новый одеколон?») Если совокупность мелких признаков преодолевает определенный порог, модуль ревности инициирует реакцию, которая могла бы устранить угрозу — или покончить со сложившейся ситуацией.

Басс проводит множество экспериментов и исследований, призванных подтвердить адаптивную ценность ревности. Если поместить на лбу мужчины электроды, можно измерить уровень стресса, который он испытывает при мысли об измене сексуальной партнерши. Мысль о сексуальных контактах партнерши с другим мужчиной вызывает у мужчины стресс более сильный, чем мысль о том, что она может испытывать к другому мужчине эмоциональную привязанность. (Мысль о сексуальном предательстве заставляет сердце мужчины биться на пять ударов в минуту чаще, что соответствует эффекту от трех чашек крепкого кофе.)

Женщины, в свою очередь, демонстрируют противоположные реакции. Эмоциональное охлаждение партнера вызывает у них более сильный стресс, чем его сексуальная измена. Следует отметить, что результаты этого исследования оказались одинаковыми не только в США, но и в Европе, Корее и Японии. Исходя из этого, Басс делает вывод: сексуальная измена женщины — самая серьезная угроза для репродуктивного успеха мужчины; с другой стороны, эмоциональная измена мужчины говорит женщине о том, что партнер скоро бросит ее и прекратит заботиться о детях.

Если Басс прав, то эволюционная психология может предложить лучший способ справиться с ревностью, чем традиционная психология. Как правило, психотерапевты относятся к ревности как к чему-то неестественному и считают, что ее можно устранить, либо повысив самооценку пациента, либо снизив его чувствительность к мысли об измене супруги. Басс не оправдывает, естественно, темные проявления ревности — жестокость, физическое насилие над женщиной и слежку, — но он доказывает, что бесполезно делать вид, что от нее можно просто так избавиться. Вместо этого, предлагает он, людям следовало бы использовать ревность для укрепления, а не для разрушения отношений. Вспышка ревности может напомнить каждому из нас,

что нельзя расслабляться и принимать сложившиеся отношения как данность.

Психологические адаптационные механизмы, выработанные нашими предками, вовсе не обрекают нас на страдания, утверждают Басс и другие эволюционные психологи. Мы просто должны признавать их реальность и искать обходные пути. К примеру, в настоящее время считается, что приемные родители должны относиться к приемным детям точно так же, как к своим биологическим детям. Эволюционные психологи считают, что это нереально. Они утверждают, что родительская любовь, которая побуждает человека жертвовать очень многим ради своих детей, — это еще один адаптационный механизм, призванный обеспечить дальнейшее существование наших генов. Если это правда, приемным родителям намного труднее испытывать настоящую родительскую любовь к генетически чужим детям.

Существует леденящая кровь статистика, полностью подтверждающая эту гипотезу. В конфликте между приемными родителями и приемными детьми не участвуют биологические узлы, которые могли бы сгладить напряжение, поэтому такие конфликты гораздо чаще развиваются по спирали и выходят из-под контроля. Оказывается, жестокому обращению приемные дети подвергаются значительно чаще, чем родные; вообще, быть приемным ребенком — самый сильный фактор риска в этом отношении. А вероятность быть убитым кем-то из родителей для приемного ребенка в 40–100 раз выше, чем для биологического. Это не означает, что все приемные родители — воплощение зла; они просто не могут достичь тех высот терпения и толерантности, на которые способны биологические родители. И это, считают эволюционные психологи, указывает нам путь к снижению риска подобных конфликтов: приемные родители должны сознавать, что на пути к созданию счастливой семьи им придется преодолевать дополнительные трудности, с которыми биологические родители просто не сталкиваются.

## МОДУЛЬ ИЛИ МИРАЖ

Новое поколение социобиологов привлекает новых критиков — и в их числе обнаруживается немало биологов-эволюционистов. Они утверждают, что социобиологи слишком легко делают из своих данных уверенные выводы и что в некоторых случаях они просто не понимают, как на самом деле работает эволюция.

Возьмем, к примеру, книгу под названием «Естественная история сексуального насилия», которая вышла в 2000 г. и наделала много шума. Два биолога, Рэнди Торнхилл и Крейг Палмер, выдвинули теорию о том, что сексуальное насилие — это адаптационный механизм, помогающий повысить репродуктивный успех тем мужчинам, для которых в противном случае женщина практически не доступна. Принудительный половой акт случается не только у людей; зафиксированы случаи принуждения у некоторых видов млекопитающих, птиц, насекомых и других животных. Сам Торнхилл показал, что насилие — обычная часть брачной стратегии, к примеру, скорпионницы. Самцы скорпионницы в брачный период ведут себя по-разному. Одни привлекают самок — собирают целую кучу убитых насекомых, их любимую пищу, и отгоняют других самцов, которые пытаются тоже поучаствовать в трапезе. Другие выделяют на лист капельку слюны и ждут, пока появится какая-нибудь самка и съест лист вместе с секретом. Третьи просто хватают самку и принуждают ее к спариванию.

Торнхилл обнаружил, что самые крупные самцы — те, что собирают в кучку тела вкусных насекомых и привлекают больше всего самок. Средние по размеру самцы скорпионницы обходятся тем, что предлагают самкам свою слюну; они привлекают меньше самок. Наконец, самые мелкие самцы нападают и берут силой. Но вообще-то любой самец скорпионницы в соответствующих условиях может воспользоваться любой из этих стратегий. Так, если самые крупные самцы исчезают, средние

начинают собирать для самок роскошный стол, а мелкие — пускать слюни.

Торнхилл и Палмер утверждают, что наши предки тоже могли включать сексуальное насилие в число своих сексуальных стратегий — в случае, когда все прочие средства не срабатывали. В качестве доказательств они пишут, что жертвы насилия — это, как правило, женщины в лучшем репродуктивном возрасте; подразумевается, что неосознанная цель насильника — продолжение рода. Из жертв насилия особенно яростно сопротивляются насильнику опять же женщины репродуктивного возраста — будто бы потому, что их потери в плане продолжения рода могут быть куда больше, чем у женщин других возрастов. Кроме того, Торнхилл и Палмер утверждают, что, согласно исследованиям, женщины репродуктивного возраста страдают от насилия больше других. Они «оплакивают» потерю возможности самим выбирать партнера при помощи обычных процедур.

Журнал *Nature* опубликовал на «Естественную историю сексуального насилия» разгромную рецензию. Два биолога-эволюциониста — Джерри Койн из Чикагского университета и Эндрю Берри из Гарварда — разобрали по косточкам приведенные в книге «доказательства». Известно, что девочки до 11 лет — слишком молодые для деторождения — составляют всего 15% от общей численности населения; однако согласно исследованию 1992 г. среди жертв насилия их 29%. Это намного больше, чем можно было бы ожидать, исходя из изложенной в книге гипотезы. Авторы книги утверждали, что этот процент так высок потому, что теперь первая менструация наступает у американских девочек в более раннем возрасте, чем в предыдущих поколениях, и это «усиливает сексуальную привлекательность некоторых представительниц женского пола еще до двенадцатилетнего возраста». На Койна и Берри подобные аргументы впечатления не произвели. «В конце концов, — возражали они, — беспомощность такого особого объяснения лишь привлекает

внимание к тому, что объективные данные совершенно не согласуются с авторской гипотезой».

И тот факт, что женщины репродуктивного возраста сопротивляются своим насильникам, тоже ничего не говорит об эволюции: эти женщины просто значительно сильнее маленьких девочек или старушек. «Безапелляционные заявления о том, что описанные явления объясняются именно и только так, как нравится авторам, даже если для них существуют куда более правдоподобные и простые объяснения, раскрывают нам подлинную сущность этой книги. “Естественная история сексуального насилия” — не наука, а пропаганда, — пишут Койн и Берри. — По традиции, установившейся в социобиологии практически с самого начала, доказательства Торнхилла и Палмера сводятся к серии непроверяемых “сказок просто так”».

Койн и Берри намекают на название сборника детских сказок Редьярда Киплинга, выпущенного в 1902 г.; в этих сказках повествуется о том, как леопард приобрел свои пятна, верблюд — горб, а носорог — свою жесткую кожу. Действительно, эволюционная психология вызывает у биологов-эволюционистов только раздражение. Биологи знают, как просто выдумать занимательную историю про эволюцию и адаптацию и как трудно на самом деле понять, для чего предназначено в природе хоть что-нибудь.

Биологи пользуются всеми доступными им средствами, чтобы зафиксировать подлинные адаптационные механизмы, и проверяют все мыслимые альтернативные объяснения. Если возможно, они обязательно проводят эксперименты. Если какое-то приспособление — скажем, глубокие трубки для нектара у цветов — обнаруживается у множества разных видов, ученые строят эволюционное древо и пытаются отследить переход этого приспособления от одного вида к другому.

Мозг человека намного сложнее цветка, к тому же у исследователей намного меньше возможностей для изучения его эволюции. Возможно, шимпанзе и другие высшие приматы по-

зволяют нам примерно представить, какими были наши предки 5 млн лет назад, но после этого человек развивался в совершенно уникальном направлении. Мы не можем поселить 100 особей *Homo erectus* в отдельный вольер и проводить эксперименты, выясняя, кого из них к кому влечет.

Вместо этого эволюционные психологи зачастую полагаются на результаты статистических исследований. Но их испытуемые — как правило, это несколько десятков американских студентов, в основном белых и преимущественно материально обеспеченных, — вряд ли могут представлять все человечество или хотя бы универсальные человеческие качества. Некоторые эволюционные психологи осознают эту проблему и пытаются повторять свои эксперименты в других странах. Но даже в этом случае они слишком спешат сделать вселенские умозаключения. В книге «Опасная страсть» Дэвид Басс пишет: «Жители США и Германии дают примерно одинаковые ответы, демонстрируя значительную разницу между полами в стремлении к любви помимо секса — это желание преодолевает границы культур». В сравнении с новогвинейским племенем бинуманиен или африканскими пигмеями разница между американцами и немцами едва ли различима.

Причиной любого поведения, характерного для человека, могут быть культурные традиции; даже если у каких-то поведенческих паттернов есть генетическая основа, это вовсе не означает, что они представляют собой результат адаптации. На это указывал еще Стивен Джей Гулд, сразу после выхода книги Уилсона резко критиковавший социобиологию. Подобно Койну и Берри, Гулд считает, что эволюционные психологи легко попадают в ловушку, которой приходится остерегаться каждому биологу. Иногда биологи так спешат подобрать для любого явления адаптационное объяснение, говорит Гулд, что забывают проверить другие возможные объяснения — к примеру, что это явление может оказаться экзаптацией — когда что-то исполь-



зуются совсем не для своей первоначальной функции. Сегодня птицы пользуются перьями для полета, но ученые установили, что впервые перья появились у динозавров, которые не умели летать. Вероятно, первоначально они служили для термоизоляции или как брачное украшение и способ покрасоваться перед сексуальным партнером.

Гулд считает даже, что некоторые качества, очень похожие на средства адаптации, возникли вообще просто так, без всякой определенной цели. В классической статье 1979 г. Гулд и еще один гарвардский биолог Ричард Левонтин, привели в качестве поясняющей аналогии купол венецианского собора святого Марка. Купол этот опирается на четыре арки, которые соединяются под прямым углом. Поскольку арки наверху скруглены, в каждом углу получилось треугольное пространство. Через 300 лет после строительства купола эти места — известные как антревольты или тромпы свода — были покрыты мозаикой.

Было бы смешно говорить, что архитекторы придумали антревольты специально для того, чтобы разместить там треугольную мозаику. Было бы смешно говорить, что эти места вообще были для чего-то специально сконструированы. Если вы захотите поставить купол на четыре арки, треугольные антревольты возникнут сами собой. Позже, конечно, их можно будет как-то использовать, но к первоначальному замыслу это применение уже не будет иметь никакого отношения.

Гулд и Левонтин заявили, что в эволюции тоже бывают свои антревольты. Рассмотрим простой пример: раковину улитки. Все улитки выращивают раковину вокруг некой оси, в результате чего в середине всегда получается пустое пространство. Некоторые виды улиток заполняют это пространство минеральными веществами, но у многих видов оно остается пустым. Некоторые виды приспособились использовать открытое пространство вдоль оси раковины для вынашивания яиц. Если на биолога вдруг накатит вдохновение рассказчика, он легко может сочинить историю

о том, что эта камера — особое приспособление для вынашивания яиц; можно также похвалить изначальный замысел и указать, что место выбрано самое безопасное — в середине раковины. Но истина в том, что это отверстие не несет никакой адаптивной функции, и его возникновение — вопрос геометрии.

Гулд обвиняет эволюционных психологов в том, что они путают антревольты человеческого мозга с адаптационными механизмами. Он, разумеется, признает, что мозг человека заметно увеличился при адаптации его к жизни в африканской саванне. Мозг увеличился, стал более сложным и гибким; в результате наши предки смогли придумать, как добыть черного буйвола, или определить момент созревания любимых корнеплодов. Этот же мозг можно перенастроить на чтение, письмо или управление самолетом. Но все эти возможности достигаются обучением, они никак не закреплены заранее в структуре нашего мозга. «Должно быть, в мозгу человека полно антревольт, присущих человеческой природе и жизненно необходимых нам для самопонимания, но возникли они не как адаптационные механизмы, а значит, вне границ эволюционной психологии», — заявляет Гулд.

По всей видимости, в ближайшее время дебаты вокруг эволюционной психологии не приведут к какому-либо определенному результату. Это принципиальная проблема, она касается самых глубинных, самых фундаментальных черт человеческой природы и вопроса о том, насколько эта самая природа подвержена действию естественного отбора. И страсти она, естественно, возбуждает нешуточные. Эволюционные психологи иногда намекают, что их оппоненты — наивные утописты, а оппоненты называют эволюционных психологов фанатичными консерваторами, утверждающими, что капитализм и сексизм намертво вмонтированы в структуру нашего мозга. Мало того, что оскорбления такого рода не имеют прямого отношения к существу дела; нередко они просто неверны. Роберт Трайверс, первым

сформулировавший идею реципрокного альтруизма, вовсе не консерватор. Сам он характеризовал себя как либерала; получив в своих исследованиях результаты, указывавшие на наличие у честности и справедливости биологического базиса, он был просто счастлив. А антрополог Сара Блаффер Хрди, которая первой показала, какое значение в животных сообществах может иметь детоубийство, предлагает с позиций социобиологии феминистский взгляд на эволюцию: она утверждает, что женщины — не робкие пассивные создания, какими их считали прежде, а активные участницы сражений на эволюционной арене.

Несмотря на все трудности, очень важно всегда помнить о научности — или отсутствии таковой — в эволюционной психологии. В конце концов, именно сумма научных доказательств определит, права она или ошибается.

## НА ПУТИ К ЧЛЕНОРАЗДЕЛЬНОЙ РЕЧИ

Неторопливая монотонность жизни древних гоминид начала нарушаться примерно полмиллиона лет назад. Постепенно в орудиях, которые человек во все времена оставлял после себя, появились признаки перемен. Вместо того чтобы оббивать камень и делать из него одно-единственное рубило, люди научились получать из одного камня сразу несколько лезвий. Рубило, изготовленное 700 000 лет назад обитателем сегодняшней Кении, не слишком отличалось от аналогичного рубила, сделанного жителем Китая или Европы. Но 500 000 лет назад ситуация изменилась: появились региональные стили. Появились и получили распространение новые технологии. Люди научились делать метательные копья и надежно поддерживать огонь. Как и в предыдущие разы, появление новых орудий происходило одновременно с увеличением мозга гоминид. Затем примерно 400 000 лет человеческий мозг увеличивался невероятными темпами, пока 100 000 лет назад не достиг нынешних размеров.

Согласно исследованию мозга приматов, проведенному Робинот Данбаром, мозг гоминид должен был увеличиваться по мере того, как увеличивался размер социальных групп, в которых жили наши предки. Если судить по размерам ископаемых черепов, то древнейшие гоминиды (такие как *Australopithecus afarensis*) 3 млн лет назад должны были жить стаями примерно по 55 особей. Древнейшие виды *Homo*, жившие 2 млн лет назад, уже собирались в группы по 80 особей. Миллион лет назад группы *Homo erectus* достигли численности 100 человек, а 100 000 лет назад, когда человеческий мозг и неокортекс достигли современных размеров, древние люди уже собирались в группы по 150 человек.

После этого средний размер неокортекса у человека уже не менялся, и Данбар видит вокруг множество свидетельств того, что максимальная численность значимой социальной группы у нас по-прежнему составляет 150 человек. Клань в племенах охотников-собирателей Новой Гвинеи насчитывают в среднем по 150 человек. Гуттериты — секта фундаменталистов-христиан, живущих коммунами и занятых обработкой земли, — ограничивают численность своих крестьянских общин этим же числом, а если группа слишком разрастается, основывают новую коммуну. Во всем мире средняя численность армейской роты составляет 150 человек. «Я считаю, что у каждого из нас примерно 150 знакомых и тех, с кем мы поддерживаем теплые отношения, — утверждает Данбар. — Мы понимаем этих людей. Мы знаем их историю и помним, в каких отношениях они состоят с нами».

По мере роста численности групп гоминид увеличивалась и сложность взаимоотношений внутри группы. Данбар считает, что, после того как группа перешагнула определенный порог численности, принципы взаимоотношений, принятые у приматов, перестали действовать. Один из важнейших и самых распространенных способов, которыми приматы демонстрируют друг другу свою привязанность, — это помощь в уходе за шерстью

и телом, так называемый груминг. Такой уход не просто помогает избавиться от вшей и других кожных паразитов, но и успокаивает. Приматы превратили груминг в своего рода социальную валюту, за которую можно приобрести расположение других членов стаи. Но груминг занимает много времени, и чем больше численность группы, тем больше времени приматы тратят на вычесывание друг друга. Павианы-гелада, к примеру, живут в саваннах Эфиопии группами в среднем по 110 особей и вынуждены тратить 20% времени бодрствования на уход друг за другом.

Размеры мозга гоминид позволяют предположить, что 100 000 лет назад численность группы достигла 150 человек, и в этот момент груминг как средство социального взаимодействия потерял смысл. «Обычный день просто не вмещает столько груминга, — говорит Данбар. — Если представить, что группу из 150 особей должно связывать между собой лишь одно — взаимный груминг, как у приматов, то членам группы пришлось бы тратить на него 40–50% всего времени бодрствования. Это было бы просто чудесно, ведь груминг прекрасно расслабляет и заставляет испытывать теплые дружеские чувства по отношению ко всему миру. Но это непрактично. Если надо идти в саванну и искать там пропитание, у вас просто нет такого количества свободного времени».

Гоминидам нужен был более практичный связующий элемент. Данбар считает, что именно эту роль взял на себя язык.

Происхождение языка по-прежнему является одной из величайших загадок эволюционной биологии. Речь не может обратиться в камень и потому не оставляет после себя материальных свидетельств. До начала 1960-х гг. большинству лингвистов даже не приходило в голову, что язык может быть, строго говоря, продуктом эволюции. Считалось, что это просто культурный артефакт, изобретенный человеком в какой-то момент истории — изобретенный точно так же, как можно изобрести каноэ или кадрили.

Одним из поводов так думать было представление лингвистов о том, как мозг порождает и воспринимает речь. Если считать, что мозг — это универсальный процессор для обработки информации, то можно сделать вывод: чтобы научиться говорить, младенец просто старается определить при помощи мозга значение слов, которые слышит. Однако Ноам Хомский, лингвист Массачусетского технологического института, защищает противоположную точку зрения: младенец рождается с готовым набором базовых правил грамматики, намертво встроенным в структуру его мозга. Как еще, спрашивает Хомский, можно объяснить тот факт, что во всех языках Земли существуют одинаковые грамматические структуры, такие как существительное и глагол? Как иначе может ребенок освоить все богатство языка всего за три года? Слова в языке столь же случайны, как даты в истории. Никто не ждет, что трехлетний ребенок выучит наизусть хронику Пелопонесской войны. И в то же время дети не только выучивают отдельные слова, но и быстро начинают пользоваться ими и открывать таким образом для себя правила грамматики. Мозг человека, утверждает Хомский, должен быть с самого начала настроен на восприятие языка.

Исследования, проведенные после 1960-х гг., показывают, что в мозгу человека имеются особые языковые модули, аналогичные тем, что помогают различать контуры или обеспечивают социальный интеллект. Мозг использует эти модули для хранения правил грамматики, синтаксиса и семантики — всех тех обязательных ингредиентов, которые обеспечивают смысл и сложность языка. Лингвисты видят работу языковых модулей в ошибках, которые часто делают маленькие дети при освоении языка. Они пользуются стандартными правилами при образовании множественного числа или форм глаголов, которых на самом деле не существует, таких как «мясо» — «мясы» или «победить» — «победю». Маленькие дети легко укладывают в мозг правила грамматики, а вот запоминать чисто механические исключения им пока трудно.

Дополнительные доказательства можно получить при изучении некоторых типов мозговых травм, при которых человек лишается способности пользоваться языком или отдельными его компонентами. Некоторые люди испытывают затруднения только с именами собственными или словами, обозначающими животных. Группа британских ученых исследовала пациента, который владел богатым набором существительных, включая такие слова, как, «секстант», «кентавр «и» король Канут», но мог пользоваться только тремя глаголами: иметь, делать и быть. В каждом из перечисленных случаев поврежден лишь один из языковых модулей, а остальной мозг работает нормально.

Очевидно, трехлетние дети не начинают автоматически изъясняться шекспировскими строками. Для освоения языка необходимо, чтобы ребенок в момент развития мозга был погружен в словесное море и внутренние правила грамматики могли приспособиться к конкретному языку. Но «языковой инстинкт» — фраза, пущенная в оборот лингвистом Стивеном Пинкером из Массачусетского технологического института, — настолько силен, что дети способны создавать собственные, никогда не существовавшие языки. В 1986 г. лингвисту из Университета Южного Мэна Джудии Кегль удалось наблюдать рождение одного такого языка.

В тот год Кегль отправилась в Никарагуа, намереваясь побывать в школах для глухих детей. Никарагуанское правительство организовало несколько таких школ в начале 1980-х, но дело шло туго. Попадая в школу, дети, как правило, знали только несколько простых жестов, придуманных ими в общении с родителями. В школах детей не обучали настоящему языку жестов, а пытались ограничиться лишь «пальцевым письмом», где различные знаки представляют отдельные буквы. Считалось, что пальцевое письмо должно помочь ученикам перейти к произнесению слов, но, поскольку дети совершенно не представляли, чему их пытаются научить, проект провалился.

Учителя заметили, что, хотя дети достигают понимания с ними с большим трудом, между собой они общаются свободно. Никто из них уже не пользовался жалким набором жестов, привезенных из дома. Общение шло при помощи богатой новой системы, непонятной учителям. Кегль попросили приехать в школы и помочь учителям разобраться в происходящем.

Выяснилось, что тинейджеры в средней школе пользовались примитивным пиджином, собранным из придуманных ими жестов, понятных им всем. Но младшие дети в начальной школе занимались гораздо более сложными вещами. Кегль с изумлением увидела, как они сигналият друг другу с пулеметной скоростью, причем их «фразы» несли в себе ритм и логику. Все свидетельствовало о том, что между ними в ходу настоящий язык жестов, обладающий собственной грамматикой. Чем младше были дети, тем более бегло они изъяснялись на этом таинственном языке. «По одному тому, как были организованы и структурированы их жесты, можно было понять, что здесь происходит что-то необычное, — рассказывает Кегль. — Вскоре стало ясно, что я наблюдаю раннюю стадию рождения языка».

Первые несколько лет Кегль работала над расшифровкой этого языка без особенного успеха. Иногда удавалось узнать расшифровку знака или фразы у детей, иногда приходилось просто наблюдать за долгими разговорами. В 1990 г. Кегль вместе с детьми начала смотреть мультфильмы; она просила детей объяснить ей, что происходит на экране. Мультфильмы и стали для ученого новым Розеттским камнем.

Кегль обнаружила, что жесты детей изящны, умны и выразительны. На пиджине, которым пользовались подростки, слово «говорить» обозначалось жестом, в котором все пять пальцев разводились и вновь соединялись перед губами. Дети воспользовались этим подражательным жестом и усилили его: они открывали пальцы на позиции говорящего и вновь смыкали на позиции того, к кому была обращена речь. Они также изобрели способ



пользоваться предложениями вместо глаголов. Фраза «Чашка стоит на столе» (The cup is on the table) жестами никарагуанцев выражалась примерно как «Стол чашка на» (Table cup ons). Хотя англоговорящему человеку такое построение может показаться диким, другие языки — к примеру, язык индейцев навахо — регулярно им пользуются.

Много лет, с самого первого своего визита в Никарагуа, Кегль вместе с общиной глухонемых составляла словарь нового языка жестов. На настоящий момент в словаре более 1600 слов. Одновременно она разработала теорию происхождения этого языка. Дети приезжали в школы, не имея других средств общения кроме нескольких простых жестов, причем у каждого жесты были свои. Дети объединили их в общий набор и получали пиджин, которым в момент появления ученого уже пользовались подростки. Затем в школе появились дети помладше, чей мозг был настроен на восприятие языка; они подхватили жесты старших детей и обогатили их грамматикой. Маленькие дети вдруг, на пустом месте создали язык, который с самого начала был не менее сложным и полным, чем любой из традиционных звуковых языков. А стоило настоящему языку появиться, и новые впечатления детей начали обогащать его новыми словами.

«С течением времени, — говорит Кегль, — жесты постепенно становятся все более и более богатыми и разнообразными. Но мы не видим резкой границы, скачка между ними и первыми жестами языка, потому что грамматика его — внутри ребенка».

Если грамматика и правда внутри ребенка — если, иными словами, правила грамматики зашиты в структуру нашего мозга, — то к формированию этих встроенных правил, должно быть, приложила руку эволюция. Но возникает вопрос: как мог естественный отбор сформировать язык во всей его сложности? Ученые не могут вернуться в прошлое и понаблюдать за рождением речи и языка. Однако сейчас исследователи пытаются смоделировать эволюцию языка на компьютере, и первые резуль-

таты очень интересны. Выясняется, что как ноги или глаза могли развиваться постепенно, так и язык мог обрести свою сложность постепенно, шаг за шагом.

Мартин Новак и его коллеги из принстонского Института перспективных исследований разработали математическую модель эволюции языка на базе нескольких разумных предположений. Одно из них состоит в том, что мутации, которые позволяли животному лучше объясняться с сородичами, повышали его репродуктивную приспособленность. Зеленые мартышки, к примеру, пользуются набором вполне различных звуков, при помощи которых сообщают сородичам о различных угрозах — птицах, змеях и др. От способности различать эти сигналы может зависеть жизнь или смерть особи. Спутав змеиный сигнал с птичьим, мартышка может броситься на землю и стать жертвой затаившегося удава. Еще ученые предположили, что более обширный словарь — при условии, что члены сообщества корректно его понимают, — также дает обладателю эволюционное преимущество. Мартышка, которая понимает и птичью, и змеиную тревогу, имеет больше шансов на выживание, чем та, у которой в голове уместается только один сигнал.

В модели Новака особи первоначально владеют простой, как у мартышек, коммуникационной системой. Их словарь состоит из набора звуков, каждый из которых соответствует какому-то предмету или явлению окружающего мира. При смене поколений иногда возникают мутации, которые затрагивают «речь» молодых особей. Некоторые из этих мутаций позволяют молодым особям использовать более богатый, чем у предков, словарь; в модели Новака такие особи получают репродуктивное преимущество.

Новак обнаружил, что его модель постоянно сводится к одним и тем же результатам. Первоначально особи в стае общаются посредством нескольких видов резких криков. Постепенно их язык усложняется, появляются новые сигналы. Но по мере

расширения словаря становится все труднее отличать новые сигналы от прежних. Чем более похожими становятся звуки, тем проще становится их спутать. (Вы можете утверждать, что слышите разные звуки в начале слов «это» и «эти»?)

Понятно, что пополнение коллекции новыми сигналами может принести с собой эволюционное преимущество, но связанная с ними путаница может свести все преимущество к нулю. Проводя испытание за испытанием, Новак выяснил, что словарь в его модели увеличивается лишь до определенного предела: дальше все останавливается. Возможно, такой результат объясняет, почему большинство животных, не считая человека, при обмене информацией довольствуется очень скромным числом сигналов: они просто не могут преодолеть неизбежную путаницу, которая возникает при расширении репертуара сигналов.

Но что, если эволюция наших предков сумела найти выход из этой ловушки? В поисках ответа на этот вопрос Новак изменил модель — он разрешил некоторым особям нанизывать простые звуки один на другой, то есть собирать из звуков слова. Затем он объединил в одной модели несколько «особей», которые пользовались словами, с теми, кто по старинке пользовался звуками. Он обнаружил, что, если особи передают друг другу всего несколько простых сообщений, они вполне могут обойтись системой звуков. Но если они живут в более сложной среде и нуждаются в мощных средствах сообщения, то со временем побеждает система слов. Собирая из небольшого числа звуков огромное количество уникальных слов, «особи» у Новака получали возможность избежать путаницы с похожими звуками.

Но Новак обнаружил, что и словарная система имеет свои ограничения. Чтобы слово закрепилось в языке, люди должны им пользоваться. Если слово забудут, оно вновь канет в небытие. В наши дни старые слова могут сохраняться в языке при помощи книг и видеозаписей, но у наших предков-гоминид была только устная речь — а значит, все слова должны были храниться в го-

ловах. Но память не беспредельна, и размер мозга — а значит, и объем памяти — ограничивал размеры словаря, которым могли пользоваться гоминиды. Вероятно, гоминиды могли придумывать новые слова, но в том случае, если при этом какие-то другие забывались.

Чтобы изучить этот предел, Новак ввел в свою языковую модель еще одно новшество. Вместо того чтобы обозначать каждое понятие отдельным словом, некоторые «особи» получили возможность нанизывать друг на друга слова и таким образом описывать события. Некоторые слова могли обозначать действия, другие — людей или предметы, задействованные в этом действии, третьи — их отношения. Иными словами, Новак ввел в свою модель правила синтаксиса. Синтаксис позволяет человеку выразить при помощи нескольких сотен слов миллионы разных значений, в зависимости от того, как эти слова организованы. Но если говорящие не будут точны, может получиться так, что синтаксис вызовет лишь новую путаницу. Фразы «Саркози осудил Берлускони» и «Берлускони осудил Саркози» составлены из одних и тех же слов, но означают разное. Когда Новак и его коллеги свели в конкурентной борьбе синтаксис и простое общение при помощи слов-символов, выяснилось, что синтаксис выгоден не всегда. Лишенный синтаксической структуры язык побеждает, когда событий в системе немного и описывать особенно нечего. Но за определенным порогом сложности синтаксис захватывает уверенное лидерство. Если вокруг происходит немало разных событий, в которых задействовано множество людей или животных, лучше говорить предложениями.

Хотя модели Новака относительно просты, они помогают понять несколько принципиально важных моментов превращения простого набора звуковых сигналов в полноценный язык. Дети, придумавшие никарагуанский язык жестов, сумели, возможно, повторить эволюцию языка от знака к слову и затем к синтаксической структуре. Эксперименты Новака тоже позволяют пред-

ставить себе, как нашим предкам удалось выбраться из коммуникационной ловушки, в которой застряло большинство остальных животных. Похоже, жизнь наших предков постепенно усложнялась и требовала все более высокого уровня общения членов стаи между собой.

Что касается сложности, то, как показали Данбар и др., причиной усложнения могло стать постепенное развитие социальной жизни гоминид. Но есть и еще один фактор: если даже гоминидам было что сказать друг другу миллион лет назад, анатомических возможностей для этого у них не было. Мы, люди современного типа, используем для членораздельной речи очень своеобразный анатомический аппарат; ни у одного млекопитающего, помимо человека, ничего подобного нет. У других млекопитающих — включая шимпанзе — гортань располагается высоко в горле. Такое устройство позволяет животным дышать одновременно с поглощением пищи или питья, потому что дыхательные пути и пищевод полностью разделены. Но по этой же причине голосовой тракт — от гортани до рта — получается очень коротким. Языку просто не хватает места для того, чтобы свободно двигаться и производить сложные звуки.

Скорее всего, в какой-то момент эволюции гоминид гортань опустилась в то нижнее положение, которое она и сегодня занимает в человеческом горле. Такое анатомическое устройство связано с риском, поскольку пища и питье у нас гораздо легче попадают в дыхательные пути, чем у других млекопитающих, и могут вызвать удушье. Зато при этом возникает дополнительное пространство, в котором язык может двигаться и создавать весь тот репертуар звуков, без которого невозможен устный язык.

Это не означает, что развитие языка не могло начаться, пока гортань не заняла свое нынешнее место. Гоминиды могли, к примеру, общаться жестами, ведь судя по орудиям, изготовленным 2,5 млн лет назад, руки у них уже были способны на тонкие и точные движения. Они могли сочетать эти жесты

с простыми звуками и движениями; из сочетания всего этого вполне мог появиться некий протоязык. А когда такая система общения возникла и утвердилась, включился естественный отбор в пользу большого мозга, способного оперировать еще более сложной системой символов, и низкой (человеческой) гортани, способной издавать более разнообразные звуки.

Никто не знает точно, в каком порядке шла эволюция речи и языка, поскольку характер речи почти не оставляет на человеческом скелете следов. Гортань — непрочная хрящевая конструкция, которая, конечно, не сохраняется. Гортань подвешена на тонкой подковообразной подъязычной кости, но разрушительное действие времени, как правило, затрагивает и ее. Вместо этого многие исследователи обращаются к косвенным данным, которыми могут поделиться с нами древние кости гоминид. Ученые смотрят на угол основания черепа в надежде рассчитать длину голосового тракта. Они измеряют величину отверстия, через которое в череп входит нерв, управляющий языком. Они рассматривают отпечаток мозга на черепной коробке в поисках речевых центров. В каждом случае исследователи заявляли, что нашли свидетельства зарождения языка. Но скептики показали, что ни одно из этих свидетельств не может считаться надежным указанием на существование в тот момент речи.

Имея в виду, что даже сохранившиеся материальные свидетельства — впрочем, довольно жалкие — вызывают такие дебаты, неудивительно, что специалисты не могут прийти к единому мнению в вопросе о том, когда язык и речь человека обрели современную форму. К примеру, Лесли Айелло из лондонского Университи-колледжа уверен, что увеличение размеров мозга, начавшееся 500 000 лет назад, принесло с собой членораздельную речь. Робин Данбар, с другой стороны, предполагает, что речь возникла всего лишь 150 000 лет назад. По его мнению, только к этому времени группы, которыми жили наши предки, выросли настолько, что груминг как социальный инструмент утратил

смысл. Язык и членораздельная речь заменили в сообществах гоминид груминг и другие примитивные формы взаимодействия, призванные поддерживать социальную структуру.

Язык помогает человеку отслеживать, чем занимаются другие и что они говорят о вас. Кроме того, при помощи слов можно манипулировать другими людьми и удерживать свое место в большом обществе. Даже сегодня язык в основном служит инструментом сплетни. Данбар давно прислушивается к разговорам людей в кафе и электричках и неизменно находит, что темой для двух третей подобных разговоров служат другие люди. Язык, утверждает Данбар, — тот же груминг, только другими средствами.

Некоторые исследователи считают, что даже возраст 150 000 лет, предложенный Данбаром, — это слишком много, и речь возникла значительно позднее. Эти ученые убеждены, что настоящий развитый язык, возможно, появился всего лишь 50 000 лет назад. Только тогда материальные останки человека показывают серьезный ментальный скачок, едва ли не взрыв; именно в этот момент люди начали понимать себя и окружающий мир так, как не могли даже вообразить предыдущие поколения. Именно тогда родилось современное сознание, и решающим фактором его возникновения вполне могла стать членораздельная речь.

## СОВРЕМЕННАЯ ЖИЗНЬ ЗА 50 000 ЛЕТ до н. э.

*Заря нашей эпохи*

В тот день, 18 декабря 1994 г., у Жана-Мари Шове не было причин удивляться. Он шагал с двумя приятелями вдоль известняковой стены в овраге, где протекала одна из рек департамента Ардеш в юго-восточной части Франции, в поисках пещер. Департамент Ардеш весь пронизан пещерами, и выросший в тех местах Шове занимался спелеологией с двенадцати лет. В 1988 г. он вместе с Кристианом Иллером и Эльетт Брюнель Дешам, тоже опытными спелеологами, начал систематическое обследование этого региона. В течение шести лет им удалось открыть немало новых пещер, в двенадцати из которых были обнаружены древние настенные росписи. 18 декабря было прохладно, поэтому команда Шове решила обследовать солнечный участок долины у самого выхода из ущелья. Место было не особенно уединенное; пастухи загоняли сюда свои стада, да и другие спелеологи, скорее всего, не раз проходили здесь. Если бы в этом ущелье было что искать, то это давно бы обнаружили.

Группа Шове двигалась по выючной тропе в зарослях дубов и самшита, пока не добралась до скалы, в которой обнаружилась черная дыра. Отверстие было очень небольшим, и спелеологи



с трудом, согнувшись в три погибели, протиснулись в небольшой грот. Вскоре чуть дальше обнаружился узкий проход, ведущий куда-то вниз. Проход, конечно, мог оказаться тупиком, но на входе чувствовалось легкое движение воздуха.

Все трое, по очереди, лежа на животе и не осмеливаясь поднять голову, расчищали узкий проход от камней. В конце концов, узкое место было расчищено, и Дешам, как самая маленькая, протиснулась на три метра вперед и обнаружила впереди открытое пространство. Луч фонарика осветил гигантскую открытую галерею, пол которой находился в метрах десяти ниже.

Исследователи скинули вниз веревочную лестницу и спустились во тьму. Сталактиты и сталагмиты мерцали в лучах фонариков как клыки таинственного чудовища. Кальцитовые колонны были затянuty студенистыми потеками. Спелеологи двинулись дальше вглубь пещеры. Внезапно луч фонарика высветил во тьме мамонта. Затем носорога, еще дальше — троицу львов. Животные были нарисованы на стенах пещеры, иногда по одному, иногда гигантскими стадами — лошади, совы, каменные козлы, медведи, северные олени, бизоны; все это чередовалось с отпечатками ладоней и загадочными рядами красных точек. Спелеологи и прежде сталкивались с пещерной живописью, но ничего столь масштабного никому из них видеть не приходилось. Перед ними был целый зоопарк из по меньшей мере 400 изображений животных.

Пещера, получившая название Шове, приобрела громадное значение, и не только из-за рисунков как таковых. Археологи измерили содержание углерода C-14 в угле, которым нанесена часть изображений, и определили их возраст. Выяснилось, что люди нарисовали животных на стенах пещеры Шове по крайней мере 32 000 лет назад, что делает их древнейшими в мире.

В истории жизни на Земле имеется несколько таких знаковых дат; они размечают наш путь, как вешки на горнолыжном спуске. Любая теория эволюции жизни должна быть достаточно гибкой, чтобы проложить извилистый путь среди них и ничего

не нарушить. Скалы юго-западной Гренландии показывают, что 3,85 млрд лет назад жизнь на Земле уже существовала; камни пустыни Карру в Южной Африке показывают, что 250 млн лет назад почти все живое на Земле вымерло. Рисунки Шове отмечают не менее важный момент истории жизни: момент, когда наши предки шагнули в мир искусства, символов, сложных орудий и культуры, то есть всего того, что в максимальной степени придает нам уникальность и делает людьми.

Пещера Шове и другие археологические площадки, относящиеся примерно к тому же времени, позволяют предположить, что этот шаг как этап развития человечества был внезапным и длительным. Наши предшественники отделились от предков наших ближайших современных родичей, шимпанзе, около 5 млн лет назад. Развитие шло скачками и иногда надолго замирало; возникали многочисленные ветви. Все они, кроме одной, давно вымерли. Ориентируясь по форме костей и последовательности генов, ученые — в составе нескольких групп и по нескольким разным признакам — заключили, что биологически человек современного типа появился в Африке от 200 000 до 100 000 лет назад. Десятки тысяч лет наши предки тихо жили на Земле, не оставляя после себя почти никаких следов, кроме грубых каменных орудий, при помощи которых было так удобно разделывать туши животных. Только 50 000 лет назад их вынесло из Африки, и всего за несколько тысяч лет они вытеснили по всему Старому Свету все остальные виды людей. Эти новые африканцы не только внешне были похожи на нас; они и вели себя так же. Они придумали гораздо более сложные и специализированные орудия, чем были у их предков, — копье на древке и копьеметалку, иглу для шитья одежды, проколку (шило) и сеть. Изготавливались эти новые орудия из новых же материалов, таких как слоновая кость, раковины и кости. Эти люди строили дома, украшали себя бусами, вырезали статуэтки, расписывали стены пещер и скальные обрывы.

Большая часть великих эволюционных трансформаций, таких как зарождение жизни или кембрийский взрыв, имели место сотни миллионов или даже миллиарды лет назад. В сравнении с ними эта чисто человеческая трансформация произошла лишь вчера. Но это не умаляет ее значения. Человек современного типа прочно занял на планете место доминирующего вида; он способен жить почти где угодно. Вообще говоря, наш успех настолько масштабен, что угрожает гибелью множеству других видов. Но нельзя не отметить: несмотря на то, что мы угрожаем эволюции других видов, мы создали новую форму эволюции — эволюцию культуры.

## ПЕРВЫЕ ЛЮДИ СОВРЕМЕННОГО ТИПА

Только в последние 20 лет стала очевидна сама возможность подобной революции. Предыдущие поколения ученых совершенно иначе представляли себе происхождение современного человека. Прежде считалось, что эволюция современного человека началась примерно миллион лет назад. В этот момент в Африке, Азии и Австралии обитал один-единственный вид гоминид, *Homo erectus*. Несмотря на то что ареал этого вида тянулся на многие тысячи километров, каждая популяция поддерживала какие-то контакты с соседями. Женщины и мужчины разных групп сходились, и гены *H. erectus* «гуляли» по всему ареалу. Ни одна группа не изолировалась настолько, чтобы отколоться от основного вида и образовать собственный. Разве что некоторые популяции кое-где приспосабливались к местным условиям и обретали характерный вид. В Европе, к примеру, где климат был суровым и царило оледенение, люди, которых мы сегодня называем неандертальцами, отличались плотным телосложением и толстым черепом с низким лбом и выступающими надбровными дугами. В тропиках Азии, напротив, популяции *H. erectus* стали высокими и стройными.

Но все эти люди вместе, считали ученые, эволюционировали в современную форму.

Останки неандертальцев, обнаруженные в Европе и на Ближнем Востоке, имеют возраст от примерно 200 000 до 30 000 лет. Первоначально ученые считали, что именно из неандертальцев в результате эволюции получились современные европейцы и что вместе с ними эволюционировали и их орудия. Вместо неандертальских каменных орудий и копий первые европейцы (известные как кроманьонцы) пользовались искусно сделанными орудиями из разных материалов, к примеру, рыболовными крючками из олених рогов и костей, копьеметалками и гарпунами с отделяемым наконечником. Кроманьонцы носили ожерелья и другие украшения и хоронили своих умерших по тщательно разработанному ритуалу. В Азии и Африке материальных свидетельств эволюции человека сохранилось меньше, но считалось, что там *H. erectus* тоже эволюционировал в человека современного типа, развивая в то же время новые технологии.

Однако в 1970-х гг. некоторые палеоантропологи начали разрабатывать принципиально иную версию эволюции человека. Они предположили, что неандертальцы и *Homo erectus* в Азии на самом деле представляли собой два отдельных вида и что ни один из них не был прямым предком *Homo sapiens*.

В Музее естественной истории в Лондоне, к примеру, палеоантрополог Кристофер Стрингер обнаружил, что останки кроманьонского человека меньше похожи на неандертальцев, чем на чуть более древних обитателей Африки. Стрингер высказал предположение о том, что современные европейцы произошли от африканских мигрантов. Неандертальцы, жившие еще 30 000 лет назад, не эволюционировали в человека современного типа, заявил Стрингер. Они вымерли.

Пока Стрингер рассматривал окаменевшие черепа, генетик по имени Аллан Уилсон из Калифорнийского университета в Беркли пытался реконструировать историю человечества

на основе биохимии. Он начал изучать митохондриальную ДНК человека — отдельные молекулы ДНК, содержащиеся не в ядре, а в энергетических станциях клетки — митохондриях. Он выбрал митохондриальную ДНК — в противовес генам, содержащимся в ядре, — потому что она передается из поколения в поколение практически неизменной. В отличие от большинства генов, которыми унаследованные от обоих родителей хромосомы время от времени обмениваются, митохондриальную ДНК человек получает только от матери. (Происходит это потому, что сперматозоид не может впрыснуть в яйцеклетку свои митохондрии.) Различия между митохондриальной ДНК матери и ребенка возникают только в результате спонтанных мутаций. От поколения к поколению мутации накапливаются. В результате по митохондриальной ДНК можно различать наследственные линии.

Команда Уилсона проанализировала митохондриальную ДНК в образцах, взятых у самых разных людей по всему миру; ученые секвенировали гены и группировали их по сходным признакам. В процессе работы они составили эволюционное древо человека современного типа. Уилсон выяснил, что корни современных африканцев уходят глубже всего в историю. В целом древо указывало на то, что именно в Африке жил общий предок всех ныне живущих людей\*.

---

\* Нужно хорошо понимать, что по описанному методу в действительности определяется время и место жизни общего предка всех ныне живущих людей, но вовсе не значит, что одновременно других людей в других частях света не было. Они, конечно жили вместе с общим предком, просто в силу исторических случайностей не оставили далеких потомков. Ситуация подобна генеалогическому древу того или иного семейства с разветвленным набором двоюродных-пятиродных родственников, отдаленных потомков одной семейной пары; это не означает, что у той семейной пары не было сосуществовавших родичей. Это замечание в полной мере относится и к исследованиям Y-хромосомного предка, приведенными ниже по тексту. Если митохондриальные линии определяют общую прама мать, то Y-хромосомные линии — общего праотца. Они могут быть разного возраста не только в силу естественных ошибок под-

Большинство антропологов готовы были бы, вероятно, согласиться с новой идеей, если бы Уилсон говорил о древних видах *Homo*, обитавших в Африке 2 млн лет назад, задолго до того, как первые гоминиды покинули этот материк. Но, согласно выводам Уилсона, человеческие гены говорили совершенно о другом. Построив эволюционное древо, ученые принялись вычислять, как давно жил общий предок всех современных людей. Они оценили скорость, с которой мутирует митохондриальная ДНК, и сравнили варианты генной структуры, чтобы понять, сколько мутаций успело произойти в разных наследственных линиях. Молекулярные часы дали примерную оценку возраста первого человека современного типа: где-то в окрестностях 200 000 лет.

«Митохондриальная Ева» — под таким именем стала известна общая праматерь всех ныне живущих людей — жила, конечно, давно, но для тех ученых, кто отстаивал мультирегиональное происхождение *Homo sapiens*, она оказалась слишком молодой. Получилось, что никто из поздних неандертальцев в Европе и *Homo erectus* в Азии не мог внести свой генный вклад в генотип ныне живущих людей. Зато для теории Стрингера древо Уилсона оказалось неожиданной поддержкой.

Стрингер, Уилсон и другие ученые начали формулировать новый сценарий возникновения человека современного типа, который они называли «Из Африки». По мере того как *Homo* расселялся из Африки, говорили они, он эволюционировал в несколько отдельных видов, которые не скрещивались между собой. *Homo erectus* заселил значительную часть Азии, а неандертальцы (известные также как *Homo neanderthalensis*, отдельный вид) обитали в Европе и на Ближнем Востоке. Одновременно с этим в Африке из более древних гоминид развивался *Homo sapiens* и в какой-то момент тоже мигрировал в Азию и Европу. Как пе-

---

счета генетических изменений, но и очевидно разного хода ветвления мужских и женских линий. — Прим. науч. ред.

щерная живопись Шове, так и украшения, оружие, одежда и другие артефакты, имеющие возраст менее 50 000 лет, — все это дело рук *Homo sapiens*, осваивавшего потихоньку мир. А когда *Homo sapiens* появился на территориях, занятых человеком прямоходящим или неандертальцами, эти виды людей просто исчезли.

При первом появлении гипотеза «Из Африки» навлекла на себя жесткую критику, но недавние палеонтологические находки в Азии, Европе и Африке неожиданно добавили ей убедительности. Палеоантропологи нашли в Израиле останки неандертальцев, живших бок о бок с анатомически современным человеком в течение 30 000 лет — вплоть до исчезновения неандертальцев — и без всяких признаков смешения. В Азии *Homo erectus* продолжал жить тысячи и тысячи лет после появления первых останков *Homo sapiens*. Некоторые данные указывают на то, что 30 000 лет назад человек прямоходящий все еще обитал на острове Ява.

Тем временем открытия в Африке также стали поддержкой новой гипотезы. «Если мы посмотрим на Европу 100 000 лет назад, — говорит Ричард Клейн из Стэнфордского университета, — то все памятники здесь исключительно неандертальские. Но если затем взглянуть на Африку, то станет ясно, что жившие там люди физически выглядели очень современно».

Генетики, повторившие работу Уилсона, в основном тоже подтвердили модель «Из Африки». Какие бы гены они ни анализировали для построения эволюционного древа, африканские неизменно занимали самые близкие к основанию ветви. Теперь, когда возможности расширились и для анализа доступно больше геновых последовательностей, митохондриальные гены указывают возраст разделения около 170 000 лет назад. В конце 1990-х гг. группа генетиков провела сравнительный анализ человеческих Y-хромосом (хромосом, которые определяют пол человека и имеются только у мужчин). Эти исследования показывают, что человеку современного типа всего 50 000 лет. Конечно,

во всех подобных исследованиях возможная ошибка составляет десятки тысяч лет, поэтому нельзя наверняка сказать, что одно противоречит другому.

Вообще, ученым еще придется разбираться, кто из них прав, а кто нет, но одно ясно совершенно точно: человек — очень молодой вид.

## ДНК НЕАНДЕРТАЛЬЦЕВ

Если бы мы нуждались в дополнительных свидетельствах своей коллективной юности, то теперь у нас есть новый их источник — гены неандертальцев. В 1995 г. немецкое правительство обратилось к Сванте Пяabo из Мюнхенского университета, эксперту по древней ДНК, с просьбой определить, не сохранились ли фрагменты ДНК в самом первом скелете неандертальца, найденном в 1856 г. Пяabo отнесся к этому предложению скептически — ведь гены так недолговечны, — но согласился попробовать. Вместе со своим аспирантом Матиасом Крингсом он взял маленький кусочек кости из плеча скелета и провел тест на аминокислоты — кирпичики, из которых строятся белки. Аминокислоты в образце нашлись, чем исследователи были очень удивлены; но если уцелели аминокислоты, рассудили они, могла уцелеть и ДНК.

Поиски были нелегкими, поскольку даже случайная пылинка могла занести в образец современную человеческую ДНК. Чтобы исключить эту опасность, Крингс отбелил кость снаружи и подготовил оборудование в особом стерильном помещении. Только уверившись в том, что загрязнение образцу не грозит, он распилил кость неандертальца и обработал ее химическими веществами, которые должны были скопировать любые содержащиеся в кости фрагменты ДНК.

Крингс сидел перед компьютером; вот на экране появляется результат теста, и по спине бежит холодок: обнаружена последовательность из 379 оснований, схожая — но не совпадающая —



с человеческой ДНК. Тем не менее исследователи не спешили открывать шампанское до тех пор, пока всю эту процедуру не повторили исследователи в лаборатории Марка Стоункинга из Пенсильванского университета на втором образце того же неандертальского скелета. Стоункинг независимо обнаружил ту же последовательность.

После этого команда Пяabo сравнила ДНК неандертальца с почти 1000 последовательностей из человеческой ДНК, а также с ДНК шимпанзе и на базе полученных результатов построила эволюционное древо. На этом древе европейцы и африканцы оказались вместе, на одной ветке, а неандертальцы угодили на совершенно отдельную ветвь. Исходя из количества накопленных отличий между генами неандертальцев и *Homo sapiens*, Крингс с коллегами подсчитал, что общий предок двух видов жил не меньше 600 000 лет назад. Вероятно, этот общий предок жил в Африке; одна из линий его потомков мигрировала в Европу и стала неандертальцами. Другая — та, что осталась на месте, — эволюционировала в *Homo sapiens*.

Команда Пяabo опубликовала данные о своих исследованиях в 1997 г. Скептики усомнились, что по такому маленькому фрагменту неандертальской ДНК можно определить истинную эволюционную позицию вида. (Не слишком ли мало информации содержится в последовательности из 379 оснований?) Однако к 2000 г. в руках ученых оказались еще два фрагмента. Один из них обнаружила команда Пяabo в костях возрастом 42 000 лет, найденных в Хорватии, второй — другая группа ученых в неандертальских останках возрастом 29 000 лет, найденных в горах Кавказа. В обоих случаях ученым удалось выделить тот же фрагмент ДНК, который Пяabo извлек из самого первого неандертальского материала. Три последовательности ДНК походили одна на другую гораздо больше, чем любая из них — на гены любого из ныне живущих людей. Неандертальцев, у которых были получены эти фрагменты, отделяли друг от друга сотни километров

и тысячелетия. Вероятность того, что такие похожие последовательности в их генах оказались случайно, близка к нулю.

Все полученные до сих пор данные о неандертальской ДНК подтверждают гипотезу о том, что вид *Homo neanderthalensis* полностью вымер. Тем не менее по материальным свидетельствам видно, что неандертальцы не были хрупким видом, готовым сгинуть навсегда. Это были выносливые изобретательные люди, достаточно закаленные, чтобы пережить европейское оледенение. Они делали дротики, сбалансированные ничуть не хуже, чем современные олимпийские копья, и охотились с их помощью на лошадей и других крупных млекопитающих. Они были настолько хорошими охотниками, что их рацион почти полностью состоял из мяса. Неандертальцы заботились о раненых и больных, как показывает скелет из иракской пещеры Шанидар: он принадлежит мужчине, череп и грудная клетка которого были раздавлены, но который прожил после страшной травмы еще несколько лет.

Точно так же и человека прямоходящего никак нельзя назвать существом тепличным. Зона его расселения тянулась от суровых равнин на северных границах Китая до влажных джунглей Индонезии, и жил он в своих владениях больше миллиона лет. И все же *Homo sapiens* жив и процветает, а *H. neanderthalensis* и *H. erectus* давно исчезли с лица земли. В чем состояло отличие, позволившее нам пережить соперников?

## НОВЫЙ ТИП РАЗУМА

Самое очевидное отличие, которое палеоантропологии отмечают между человеком современного типа, жившего 50 000 лет назад, и неандертальцем и человеком прямоходящим, относится к материальной стороне культуры. Речь идет о вещах, которые эти люди изготавливали и которые мы сегодня находим. *Homo erectus* в Азии, похоже, так и не продвинулся в тех-

нологии дальше ручного рубила. Неандерталец умел делать метательные копьа и кремневые ножи, но дальше дело тоже застопорилось.

Зато человек современного типа изобретал все новые орудия, сложные в изготовлении, причем изобретал с поразительной скоростью. Он делал копьа с наконечниками из оленьего рога — легкого, но прочного материала, который, чтобы заточить, надо было несколько часов вымачивать, а потом очень долго шлифовать. Он изобрел орудие, помогающее увеличить плечо рычага при метании и метать копьа гораздо дальше и с большей силой. По сравнению с неандертальцами, которые гонялись за добычей с дубинками, люди могли добывать больше мяса, подвергая себя при этом меньшему риску.

Не все изобретения людей были направлены на практические цели, такие как охота. К примеру, в пещерах Турции ученые нашли ожерелья из раковин улиток и птичьих когтей возрастом не менее 43 000 лет. Современный человек с самого начала любил носить украшения. Возможно, они служили своего рода племенным знаком или свидетельствовали о высоком положении владельца в группе.

«Люди вкладывали тысячи часов труда в изготовление украшений, — говорит Рэндалл Уайт из Нью-Йоркского университета. — Это занятие было приоритетным в их жизни, а сами украшения характеризовали статус и роль их владельца. Если человек носит что-нибудь на теле, это сразу сообщает остальным о том, кто он в обществе».

Артефакты, оставленные древними людьми, рассказывают о глубоком сдвиге во взглядах людей на себя самих и на окружающий мир. И возможно, именно этот сдвиг дал им конкурентное преимущество. «Около 50 000 лет назад что-то произошло, — объясняет Клейн, — и произошло в Африке. Люди, которые прежде лишь выглядели по-современному, стали современными и в поведении. Они изобрели новые формы орудий, новые способы

охоты и собирательства, позволившие им поддерживать гораздо более высокую численность».

Исследователи могут только гадать, что именно вызвало поведенческий сдвиг. Некоторые полагают, что креативная революция была просто вопросом культуры. Анатомически современный человек в Африке претерпел некоторые изменения — возможно, произошел демографический взрыв, — и в результате общество вынуждено было перешагнуть какой-то порог. Возникли новые условия, человек изобрел современные орудия и искусство. «Если говорить о нервной системе, то кроманьонский человек вполне способен был полететь на Луну, но не делал этого, потому что неподходящим был социальный контекст, — говорит Уайт. — Перед человеком не стояли задачи, которые могли бы подтолкнуть его к изобретениям такого рода.

Однако у Ричарда Клейна подобные объяснения вызывают серьезное сомнение. Если на протяжении сотен тысяч лет люди потенциально способны были расписать стены пещеры Шове или изготавливать замечательные копья, то почему они этого не делали? Откуда такая задержка? Если революция была чисто культурной, то почему неандертальцы, тысячами лет жившие бок о бок с людьми современного типа, не перенимали у них новые орудия и искусство, почему не сделали все это своим, как случается сегодня между современными культурами?

Клейн указывает также, что численность современных людей, вероятно, не росла, когда их поведение внезапно изменилось. Генетики, исследуя изменчивость ДНК ныне живущих людей, могут оценить численность первоначальной популяции, и ни одна из оценок не дает слишком большого числа. В настоящее время считается, что все люди планеты происходят от нескольких тысяч древних обитателей Африки. «Судя по всему, человек полностью современного типа появился в то время, когда африканская популяция была относительно невелика», — говорит Клейн.

Может быть, маленькая группа не слишком подходит для серьезных культурных сдвигов, но биологам давно известно, что она может быть идеальным местом для эволюционных изменений. В такой группе мутации могут быстро распространяться, стремительно меняя ее членов. Помня об этом, Клейн предположил, что заря современного человечества была обусловлена биологическими факторами. 50 000 лет назад в Африке в генах, отвечающих за структуру человеческого мозга, произошли новые мутации, благодаря которым человек обрел способность и вкус к искусству и техническим новшествам — свойства, которыми прежде не обладал никто из представителей человеческого рода. «Лично я считаю, — говорит Клейн, — что изменения произошли в мозгу».

Не исключено, что изменения в структуре мозга могли позволить человеку избавиться от жестких ментальных ограничений, которые сдерживали развитие его предков. Человек перестал смотреть на животных только как на еду и понял, что их кости и рога можно использовать как прекрасные орудия. Вместо того чтобы охотиться на любого зверя с одним и тем же оружием, он начал придумывать разные виды оружия, которые облегчали бы охоту на разных животных, будь то рыба, горный козел или благородный олень. Новый стиль мышления — то, что археолог Реддингского университета Стивен Митен называет «подвижным интеллектом», — позволил людям размышлять абстрактно о природе и о себе и создавать символические изображения предметов и явлений в форме рисунков и скульптур.

Язык, по крайней мере в развитой своей форме, тоже мог быть частью недавних изменений. «Возможно, 50 000 лет назад появилась способность говорить быстро и внятно, так, чтобы другие люди могли разбирать и понимать речь; а затем она стала использоваться для передачи информации о новых способах что-то делать, то, что раньше человек с такой легкостью делать не мог», — говорит Клейн.

Новые технологии были слишком сложны, чтобы передавать опыт просто на личном примере. На территории России, к примеру, люди вываривали бивни мамонтов и хоронили вместе с умершими. Такую традицию косноязычные неандертальцы просто не смогли бы передавать из поколения в поколение. Человек современного типа мог рассказать своим соплеменникам о том, что придумал, и новые идеи распространялись в популяции очень быстро. Люди начали использовать для изготовления орудий камень, слоновую кость и другие материалы, которые приходилось везти за сотни километров: речь дала возможность группам объясняться между собой, договариваться о вещах для обмена. Именно владение речью и языком позволило человеку придать украшениям и произведениям искусства определенное значение, не важно, социальное или сакральное.

Исследователи пока не знают в точности, как разворачивались события в Европе и Азии, когда человек современного типа, вооруженный новой культурой и, вполне возможно, новым мозгом, вышел из Африки и встретился с неандертальцем и человеком прямоходящим. Началась ли война на уничтожение? Или, может быть, выходцы из Африки принесли с собой в Европу и Азию опустошительные болезни — точно так же, как испанцы привезли ацтекам оспу? Или может быть, как подозревают многие ученые, новые возможности мозга просто дали человеку современного типа конкурентное преимущество. «Они сменили неандертальцев в Европе в основном потому, что схемы поведения были у них гораздо более сложными. Кроме того, как охотники-собиратели они были гораздо более эффективны», — говорил Клейн.

Люди современного типа могли вести обмен необходимыми припасами; они могли разрешать споры словами, а не смертельной схваткой. Они изобретали оружие и инструменты, которые позволяли добывать больше пищи и запасаться одеждой; в результате они выживали во время засух или жестоких морозов, когда другие люди погибали. Материальные находки свидетель-

ствуют о том, что люди современного типа селились плотнее, чем неандертальцы. Вполне возможно, что неандертальцам пришлось отступить в горные убежища, где их в конце концов погубили природные катастрофы и родственное спаривание.

Разумеется, не все современные люди устремились в Европу. Те, кто завернул в Азию, поначалу могли двигаться вдоль морских берегов. Находки, сделанные на берегах Красного моря, показывают, что африканцы поселились на побережье и питались морепродуктами уже 120 000 лет назад. Возможно, их потомки, расселяясь по берегам Аравийского полуострова и Индостана в сторону Индонезии, пытались сохранить привычный образ жизни, связанный с морем. Когда беспокойные пришельцы появились на территории *Homo erectus*, местным гоминидам, возможно, пришлось отступить от побережья вглубь суши и найти убежище в джунглях. Постепенно они полностью обособились и тихо исчезли с лица земли около 30 000 лет назад. Часть современных людей направилась вверх по течению рек в сердце Азии, а другая часть добралась на лодках до Новой Гвинеи и Австралии, куда до того момента не ступала нога гоминид. 12 000 лет назад люди перебрались из Азии в Новый Свет и быстро заселили земли вплоть до южных пределов Чили. В мгновение ока — по эволюционным, конечно, меркам — все материки, кроме Антарктиды, стали для *Homo sapiens* домом. Человек, бывший когда-то всего лишь подвидом шимпанзе, изгнанным из лесов, ныне господствовал над миром.

## НЕЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР

Культурная революция 50 000 лет назад стала возможна благодаря эволюции; но потом человеческая культура набрала такую мощь, что сумела изменить порядок вещей: теперь культура может влиять на ход биологической эволюции. Критерий естественного отбора — приспособленность генов, но изобретения,

сделанные человеком, способны изменить эту характеристику. Сегодня ученые уже видят на человеческой ДНК отпечаток нашей культуры.

К примеру, тот факт, что некоторые взрослые люди могут пить молоко, достигнут совместной эволюцией культуры и генов. Вообще-то это очень странная особенность для млекопитающего. Одним из основных ингредиентов молока является сахар под названием лактоза, для усвоения которого в кишечнике млекопитающих вырабатывается фермент лактаза, способный расщеплять его на перевариваемые частицы. Как правило, млекопитающие вырабатывают лактазу только в младенчестве, пока питаются материнским молоком; вырастая, они прекращают это делать. Типичному взрослому млекопитающему незачем вырабатывать лактазу, ведь ему не нужно переваривать молоко.

Подобно другим млекопитающим, большинство людей, вырастая, прекращает выработку лактазы. Свежее молоко им неприятно — вместо того чтобы расщепляться и перевариваться, лактоза накапливается и служит питательной средой для колонии бактерий. Отходы жизнедеятельности этих бактерий вызывают газоотделение и диарею. (В сыре и йогурте лактозы меньше, поэтому переваривать их проще.)

Тем не менее у некоторых людей (включая половину всех американцев) в генах имеется мутация, которая блокирует выключатель лактазы. Эти люди и взрослыми вырабатывают фермент и без проблем пьют молоко. Такая способность распространилась среди людей только после одомашнивания скота, которое произошло 10 000 лет назад. В племенах, живших в основном за счет домашнего скота, — к примеру, в племенах Северной Европы и южной части Сахары — способность усваивать молоко давала эволюционное преимущество. Соответствующая мутация быстро распространилась среди этих племен. Но у народов, никогда не державших скота (к примеру, австралийские аборигены и американские индейцы), гены, позволявшие пить



молоко, не давали преимуществ и потому не получили широкого распространения.

В разные периоды истории человеку приходилось не только приспосабливаться к новому рациону питания, но и сталкиваться с различными болезнями. Племенам, обосновавшимся в тропических районах, приходилось бороться против малярии, потому что комары-переносчики в этом климате чувствуют себя прекрасно. В регионах, где распространена малярия, часто встречаются также болезни крови, практически неизвестные в других местах. К примеру, люди африканского и средиземноморского происхождения часто страдают серповидноклеточной анемией. Их эритроциты содержат видоизмененный ущербный гемоглобин (особые молекулы, при помощи которых клетка переносит кислород из легких). Отдавая кислород, гемоглобин в этих клетках сжимается, и сами клетки, съеживаясь, превращаются из пухлых шариков в тощие трубочки. В таком виде эритроциты застревают в мелких сосудах, формируя опасные сгустки или даже разрывая сосуды. Когда поврежденные эритроциты проходят через селезенку, лейкоциты распознают их как ущербные и уничтожают. Тромбообразование и потеря эритроцитов могут вызвать гниение костей и отслоение сетчатки; в конце концов серповидноклеточная анемия вполне может убить.

Каждый год в Африке южнее Сахары рождается около 150 000 детей с этим диагнозом, и мало кто из них доживает до года. Чтобы получить серповидноклеточную анемию, человек должен унаследовать две копии мутантного гена, отвечающего за гемоглобин, — по одному от каждого из родителей. Одной копией такого гена обладает гораздо больше людей; у них гемоглобин также деформирован, но лишь слегка. Учитывая последствия, серповидноклеточная анемия должна была бы встречаться значительно реже, чем это происходит на самом деле. Практически неизбежная смерть людей с двумя копиями гена по идее должна была бы почти полностью вывести этот ген из обращения.

Но ген серповидноклеточной анемии не уходит потому, что способен не только отнимать, но и давать жизнь. Паразит, вызывающий самую неприятную форму малярии, *Plasmodium falciparum*, проникает в эритроциты человека и поедает гемоглобин. Он вызывает сильную лихорадку, а пораженные им эритроциты начинают склеиваться и быстро образуют смертельно опасные сгустки. Но если паразит пожирает гемоглобин в клетке с дефектным геном гемоглобина, клетка теряет кислород и схлопывается в серповидную форму. В таком виде она не может склеиваться с другими клетками, и опасных кровяных сгустков не возникает. Кроме того, серповидные клетки деформированы настолько явно, что лейкоциты в селезенке быстро распознают их и уничтожают вместе с притаившимся паразитом.

Таким образом, человек с одной копией серповидного гена может пережить приступ малярии, который убил бы человека с нормальными генами. Естественный отбор убирает копии гена в людях, которым их достается две штуки, но способствует его распространению, позволяя людям с одной копией гена иметь детей.

Ген серповидноклеточной анемии распространяется вместе с сельским хозяйством. Прежде, когда люди еще не возделывали землю, малярия, скорее всего, не была таким серьезным бичом, как сегодня. К примеру, 5000 лет назад большая часть Африки южнее Сахары была сплошь покрыта лесами. На нижнем «этаже» африканских лесов относительно немного комаров; большинство их видов сосет кровь птиц, обезьян, змей и других обитателей древесных крон. Но затем появились крестьяне, и начали вырубать леса и превращать их в возделываемые поля. На обнаженной эродирующей земле образовались грязные лужи и небольшие пруды, идеальная среда для размножения *Anopheles gambiae* — относительно редкого прежде вида комаров, которые предпочитают питаться человеческой кровью. Крестьяне, днем работавшие в полях, а на ночь возвращавшиеся в деревню, стали

для этих комаров легкой добычей; вместе с кровью от человека к человеку путешествовали и плазмодии. Одновременно с распространением малярии начали развиваться и механизмы защиты от нее. Иными словами, серповидноклеточная анемия — это та цена, которую человечеству приходится платить за земледелие.

Иногда культура может изменить направление естественного отбора, но в целом она, вероятно, просто замедляет эволюцию человека до черепаших темпов. Гены, которые когда-то снижали репродуктивный успех, сегодня не представляют такой опасности. К примеру, из каждых 10 000 детей в США один рождается с генетическим расстройством, известным как фенилкетонурия; у таких детей нарушен аминокислотный обмен, они не могут расщеплять аминокислоту фенилаланин. По мере того как они получают эту аминокислоту с пищей, фенилаланин накапливается у них в крови; рано или поздно уровень становится критическим, от этого страдает мозг и развивается умственная отсталость. Прежде мутации, вызывающие фенилкетонурию, снижали приспособленность человека, но теперь родители имеют доступ к медицинским знаниям и могут спасти своих детей. Диета с низким содержанием фенилаланина позволяет сохранить мозг детей здоровым. Благодаря медицине и другим изобретениям человеку удалось приглушить выраженные различия между успешными и неудачными генами и затруднить действие естественного отбора.

Не исключено, что в будущем культурная эволюция замедлит биологическую еще сильнее. Естественный отбор работает быстрее всего, когда разница в репродуктивном успехе отдельных людей очень заметна — кто-то вовсе не имеет детей, кто-то заводит многочисленное потомство. Сегодня люди во всем мире лучше питаются, лучше сохраняют здоровье, живут более обеспеченно — и заводят меньше детей. А поскольку различия в репродуктивном успехе людей становятся меньше, действие естественного отбора ослабевает.

Еще одну угрозу будущей эволюции представляет сам человеческий геном. Все люди на Земле происходят от маленькой группы гоминид, обитавшей в Африке между 170 000 и 60 000 лет назад. В этой небольшой исходной популяции генетическое разнообразие было относительно невелико, и времени по эволюционным меркам прошло немного, так что новое разнообразие появиться тоже не успело. В одной популяции шимпанзе, населяющей заповедник Тай в Кот д'Ивуаре, больше генетического разнообразия, чем во всем человеческом населении земного шара. Время от времени в разных популяциях людей, конечно, возникают мутации, и кое-где естественный отбор сумел подхватить и распространить новые гены — к примеру, там, где особенно важны молочная пища или борьба с малярией. Но гены, помимо всего прочего, способны распространяться и перемешиваться при контактах людей между собой. История человечества — это в первую очередь история смешения.

Луиджи Кавалли-Сфорца из Стэнфордского университета обнаружил в Италии «отпечаток» генов, принесенных сюда греческими колонистами, которые селились в южной части итальянского «сапога» и на востоке Сицилии; на западе Сицилии — финикийцев и карфагенян; на севере — кельтов. В окрестностях Генуи присутствуют следы загадочных лигурийцев, завоеванных римлянами; возле Тосканы гены этрусков сохранились до сегодняшнего дня, хотя их цивилизация исчезла с лица земли еще 2500 лет назад. В окрестностях Анконы сохранилась группа генов со времен цивилизации, существовавшей в этих краях 3000 лет назад и известной как умбро-оско-сабельская. Эти гены могли распространяться по Италии еще в те времена, когда путешествовать человек мог только на парусном судне или на лошади. По мере развития транспорта скорость распространения и смешения генов только увеличивалась. Европейцы прибыли в Новый Свет и привезли с собой африканских рабов. Началось смешение генов трех континентов. Сегодня иммигранты переме-

щаются на самолетах, и потоки генов на планете еще ускоряются. В бушующем море ДНК уже не существует изоляции, позволяющей возникнуть новому виду человека. В ближайшем будущем на великом эволюционном древе гоминид, включавшем в свое время 15 или даже больше видов, будет развиваться лишь одна ветвь — наша собственная. Но даже внутри вида естественному отбору очень трудно будет произвести сколько-нибудь заметные изменения.

## ИСКУССТВЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Независимо от того, как ведет себя биологическая эволюция человека — катится вперед, как положено, ползет или вообще останавливается, — можно точно сказать, что вместе с человеком современного типа на Земле возник новый тип эволюции. Культура тоже эволюционирует. Эволюционируют языки, эволюционируют самолеты, эволюционируют музыка, математика, кулинария... даже мода на шляпки и та эволюционирует. Творения человека изменяются во времени, и их эволюция самым причудливым образом отражает биологическую эволюцию. Языки разветвляются и образуют новые примерно так же, как это происходит с видами животных: чем дольше диалект существует в изоляции от основного языка, тем более непохожим и своеобразным он становится. Ученые могут даже составить эволюционное древо языков и проследить таким образом их историю, причем методы здесь используются те же, что и при составлении эволюционного древа гоминид.

Еще одна характерная черта биологической эволюции — экзаптация, то есть использование готовых приспособлений и структур для выполнения новых задач. К примеру, ноги, возникшие у рыб, позже были использованы для передвижения по суше. Стивен Гулд указывает, что почти то же самое происходит и в технике. Так, на рынках Найроби можно приобрести

сандалии, сделанные из автомобильных покрышек. «Из покрышек получаются очень хорошие сандалии, — пишет Гулд, — но никому не придет в голову сказать, что Goodrich (или кто угодно) делает покрышки, чтобы обеспечить обувью страны третьего мира. Долговечность в сандалиях — скрытое свойство автопокрышек, и производство таких сандалий иллюстрирует забавный функциональный сдвиг».

Биологическая эволюция и эволюция культуры похожи ровно настолько, чтобы ученые обратили на это внимание и заинтересовались: не действуют ли в обоих случаях одни и те же принципы? В книге «Эгоистичный ген» (1976) Ричард Докинз отмечал, что наши мысли удивительно похожи на гены. Песня, к примеру, представляет собой определенный объем информации, закодированной в вашем мозгу, но, когда вы ее поете другим, она откладывается и в их мозгу тоже. Примерно так же, как передается вирус простуды при чихании. Докинз назвал такие вирусоподобные кусочки информации «мемами». К ним применимы те же законы, что управляют распространением или гибелью генов. Одним генам удастся лучше копировать себя, чем другим. Так, ген, порождающий дефектный зрительный рецептор, не сможет распространяться с такой же легкостью, как тот, что позволяет своему владельцу видеть. Точно так же некоторые мемы распространяются легче, чем другие, и какая-нибудь мутация может дать ему конкурентное преимущество, которого прежде у него не было.

Чтобы добиться успеха, мему не обязательно превосходить все остальные мемы в интеллектуальном плане. Необходимо лишь добиться самокопирования. Один из любимых примеров самого Докинза — «письмо счастья», обещающее получателю удачу и всяческие блага, если он разошлет его своим друзьям. «Письмо счастья» не поможет человеку выиграть в лотерею или излечиться от рака; оно просто манипулирует надеждами людей и заставляет их копировать его, распространяя по все-

му миру. В настоящее время Интернет забит глупыми шутками и фотографиями голых знаменитостей, которые путешествуют от компьютера к компьютеру просто в силу любопытства или скуки тех, кто бродит по Сети.

Однако во многих отношениях культура эволюционирует иначе, чем вирусы и другие биологические объекты. Мы ведь не вносим мелкие случайные изменения (мутации) в ту или иную идею и не выпускаем после эти слегка измененные представления в интернетный мир, чтобы они там выжили или погибли. Мы тщательно все обдумываем. Мы смешиваем свои представления с другими идеями, переплавляя их. Мемы не прыгают непосредственно из одного мозга в другой, как ДНК, которая при передаче от одного поколения к следующему копируется буква за буквой, в точности. Люди наблюдают за действиями других людей и пытаются подражать им, иногда успешно, иногда нет.

В некоторых отношениях культурная эволюция больше соответствует теории Ламарка, а не Дарвина. Ламарк считал, что если шея у жирафа удлинилась на протяжении его жизни, то он может передать эту особенность своим отпрыскам. Так, отец учит сына ковать мечи, но затем сын на собственном опыте может найти лучший способ закалки или фальцовки стали; затем он может передать новый способ своему сыну.

Сегодня становится ясно, что гены не всегда терпеливо ждут, пока нынешнее поколение передаст их следующему. Им не однажды случалось путешествовать по древу жизни, перескакивая с ветки на ветку. Иногда перенос генов от одного вида другому происходит при помощи вирусов, иногда во время еды — когда один организм пожирает другой. Так и фрагмент какой-то культуры может перепрыгнуть в другую культуру и образовать там нечто новое. Мы знаем, что Марко Поло привез в Европу порох, а синкопированные музыкальные ритмы появились в Америке вместе с африканскими рабами. Английский язык, на котором я пишу эти строки, не совпадает в точности с язы-

ком Чосера; в нем присутствует множество заимствованных слов со всего мира.

Мы живем в симбиозе с культурой. Понятие плуга может сохраняться только в том случае, если кто-то думает о плуге. А если бы плуга не было, большинству людей на планете пришлось бы голодать. По большей части технологические изобретения работают как продолжение нашего тела, расширяя его возможности. Копье позволяет охотнику убить оленя, не имея ни когтей, ни клыков. Ветряная мельница перемалывает зерна и семена гораздо эффективнее, чем наши собственные зубы. Книги — продолжение нашего мозга, позволяющие человечеству иметь коллективную память гораздо более мощную, чем может быть у одного человека.

В 1940-е гг. человек впервые столкнулся с новой формой культуры: с компьютером. Компьютер может служить даже более эффективным расширением возможностей мозга, чем книга. Информация в нем хранится в более компактной форме (сравните любую энциклопедию, занимающую в печатном виде не одну книжную полку, и ее же версию на компакт-диске). Более того, компьютер — первое орудие, способное обрабатывать информацию примерно на тех же базовых принципах, что и человеческий мозг; компьютер воспринимает, анализирует, планирует. Конечно, сам по себе он ничего сделать не может; необходима программа, управляющая его работой примерно так же, как ДНК управляет работой клетки.

В начале 1950-х на всей Земле не набралось бы и одного мегабайта оперативной памяти (RAM). Сегодня в каждом дешевом домашнем компьютере содержится 50 и более мегабайт такой памяти, и они перестали быть одинокими островками из кремния: начиная с 1970-х гг. компьютеры мира начали объединяться во Всемирную паутину, которая теперь пронизывает весь мир, подобно грибнице. Сеть охватывает весь земной шар, включая в себя не только компьютеры, но и автомобили, кассовые ап-



параты и телевизоры. Мы окружили себя глобальным мозгом, который соединен с нашим собственным мозгом; наш интеллектуальный лес все сильнее зависит от скрытой грибницы.

Компьютеры честно выполняют все, что мы им велим. Они могут управлять полетом межпланетного аппарата, совершающего маневры вокруг колец Сатурна. Они могут постоянно отслеживать содержание инсулина в крови диабетика. Но нельзя исключить, что когда-нибудь глобальная сеть, став достаточно сложной, спонтанно обретет разум, подобный нашему собственному, — а может быть, и осознает себя. Исследования, начатые в области искусственной жизни и компьютерной эволюции, показывают, что такая эволюция может привести к появлению разума, не похожего на наш. Если компьютеру позволено предлагать собственные решения поставленной задачи, он вырабатывает варианты, которые могут показаться нам лишёнными смысла. Нельзя сказать, во что может вылиться эволюция глобальной компьютерной сети. Не исключено, что со временем наша собственная культура станет для нас дорогим гостем, мозгом-симбионтом. Львы на стенах пещеры Шове пустятся в пляс.

## КАК НАСЧЕТ БОГА?

Элизабет Стейбинг — старшекурсница христианского колледжа в городе Витон в штате Иллинойс. Девиз этого учебного заведения — «Christo et Regno Ejus» («За Христа и Царствие Его»). Сама Стейбинг — набожная христианка — находит в своей вере глубокий источник силы. «Я думаю, что на самом деле от вашего мировоззрения зависит, где вы окажетесь в жизни, — говорит она. — Я хочу стать врачом и помогать людям. Дело не в том, что этим нельзя заниматься без моего взгляда на мир. Просто, если я хочу служить Господу и делаю то, что угодно Ему, вся картина становится более значительной. Отрадно думать, что по выбранному пути я иду вместе с ним».

Но Стейбинг не ограничивается слепой верой; она — христианка, которая задает множество вопросов. Непростых вопросов, таких как существование зла и страдания невинных. «Очень трудно объяснить людские страдания, я много думала об этом, — говорит она. — У нас есть профессора, к которым я часто хожу на лекции и задаю по-настоящему жесткие вопросы; конечно, у них тоже нет готовых ответов на все. Но мне очень нравится слушать то, что они рассказывают, потому что они ступили на этот путь много раньше меня».

Стейбинг приехала в США учиться, а выросла она в Замбии. «Мы жили за городом в лесу и держали у себя всевозможных зверей — хамелеонов, обезьянок-галаго, змей, всех даже не упомнишь. Так что нас всегда окружала природа». В Витоне она изучает биологию, и профессора рассказывают студентам об эволюции. «Я не могу безоговорочно утверждать, — говорит девушка, — но мне кажется, что эволюция лучше согласуется с объективными фактами, чем любая другая теория».

Стейбинг знает, что некоторые другие студенты колледжа не хотят изучать теорию эволюции и что есть родители, которые не посылают детей учиться в Витон именно по этой причине. «Я просто не могу понять, — говорит она. — Если это интеллектуальное занятие, то я не хочу прятаться от него только потому, что в каких-то деталях оно задевает мою теологию».

Но Стейбинг задает вопросы. Что означает эволюция для веры? С другой стороны, она не считает, что, чтобы быть христианкой, надо отрицать эволюцию. «Мне кажется, что процесс эволюции налицо. И доказательств тому очень много. Но говорить, что эволюция исключает Бога, это чересчур. Я имею в виду, если Бог хочет действовать через Свои творения, в чем проблема? Сегодня мы говорим, что Бог, имея дело с человеком, проявляет Свою волю в материальных процессах. Почему же раньше, в древние времена, он не мог поступать так же?»

Некоторые люди, знает Стейбинг, возражают на это и говорят, что одно противоречит другому. «Если экстраполировать эволюционную модель и сказать, что не потребовалось никакого другого вмешательства, чтобы мы стали такими, какие мы есть, и что все это исключительно естественный отбор, то действительно встает вопрос: что значит быть человеком», — говорит она.

В конце концов все ее вопросы об эволюции сводятся к одному. «Если у всего есть естественная причина, то где же здесь место Богу? — спрашивает она. — Я много раз пыталась найти ответ».

И не она одна.

С момента выхода в свет первого издания «Происхождения видов» люди задумались над вопросом том, как выглядит в свете эволюции смысл жизни — их конкретно и человечества в целом. Что мы такое — биологическая случайность или космический императив? Оказалось, что для некоторых людей единственный вариант ответа на непростые вопросы Стейбинг — это полное отрицание эволюции и всех свидетельств в ее пользу. Именно так поступил епископ Уилберфорс в 1860 г. И сегодня возражения Дарвину звучат в полный голос, особенно в стране, где он никогда не бывал: в Соединенных Штатах.

## ДАРВИН И АМЕРИКА

Хотя сам Дарвин никогда не бывал в США, теорию эволюции представил в этой стране его друг ботаник Аза Грей. В рецензии на «Происхождение видов», опубликованной в журнале *Atlantic monthly*, он заявил, что американцам в поисках ответов на вопросы биологии не следует больше ориентироваться на буквальное прочтение Книги Бытия. В конце концов, физиков не устраивает простое объяснение, что Бог сотворил небо и землю; в то время они уже начинали понимать, что Солнечная система возникла из пылевого облака. «Нельзя ожидать, что сознание нашей эпохи не усомнится в старых представлениях о биологических видах», — писал Грей.

Как и европейские коллеги, большинство американских ученых к концу XIX в. приняли теорию эволюции, хотя некоторые из них с сомнением отнеслись к деталям теории естественного отбора. Но насколько могут судить историки, никого из ученых чтение Дарвина не заставило отказаться от религиозных взглядов. Сам Грей тоже был набожным христианином и утверждал, что, возможно, божественное вмешательство каким-то образом направляет ход естественного отбора.

Некоторые лидеры американских протестантов отнеслись к появлению дарвинизма враждебно, но, как правило, публично своих взглядов они не высказывали. В то время как ученые выражали сомнения относительно этой теории, религиозных деятелей вполне устраивала позиция наблюдателей. Но к концу XIX в., когда сомнения ученых утихли, лидеры протестантов начали борьбу. Дарвинизм в их глазах был не просто заблуждением, но заблуждением опасным. Только если Бог собственноручно создал человечество по Своему образу и подобию, могут у нас быть основания для нравственности. А дарвинизм, с их точки зрения, низводил человека до положения обычного животного. Если человек — всего лишь продукт естественного отбора, то как можем мы быть особым, любимым творением Господа? А если и это не так, то зачем людям обращаться к Библии?

Их моральные возражения затмевали научные. На грани XIX и XX вв. большинство американских протестантов воспринимало Библию как по большей части буквальную истину, но в то же время мало кто верил, что Бог действительно сотворил нашу планету всего несколько тысяч лет назад за шесть дней. Некоторые считали, что в первой строке Книги Бытия — «В начале сотворил Бог небо и землю» — подразумевается громадный промежуток времени, за который были созданы материя, жизнь и даже палеонтологические окаменелости. Затем Бог уничтожил это доадамово творение и в 4004 г. до н. э. — момент, вычисленный епископом Ушером, — соорудил Эдемский сад. Здесь, в новом варианте творения, Бог заново создал комплект животных, растений и всех остальных живых существ за шесть реальных дней. Подобная космология может вместить в себя и старую Вселенную, и старую Землю вместе с вымершей жизнью и древней геологией, поскольку все это запросто укладывается в безразмерное «начало».

Другие утверждали, что слово «день» в Книге Бытия — всего лишь поэтическое выражение, не подразумевающее конкретно промежуток времени в 24 часа. Они интерпретировали шесть

дней творения как шесть больших промежутков времени, на протяжении которых Бог сотворил мир и все живое. Древняя Земля с давней биологической историей ничем этой теории не угрожала. Каким бы древним ни оказался мир, важно было одно: Бог — а не эволюция — создал жизнь на Земле и человека в особенности.

Даже в конце XIX в. дарвинизм представлялся консервативным американским христианам всего лишь отдаленной угрозой, игрушкой ученых в нескольких американских университетах. Но к началу 1920-х гг. противоречия по поводу отношения к Дарвину, до того тихо тлевшие, вспыхнули ярким пламенем.

### «ДАВАЙТЕ ОПРЕДЕЛИМСЯ...»

Одной из основных причин такой перемены стал подъем государственного образования. В 1890 г. государственные школы посещало всего 200 000 американских детей, но к 1920 г. это число выросло до 2 млн. В учебниках, которые выдавали на занятиях по биологии, содержалась и теория эволюции, которая рассматривалась как процесс генетических мутаций и естественного отбора. Для противников эволюции эти учебники олицетворяли собой безбожное вмешательство в жизнь детей.

Еще одной причиной конфликта стала роль эволюции в некоторых тревожных культурных переменах как в Соединенных Штатах, так и в Европе. Первая мировая война стала беспрецедентной мясорубкой, и некоторые немцы попытались оправдать массовые убийства законами эволюции. Вдохновение они черпали в трудах влиятельного немецкого биолога Эрнста Геккеля, который рассматривал человека как венец эволюции и утверждал, что мы продолжаем эволюционировать, стремясь к еще более невероятным высотам. В книге «Естественная история миротворения» Геккель писал: «Мы гордимся тем, что опередили так необычайно своих низших животных предков, и черпаем из это-

го утешительную уверенность в том, что и дальше человечество в целом будет следовать по славному пути прогрессивного развития и достигнет еще более высокой степени умственного совершенства».

Но для Геккеля некоторые люди были более прогрессивны, чем другие. Он разделил род человеческий на 12 отдельных видов и выстроил их по ранжиру — от низших к высшим. В самом низу у него находились различные виды африканцев и аборигенов Новой Гвиней, а на вершине — европейцы, «*Homo mediterraneus*». А внутри *H. mediterraneus* особняком, на самой-самой вершине стояли соплеменники Геккеля — германцы. «Именно германская раса в северо-западной Европе и Северной Америке, будучи выше прочих, распространяет в настоящее время сеть своей цивилизации на весь земной шар и закладывает фундамент новой эры высшей ментальной культуры», — писал он. Рано или поздно прочие расы в большинстве своем должны будут «окончательно пасть в борьбе за существование перед превосходством среди-земноморской расы».

Представления Геккеля о будущей судьбе человечества стали основанием для новой биологической религии, получившей название монизм. Группа его верных последователей, называвшая себя Лигой монистов, объявила, что на следующей стадии эволюции Германия должна стать мировой державой, и призвала соотечественников вступить в Первую мировую войну не ради каких-то политических целей, а следуя своей эволюционной судьбе.

В Англии и Соединенных Штатах тем временем теорию эволюции пытались использовать для биологического оправдания капитализма и законов свободной конкуренции. Британский философ Герберт Спенсер, проповедующий смесь из дарвиновского естественного отбора и эволюции по Ламарку, утверждал, что конкуренция на свободном рынке заставит человеческий разум эволюционировать быстрее. Спенсер признавал, что на этом пути неизбежно будут страдания (так, он считал,

что голод в Ирландии наглядно показывает, что этот народ движется «прямой дорогой к вымиранию»), но эти страдания оправданны, поскольку через них человечество поднимется к нравственному совершенству.

У Спенсера появились поклонники во всем мире, особенно среди новых баронов промышленной революции, заработавших состояния грабежом. Эндрю Карнеги называл Спенсера «Главный учитель». Последователи Спенсера сформулировали на основе его взглядов теорию, которая получила название социального дарвинизма. Согласно этой теории невероятное неравенство бедных и богатых в конце XIX в. вовсе не было несправедливостью, а объяснялось законами биологии. «Миллионеры — продукт естественного отбора, который действует на все человечество и выбирает тех, кто соответствует определенным требованиям и может выполнить необходимую работу», — говорил йельский социолог Уильям Самнер, лидер социал-дарвинистов.

Социал-дарвинизм, как и монизм, не имел под собой никакой научной основы. Он брал вырванное из научного биологического контекста понятие естественного отбора и помещал в социальную среду, смешивая теорию Дарвина с дискредитировавшей себя теорией Ламарка. Однако, невзирая на ненаучность, социал-дарвинизм придавал попыткам правительств контролировать эволюцию рода человеческого, видимость законности. В начале XX в. в США и других странах практиковали стерилизацию умственно отсталых граждан и других, кого считали дегенератами, чтобы они не мешали эволюции их наций.

Некоторые учебники, которыми пользовались в американских школах, приветствовали государственный контроль над размножением. В учебнике «Общественная биология» (1914) автор писал о семьях, в которых склонность к преступности и другие пороки считались (ошибочно) наследственным проклятием. «Если бы такие люди были низшими животными, мы, вероятно, убивали бы таких особей, чтобы не дать им распространяться.



Гуманность этого не позволяет, но у нас все же есть средство — содержать мужчин и женщин отдельно в клиниках или других местах, различными способами не позволять им вступать в брак и продолжать столь низкий и дегенеративный род».

В бурлящем котле философских и социальных течений, расцветавших пышным цветом в начале XX в., родился фундаментализм. Фундаменталисты стремились вернуть протестантизм к традиционным истокам; для этого, в частности, необходимо было убрать теорию эволюции из программы государственных школ. Возглавил фундаменталистов в этой борьбе политик Уильям Дженнингс Брайан. Политическая известность Брайана — он трижды выступал кандидатом от демократической партии на президентских выборах и был госсекретарем у Вудро Вильсона — привлекла к антиэволюционному движению внимание всей Америки.

Враждебность Брайана к эволюции не была связана с какой бы то ни было научной точкой зрения. Подобно многим другим фундаменталистам того времени, Брайан считал, что о шести днях творения в Библии говорилось метафорически и что они вовсе не равнялись 144 часам, как обычные шесть суток. Брайан не возражал даже против мысли о том, что животные и растения, возможно, эволюционировали и из более древних видов возникали новые. В эволюции его не устраивало другое: ему казалось, что дарвинизм плохо совместим с понятием души. «Я возражаю против Дарвиновой теории, — заявлял Брайан, — так как боюсь, что мы перестанем сознавать присутствие Господа в нашей повседневной жизни, если примем теорию о том, что во все времена и эпохи никакая духовная сила не прикасалась к человеческой жизни и не определяла судьбу государств. Но есть и еще одно возражение. Дарвинова теория представляет, что человек достиг своего сегодняшнего совершенства, действуя по закону ненависти — безжалостному закону, по которому сильные вытесняют и убивают слабых».

Брайан был бы совершенно прав, если бы он говорил о социал-дарвинизме или монизме, которыми некоторые охотно и не без успеха прикрывали жестокость, бедность и расизм. Но оба эти философских течения базировались на неверно понятом «Происхождении видов» Дарвина, замешенном на хорошей порции Ламарковой псевдонауки. Брайан не сумел увидеть разницу и объявил именно Дарвина своим личным врагом; по пути он посеял зерна раздора и путаницы, которые процветают в США до сих пор.

## ОБЕЗЬЯНИЙ ПРОЦЕСС: ПОКАЗАТЕЛЬНЫЙ СУД НАД ЭВОЛЮЦИЕЙ

В 1922 г. Брайан узнал, что Баптистский совет миссий штата Кентукки вынес резолюцию, призывающую принять в штате специальный закон и запретить преподавание эволюции в государственных школах. Брайан подхватил призыв совета и начал ездить по штату с лекциями и выступлениями на эту тему. Закон был выдвинут на рассмотрение палаты представителей штата Кентукки, но не прошел с разницей всего в один голос. К тому моменту Брайан и его товарищи-креационисты успели разнести знамя крестового похода против преподавания эволюции в школах по другим южным штатам, и в 1923 г. штат Теннесси первым принял соответствующий закон.

Американский союз защиты гражданских свобод (American Civil Liberties Union, ACLU) выступал против принятия такого закона на том основании, что он лишает школьных учителей свободы слова. В порядке борьбы с законом союз объявил, что будет защищать любого учителя из Теннесси, который его нарушит. План состоял в том, чтобы привлечь как можно больше внимания к судебному процессу, который, как все понимали, будет проигран, а затем обжаловать решение суда на том основании, что сам закон неконституционен. Если бы ACLU

удалось выиграть кассационную жалобу на этом основании, закон был бы отменен.

«Отцы» сонного городка Дейтон в штате Теннесси услышали о предложении ACLU. Сам закон, как и теория Дарвина, был им неинтересен, но в одном эти почтенные люди были едины: показательный процесс сделает их городок известным на всю Америку. Они встретились в местной аптеке с молодым учителем и тренером школьной команды по регби по имени Джон Скопс. Вообще-то Скопс преподавал физику, но он рассказал, что в роли подменного учителя ему приходилось преподавать и теорию эволюции по учебнику «Общественная биология». Отцы города спросили его, не согласится ли он предстать перед показательным судом, и Скопс после некоторых раздумий согласился. Тут же, в аптеке, ему была выписана повестка в суд, после чего учитель отправился играть в теннис.

Руководство ACLU ожидало, что Скопса быстро признают виновным и приговорят к штрафу, после чего они смогут приступить к настоящему делу — подать кассационную жалобу. Но получилось иначе. Брайан, случайно оказавшийся в тот момент в Теннесси, объявил, что приедет в Дейтон «помочь» обвинению, — и тем самым превратил и без того шумный процесс в сенсационный. После этого ACLU получил от адвоката Кларенса Дарроу предложение, от которого не смог отказаться. Дарроу только что приобрел всеамериканскую известность: в 1924 г. он защищал в суде Натана Леопольда и Ричарда Лоба, двух студентов университета, убивших просто для развлечения подростка. Дарроу убедил судью, что, хотя оба они виновны, казнить их все же не следует. Их преступление — не хладнокровное убийство с корыстной целью, а просто продукт двух «больных умов».

Именно такой материалистический взгляд на природу человека Брайан ненавидел и презирал больше всего. Да и красноречивый агностик Дарроу не любил Брайана, считая того всего лишь горлопаном. Дарроу прислал в ACLU телеграмму с предло-

жением своих услуг и не забыл одновременно направить копию телеграммы в прессу. У лидеров ACLU, по существу, не было выбора — под окном толпились репортеры, ожидавшие их реакции на предложение Дарроу. В этот момент инициаторы всей этой истории потеряли контроль над ходом событий.

В суде встретились два знаменитых человека и страстных оратора, два непримиримых противника; неудивительно, что процесс привлек всеобщее внимание. А поскольку в домах многих американцев к тому моменту появились радиоприемники, то и слушала процесс — впервые в истории — вся Америка. Обезьяний процесс — а под таким названием суд над Скопсом остался в истории — обернулся настоящей драмой (о нем была написана пьеса «Пожнешь бурю» и позже снят фильм). Дарроу зашел так далеко, что вызвал свидетелем самого Брайана и долго мучил его вопросами о противоречиях креационизма. Дарроу вынудил свидетеля признать, что сам он не верит в шесть дней творения буквально, продемонстрировав тем самым, что Библия допускает множество самых разных интерпретаций, иные из которых вполне могут включать в себя и эволюцию. Но на следующий день судья постановил исключить показания Брайана из материалов процесса. Дарроу тут же потребовал, чтобы Скопса признали виновным. Он уже думал об апелляции.

Публика назвала Дарроу победителем Обезьяньего процесса, но на самом деле преподавание эволюции в школах только пострадало от его громогласной защиты. Жюри присяжных признало Скопса виновным, и судья присудил ему штраф в 100 долларов. Дарроу подал апелляцию в Верховный суд штата, и через год первоначальное решение было отменено — но не на конституционных основаниях, как надеялся ACLU. Судья на первом процессе назначил Скопсу штраф в 100 долларов, тогда как по законам штата Теннесси штрафы больше 50 долларов могло назначать только жюри присяжных. Так что приговор был отменен

на чисто формальном основании. «Продолжать это нелепое дело бессмысленно», — заявили судьи.

Дарроу, очевидно, больше интересовали собственные громкие речи, а не существо дела; на первом процессе он не выдвинул протеста против неправомочного решения судьи и тем самым лишил ACLU возможности оспорить запрет на преподавание эволюции как антиконституционный. В результате антиэволюционный закон действовал в штате Теннесси в течение сорока лет, а к концу 1920-х гг. союзники Брайана провели аналогичные законы в штатах Миссисипи, Арканзас, Флорида и Оклахома.

## ПОДЪЕМ «НАУКИ О СОТВОРЕНИИ МИРА»

В 1940-х и 1950-х гг. США стали центром исследований в области эволюционной биологии. Там работали ведущие авторы синтетической теории эволюции, такие как Феодосий Добжанский, Эрнст Майр и Джордж Симпсон. Американская палеонтология, генетика и зоология славились во всем мире, однако мало что из этого нового знания просачивалось во внешний мир, выходило за пределы музеев и университетских кафедр. Широкая публика оставалась в неведении. Креационисты давили на издателей и требовали исключить из учебников всякое упоминание об эволюции. Издатели, опасаясь лишиться бизнеса, подчинялись.

Ситуация начала меняться в 1960-х гг., отчасти благодаря запуску в 1957 г. советского спутника. Триумф советской науки вызвал в Америке общую панику и тревогу о состоянии американской системы научного образования — включая преподавание эволюции. Учебники вновь начали рассказывать об эволюции, и к 1967 г. даже в Теннесси был отменен закон, по которому в свое время был осужден Скопс.

В этот же период роль нового Скопса на новом публичном процессе довелось сыграть молодой учительнице из Аркан-

заса по имени Сьюзен Эпперсон. Эпперсон выступила против антиэволюционного закона, утверждая, что он насаждает в государственных школах религию. Верховный суд штата Арканзас отказался выслушать дело, ограничившись заявлением, что закон этот имеет силу в рамках правовой системы штата. Наконец-то ACLU получил возможность инициировать процесс, который ему не удалось начать 40 лет назад. Юристы ACLU подали от имени Эпперсон апелляцию в Верховный суд США, и в 1968 г. закон штата Арканзас был отменен. Судья Верховного суда Эйб Фортас написал, что этот закон — «попытка вымарать одну конкретную теорию из курса государственного образования» с целью продвижения религиозных взглядов.

Ирония судьбы заключается в том, что заявление Фортаса и решение Верховного суда США, вполне возможно, подтолкнули креационистов к выработке новой стратегии, которой они пользуются до сего дня. Голословные заявления о безнравственности дарвинизма сменились утверждениями о том, что креационизм — жизнеспособная альтернативная научная теория происхождения жизни на Земле. Всякий, кто будет ратовать за исключение «креационистской науки» из школьных программ, утверждали креационисты, окажется виновен в попытках вымарать одну конкретную теорию из курса государственного образования. Вместо этого школы должны преподавать обе теории на равных и предоставлять право выбора учащимся.

Первый манифест «креационистской науки» появился в 1961 г. Им стала книга «Потоп из Книги Бытия», написанная инженером-гидравликом по имени Генри Моррис. Моррис воскресил старое течение креационизма, предлагавшее воспринимать Библию крайне буквально. Он утверждал, что сотворение Земли на самом деле уложилось в шесть суток, что возраст Земли — всего несколько тысяч лет и что все геологические формации и окаменелости на планете оказались на своих нынешних местах во время Всемирного Потопа. Моррис утверждал также,

что все новые доказательства древности Земли, такие как геологические часы, основанные на законах радиоактивного распада, ошибочны, испорчены и так или иначе недостоверны. Кроме того, он предложил некое, по его словам научное, объяснение библейским событиям. К примеру, Адам действительно смог дать имена всем живым существам за один день, потому что в своем эдемском совершенстве был гораздо умнее современных людей. В 1972 г. Моррис основал Институт креационистских исследований, который до сего дня выпускает книги, журналы и видеозаписи, организует и поддерживает интернет-сайты.

Моррис показал другим креационистам пример того, как нужно лакировать свои выступления против теории эволюции и прикрываться научной фразеологией. Некоторые креационисты, известные как «креационисты древней Земли», признают возраст Вселенной в 13 млрд лет и возраст Земли в 4,5 млрд лет, но утверждают, что человек был сотворен Богом отдельно от всего остального и совсем недавно. Неудивительно, что представители разных лагерей креационистов враждуют между собой. Креационисты древней Земли нападают на креационистов геологии Потопа за то, что те игнорируют факты, установленные геологией и астрономией. Креационисты геологии Потопа обвиняют креационистов древней Земли в том, что те отказались от слова Божьего и ступили на скользкий путь, ведущий к дарвинизму и атеизму. Конечно, все креационисты выступают против Дарвина, но выступают не вместе, а каждый со своих позиций.

## ПРОВЕРКА НА НАУЧНОСТЬ

Сторонники креационизма убедили законодателей штата Арканзас принять закон, который требует уделять в школьной программе равное время теории эволюции и креационизму. Суды оказались гораздо менее впечатлительными. Когда в 1982 г. этот

закон был оспорен в окружном суде, судья Уильям Овертон отменил его на том основании, что он противоречит первой поправке к Конституции США. В своем решении Овертон указал, что креационистская наука — вовсе не наука, а скорее попытка продвигать религию в государственных школах.

Наука — это поиск естественных объяснений всему, что мы наблюдаем вокруг себя. Центральное место в науке занимает процесс создания теорий. Говоря обычным языком, любая *теория* может быть связана с приблизительной оценкой или догадкой, но в науке все это имеет вполне конкретный смысл: теория — это всеобъемлющий набор утверждений о каком-то определенном аспекте Вселенной. Так, микробная теория утверждает, что некоторые болезни вызываются живыми организмами. Ньютонова теория всемирного тяготения гласит, что каждое тело во Вселенной притягивает к себе все остальные тела.

Теории невозможно доказать или опровергнуть непосредственно. Но зато они порождают гипотезы — проверяемые предсказания о конкретных приложениях той или иной теории. Если гипотезы подтверждаются данными экспериментов, если они ведут ученых к открытию новых принципов мироустройства и если данные других научных подходов также согласуются с ними — значит, теория подтверждается. Но научное знание непрерывно подвергается все новым проверкам и испытаниям, позволяющим проникнуть на более глубокие уровни реальности. Теория всемирного тяготения замечательно работает, ею вполне можно пользоваться при отправке космического корабля к другой планете. Однако, как оказалось, сама она является частью еще более обширной теории — теории относительности Эйнштейна. Тяготение, как предположил Эйнштейн, искривляет ткань пространства-времени. Одна из гипотез, выведенных из его теории, состоит в том, что свет далеких звезд должен искривляться в окрестности Солнца — и это предсказание подтвердилось во время затмения 1919 г. В настоящий момент физики пытаются



сформулировать еще более глобальную теорию устройства Вселенной, в которую можно было бы включить в качестве частных случаев и относительность, и другие теории, к примеру, квантовую.

Предсказательная мощь науки позволяет нам видеть в природе вещи, абсолютно недоступные нашим органам чувств. Никто никогда не видел центра Земли, но геологи знают, что там находится железное ядро (по измерениям магнитного поля планеты, которое оно создает, и по тому, как меняются, проходя сквозь него, сейсмические волны землетрясений). Невозможно увидеть воочию черную дыру, но теория относительности не только предсказывает их возникновение в результате коллапса звезд определенного типа, но и то, что у них будет своеобразный опознавательный знак — рентгеновские лучи, испускаемые веществом в момент поглощения. В настоящее время астрономы уже регистрируют эти предсказанные лучи.

Действие эволюции по большей части тоже скрыто от глаз человеческих, но разум помогает нам отыскать его свидетельства. Никто из ученых не жил 200 млн лет назад, но по геологическим данным мы можем определить, что Земля, которую населяли тогдашние животные, во многих отношениях была очень похожа на сегодняшнюю. На живущих ныне животных действуют законы эволюции, так что и на древних животных они, по всей видимости, тоже действовали. История жизни на Земле не зафиксирована в непрерывной летописи; тем не менее по свидетельствам, сохранившимся до наших дней, мы можем получить представление о том, что происходило на планете на протяжении всех этих 4 млрд лет.

Как признал в решении 1982 г. судья Овертон, креационизм никак не соответствует критериям научности. Ученые пытаются объяснить, как устроена природа, и из этих объяснений следуют вещи, которые можно проверить. Некоторые следствия из креационистских объяснений тоже можно проверить, и эти провер-

ки дают отрицательные результаты. Генри Моррис, к примеру, утверждал, что исходя из нынешних темпов роста населения Земли возраст вида *Homo sapiens* — всего несколько тысяч лет. Он просто экстраполировал современные данные о темпах роста в прошлое, до момента, когда на планете жили всего два человека (имеются в виду Адам и Ева). «Вероятная дата появления человека, вычисленная по статистическим данным, приходится на 6300 лет назад», — объявил в свое время Моррис.

Из этого заявления Морриса можно сделать вполне определенные выводы. С одной стороны, по его данным можно вычислить точное население Земли в любой момент в прошлом. К примеру, исторические записи ясно показывают, что египетские пирамиды были построены около 4500 лет назад. Если воспользоваться шкалой Морриса и подсчитать, сколько людей тогда жило на планете, получим, что всего 600 человек. Но имеются письменные свидетельства о народах, живших 4500 лет назад за пределами Египта, так что все 600 человек не могли жить именно в Египте. Учитывая, что площадь Египта составляет примерно 1% всей площади суши, получим, что на всей его территории могло в тот момент жить всего шесть человек. Чтобы поверить утверждению Морриса о том, что человечеству всего 6300 лет, мы должны поверить и тому, что пирамиды могла построить крохотная горсточка людей.

Пытаясь организовать свидетельства в пользу креационизма, его защитники заимствуют данные у ученых, но делают это очень избирательно, игнорируя полную картину. К примеру, иногда креационисты указывают на кембрийский взрыв как на свидетельство Господнего труда. «С нашей точки зрения принципиально важно, что к определенному моменту по предполагаемому геологическому календарю, известному широкой общественности как кембрийская эра, относится масса окаменелостей, которых в более древних слоях и породах практически нет, — пишут Уэйн Фрейр и Персиваль Дэвис в книге “В защиту

акта творения”. — Со сколько-нибудь научной точки зрения очевидно, что в тот момент произошло очень значительное событие. Представляется разумным предположить, что внезапная перемена во время периода, названного кембрийским, была результатом творческой деятельности Бога».

При этом креационисты оставляют за кадром несколько ключевых фактов. Геологическая летопись до кембрийского взрыва уходит в прошлое больше чем на 3 млрд лет. Палеонтологи обнаружили окаменелости многоклеточных животных возрастом 575 млн лет, причем некоторые из них явно находятся в родстве с группами животных, которые появились во время кембрийского взрыва, то есть на 40 млн лет позже. Кембрийский взрыв, конечно, произошел быстро по геологическим меркам, но все же процессы, получившие это название, продлились около 10 млн лет. А если судить по тому, как развиваются зародыши различных животных, получается, что всего нескольких небольших генетических изменений могут запустить многие из наблюдавшихся в то время драматических трансформаций тел животных.

Большинство доводов в пользу креационизма на самом деле вовсе не доводы, а просто придирки к эволюционной биологии. Многие креационисты, к примеру, готовы признать, что эволюция сама по себе может иметь место — в небольшом масштабе, в пределах вида: бактерии вырабатывают резистентность, а размеры клюва у Дарвиновых вьюрков могут меняться. Но микроэволюция такого рода, говорят креационисты, не имеет ничего общего с макроэволюцией — скажем, с появлением организмов, тело которых устроено совершенно по-новому. В доказательство этого они говорят, что никто никогда не видел подобной трансформации, да и среди окаменелостей нет промежуточных стадий, которые вроде бы должны при этом наблюдаться.

Дарвин в свое время тоже уделил внимание этому вопросу; в «Происхождении видов» он указал, что окаменелости образу-

ются очень редко и что палеонтологическая летопись в целом, по всей видимости, очень неполна. Тем не менее, несмотря на всю обрывочность материалов, палеонтологам уже удалось найти множество промежуточных форм, которых, по утверждениям креационистов, не могло существовать. Так, креационисты получали огромное удовольствие от отсутствия среди находок китов с ногами, но лишь до того момента, когда ученые впервые откопали именно такой экземпляр.

Многочисленные четвероногие киты, обнаруженные к настоящему моменту палеонтологами, скорее всего, являются древними родичами, а не прямыми предками современных китов. Тем не менее их положение на эволюционном древе наглядно показывает, как именно древние киты сменили сухопутный образ жизни на водный. Кит, конечно, совсем не похож на своих ближайших сухопутных родственников — коров и гиппопотамов; более того, трудно представить себе, как из одного могло получиться другое. Однако по окаменелостям переходных форм китов можно проследить, как именно, маленькими шажками, осуществлялась эта трансформация. К примеру, *Ambulocetus* — кит, похожий на аллигатора, — мог плавать как выдра, отталкиваясь короткими лапами. У *Protocetus*, с другой стороны, задние лапы были короче, а тазобедренные суставы свободнее, что позволяло ему мощнее работать хвостом.

Подобно другим трансформациям, задокументированным в палеонтологической летописи, переход от сухопутных китов к водным, судя по всему, занял не один миллион лет, и скорость эволюционных изменений при этом была намного ниже, чем в процессе нынешних локальных взрывов, зафиксированных учеными среди диких животных (к примеру, среди гуппи Тринидада). Невозможно за короткий промежуток времени определить направление и структуру макроэволюционного сдвига, но факт остается фактом: если вы признаете микроэволюцию, макроэволюцию вам придется признать волей-неволей.

## И СНОВА ПЕЙЛИ

В 1982 г., после решения судьи Овертона о том, что «креационистская наука» — не наука, креационисты вынуждены были вернуться к истокам и искать новые методы, которые позволили бы им вернуть свои идеи в программу государственных школ. Сегодня их любимая тактика — просто убирать из своих заявлений всякие упоминания о Боге и Библии.

Новое поколение креационистов называет себя сторонниками теории разумного замысла. Жизнь, утверждают они, настолько сложна, что не могла появиться путем постепенной эволюции. Нет, ее непременно должен был кто-то придумать. «Кто конкретно выступил в роли дизайнера?» — можете вы спросить. Сторонники разумного замысла скромно оставляют этот вопрос открытым. Но традиционные креационисты видят в разумном замысле острое долото, с помощью которого можно вскрыть прочную скорлупу государственной школы. Книга «О пандах и людях» (1989), посвященная Разумному замыслу и предназначенная для детей, удостоилась восторженной рецензии от организации сторонников креационистской теории «Все ответы в Книге Бытия»: «Эта великолепная книга, предназначенная для использования в средней школе в качестве учебника, не затрагивает Библии, и тем не менее содержит креационистскую интерпретацию классических доказательств, которые можно найти в стандартных учебниках при изложении теории эволюции».

Сторонники разумного замысла утверждают, что находятся на переднем фронте науки. Вместо того чтобы нападать на эволюцию со старыми аргументами вроде недостающих звеньев и возраста планеты, они привлекают данные из биохимии и генетики. Они утверждают, что в молекулярных механизмах жизнедеятельности заключена неуменьшаемая сложность. Скажем, чтобы кровь в ране свернулась, запускается длинная цепочка химических реакций, результатом которых должны стать свер-

тывающие молекулы. Исключите из этой цепочки любой элемент — и человек истечет кровью. Как в таком случае могла эволюция создать такой механизм из более простых частей?

Разумный замысел должен показаться вам знакомым. Это очередной виток рассуждений в духе Пейли о часах, пролежавших в пустыне 200 лет. Пейли заявлял, что, если вы встретили что-то сложное и состоящее из множества деталей, каждая из которых необходима для правильной работы, значит, вы встретили нечто искусственное, нечто такое, у чего непременно есть творец. Проблема аргументов Пейли в том, что для создания сложной конструкции не обязательно нужен конструктор.

Приведем пример. Легкие возникли у рыб задолго до появления первых сухопутных воздуходышащих позвоночных. И сегодня существуют примитивные воздуходышащие рыбы, такие, к примеру, как африканский многопер. Легкие помогают многоперу дышать, но абсолютной необходимости в них нет, поскольку рыба может получать кислород и через жабры. Однако дыша время от времени легкими, многопер может увеличить свою выносливость в плавании и доставить дополнительный кислород к сердцу. Около 360 млн лет назад одна из наследственных линий воздуходышащих рыб начала проводить некоторое время на суше. Постепенно время, проводимое этими животными без воды, увеличивалось, а мощные плавники приобретали способность держать вес тела при ходьбе. Со временем жабры исчезли совсем, и через несколько миллионов лет первые четвероногие стали полностью зависеть от легких. Этот процесс иллюстрируют окаменелости.

Здесь мы имеем сложную систему (тело четвероногого животного), которая окажется неработоспособной, если извлечь из нее всего одну деталь (легкие). И все же тщательное изучение окаменелостей и современных животных показывает, что сложность этой системы нельзя считать неуменьшаемой. Эволюция может добавить организму некую полезную систему — скажем,

легкие, — в качестве дополнительной; необходимой эта анатомическая деталь станет много позже, и вот тогда уже удалить ее из организма будет действительно невозможно.

Примерно так же эволюция может создать сложную биохимическую систему из относительно простых предшественников. В последние годы ученым удалось сформулировать достаточно убедительные гипотезы по двум вопросам: как антарктические рыбы спасаются от замерзания и как сворачивается человеческая кровь.

Сначала о незамерзающей рыбе. Рыбы семейства нототениевых выживают при температурах ниже точки замерзания воды благодаря естественному антифризу в крови. Их печень вырабатывает особый белок, который связывается с поверхностью микроскопических ледяных кристаллов и блокирует их рост. Благодаря этому антифризу нототениевые прекрасно чувствуют себя в антарктических водах; на данный момент в семействе известно 94 вида, и каждый год обнаруживаются новые.

Производство антифриза — сложный процесс, а без него нототениевые непременно погибли бы. Но сложность процесса не означает, что он не мог появиться в результате эволюции. Биохимик Ци-Хин Чэн вместе с другими исследователями из Университета Иллинойса обнаружила некоторые данные, позволяющие представить, как мог появиться в процессе эволюции антифризный ген. Ученые выяснили, что ген этот сильно напоминает другой ген, представленный не в печени, а в поджелудочной железе. Там он вырабатывает пищеварительный фермент, который затем поступает в кишечник. Чэн обнаружила, что инструктаж по производству антифризных молекул содержится в последовательности из девяти оснований, которая повторяется в одном гене десятки раз. (Многократный повтор позволяет одному гену вырабатывать сразу много антифриза.) Оказалось, что эта же последовательность имеется и в составе гена, отвечающего за пищеварительный фермент. Единственная

причина, по которой ген фермента не производит антифриз, состоит в том, что эта последовательность находится в части так называемой «избыточной ДНК», которая вырезается из гена, прежде чем по нему начинает строиться белок.

Чэн обнаружила и другие черты сходства между генами антифриза и пищеварительного фермента. В начале каждого из них есть последовательность, играющая роль транспортной этикетки, предписывающей клетке выделить белок, а не накапливать его внутри. Кстати говоря, эти этикетки почти полностью совпадают. А в конце каждого из генов есть команда клетке прекратить трансляцию ДНК в РНК; эти последовательности тоже почти совпадают.

Выяснив все это, Чэн разработала гипотезу происхождения гена, ответственного за антифриз. В какой-то момент в далеком прошлом ген пищеварительного фермента случайно был продублирован. Первоначальный экземпляр продолжал вырабатывать свой фермент, а лишняя копия претерпела несколько мутаций. Во-первых, интересующая нас последовательность из девяти оснований сдвинулась в другую часть гена, где ее перестали вырезать как избыточную и где она начала вырабатывать собственный белок — антифриз. Позже дополнительные мутации продублировали эту последовательность еще несколько раз, так чтобы ген мог производить больше белка-антифриза. Одновременно с увеличением антифризной части гена первоначальная часть, отвечавшая за производство фермента, исчезла. Со временем от старого гена остались только транспортная этикетка в начале и сигнал прекращения трансляции в конце.

Поскольку исходный пищеварительный фермент производится в поджелудочной железе, Чэн считает, что первоначально белок-антифриз вырабатывался там же. Поджелудочная железа производит множество пищеварительных ферментов, которые затем поступают в кишечник и помогают расщеплять пищу. Но рыба, плавающая в холодной воде, заглатывает ее, так что в первую



очередь лед у нее должен образовываться именно в кишечнике. В результате примитивный белок-протеин в кишках позволил бы рыбе выжить в переохлажденных водах, где в противном случае она замерзла бы насмерть.

С течением времени эволюционировали и сигналы, которые дают команду на активизацию гена и, соответственно, определяют, где и когда активизируется ген антифриза. Вместо поджелудочной железы ген начал включаться в печени. Если поджелудочная железа посылает свои ферменты в кишечник, то печень может выпускать свои в кровеносную систему. Насытив кровь рыбы антифризом, она способна защитить все ее тело ото льда, помогая рыбе выдерживать еще более холодные температуры.

В 1999 г. группа Чэн получила замечательное подтверждение этой гипотезы: ген-химеру. В ДНК одной из антарктических рыб ученые обнаружили ген, в котором присутствовали одновременно инструкции на производство антифриза и пищеварительного фермента. Это и есть то самое промежуточное звено на пути от пищеварительного гена к гену антифриза, существование которого предсказала гипотеза.

## ИСТОРИЯ ТРОМБА

Каким бы поразительным ни казался антифриз в крови нототениевых рыб — и как бы ни хотелось некоторым назвать его плодом разумного замысла, — научные данные свидетельствуют о том, что он возник постепенно в результате дупликации генов и нескольких других, менее кардинальных мутаций. При помощи подобных мутаций эволюция может сделать даже больше: она способна создавать целые системы молекул, без которых мы просто не могли бы существовать.

Рассмотрим молекулы, отвечающие за свертывание крови. Когда мы здоровы, эти молекулы (их называют факторами свертывания крови) курсируют с кровью по нашему телу и ничего

не делают. Но стоит вам порезаться, а крови из пострадавших сосудов смешаться с окружающими тканями, ситуация полностью меняется. Некоторые белки в тканях реагируют с фактором свертывания крови одного из типов и активируют систему. Возникает цепная реакция: фактор свертывания первого типа сцепляется с фактором второго типа и активирует его тоже; тот в свою очередь активирует третий тип, и так далее через целую серию химических реакций. Последний в цепочке фактор свертывания разрезает на части молекулу под названием фибриноген; в результате фибриноген превращается в липкую субстанцию, из которой и формируется сгусток. В сложности — сила системы свертывания: одна-единственная первоначальная молекула — фактор свертывания первого типа — может активировать несколько факторов следующей ступени; каждый из них, в свою очередь, несколько факторов следующей. Достаточно самого ничтожного толчка, чтобы вызвать распад миллионов молекул фибриногена.

Без сомнения, это замечательная система, позволяющая остановить кровотечение. И для ее работы необходимы все части. Если человек рождается без фактора свертывания хотя бы одного из типов, у него развивается гемофилия, и любая царапина может означать смерть. Но это не означает, что система свертывания крови возникла в результате разумного замысла.

Последние тридцать лет Рассел Дулитл из Калифорнийского университета в Сан-Диего посвятил проверке гипотезы происхождения системы свертывания крови у позвоночных. Тот факт, что факторы свертывания крови могут активировать другие факторы свертывания, не представляет ничего особенного. У всех животных есть ферменты, которые активируют белки, подготавливая их таким образом к выполнению самых разнообразных задач. Один из таких ферментов вполне мог дать начало всем факторам свертывания крови.

Представим себе древнее позвоночное, у которого вообще не было никаких факторов свертывания. Это не так сложно,

как кажется, — ведь у земляных червей и морских звезд тоже нет ничего подобного. Они не умирают от потери крови, потому что у них в крови имеются клетки, которые могут сами становиться липкими и образовывать грубые сгустки. А теперь представим, что ген, отвечающий за разрезание фермента, был дублирован и дополнительная его копия эволюционировала в простейший фактор свертывания, который производится только в крови. Он активируется в ране и режет на части белки крови, некоторые из которых наверняка окажутся клейкими. Сформируется сгусток, который по своим качествам лучше тех, что образуются из целых клеток. Если этот первый фактор свертывания случайно продублируется, число звеньев цепной реакции удвоится, а чувствительность системы вырастет. Добавьте еще один фактор, и чувствительность вырастет еще. Система будет постепенно развиваться в этом направлении.

Дулитл решил проверить эту гипотезу и нашел ей немало подтверждений. Все факторы свертывания крови оказались очень похожи между собой; кроме того, Дулитл выяснил, что все они находятся в близком родстве с одним из пищеварительных ферментов. Дулитл предположил, что фибриноген — белок, который факторы свертывания крови превращают в клейкую, слипающуюся в комки массу, — происходит от белка, который в организмах наших беспозвоночных предков делал какую-то другую работу. Дулитл искал близкие к фибриногену белки у наших ближайших беспозвоночных родичей и обнаружил один очень похожий белок у морского огурца. В организме морского огурца каскад свертывания крови не возникает, но белок, похожий на фибриноген, имеется.

Проверка подобных гипотез — дело очень непростое. Чтобы восстановить историю гена, отвечающего за производство антифриза, ученым пришлось тралить антарктические моря, кишящие айсбергами. История системы свертывания крови потребовала тридцати лет лабораторной работы. Пока ученые

ничего не могут сказать об эволюции холестерина, или коллагена, или любой из сотен тысяч других молекул, изобретенных жизнью на Земле. Сторонники разумного замысла очень любят говорить о том, как мало биологи-эволюционисты знают о биохимической эволюции. Они считают наше относительное невежество доказательством того, что молекулы многих органических веществ чересчур сложны, чтобы объяснить их появление действием эволюции — а значит, верна теория разумного замысла. На самом деле можно сказать лишь, что сегодня, через пятьдесят лет после открытия ДНК, ученые все еще многого не знают об истории жизни.

## ДОЛОЙ ПРОВЕРКИ

Если освободить теорию разумного замысла от любимых ею нападок на эволюцию, настоящей науки в ней останется очень немного. Как разумный замысел объясняет имеющиеся доказательства в пользу эволюции, от окаменелостей и скорости накопления мутаций до сходства и различий между видами? В какой именно точке неназванный дизайнер вмешался, к примеру, в эволюцию лошади, или в полет птиц, или в кембрийский взрыв? И что именно он сделал? Как можно проверить утверждения такого рода? Какие предсказания, сделанные исходя из теории разумного замысла, привели к новым важным открытиям? Попробовав найти ответы на эти вопросы, вы получите только противоречия, непроверяемые утверждения или, чаще всего, просто молчание.

В 1996 г. Майкл Бехе попытался выступить в защиту разумного замысла в книге «Черный ящик Дарвина». Бехе, биохимик Лехайского университета, привел несколько примеров сложных биохимических формул и заявил, что они не могли появиться в результате эволюции. В то же время он признал, что «в вопросах несущественных теория Дарвина возобладала». Иными словами,

в мире разумного замысла эволюция все-таки идет: у вьюрков меняется размер клюва; ВИЧ адаптируется к новым хозяевам; птицы, завезенные в США, диверсифицируются и образуют новые группы. Но подобного рода мелкие изменения не в состоянии породить всю сложность жизни.

Проблема разумного замысла заключается в том, что эти мелкие изменения складываются и производят серьезный эффект. С течением времени мутации в ДНК популяции животных или других организмов накапливаются. Как только мелких изменений накопится достаточно, популяция может разделиться на отдельные виды. По генетическим различиям между видами ученые могут определить степень их близости и родства. Если Беке принимает и признает микроэволюцию, у него просто не остается другого выхода, кроме как признать и древо жизни. (В соответствии с этим древом, кстати говоря, человек — близкий родственник шимпанзе. Креационисты, которым не нравится числить в своих предках высших приматов, должны понимать, что сторонники разумного замысла уже сдали эту позицию.) А поскольку Беке не возражает против палеонтологической летописи и радиоизотопной датировки, он, очевидно, не возражает и против того, что древо жизни за последние 4 млрд лет неоднократно ветвилось.

Так где же кончается эволюция и начинается «замысел»? Трудно сказать. Неужели 500 млн лет назад Разумный творец вмешался и подарил систему свертывания крови первым позвоночным? Или он вмешался 150 млн лет назад, когда у млекопитающих появилась сложная система молекул, которая позволила плаценте внедриться в стенку матки и не дать матери отторгнуть зародыш как чужеродную ткань? Или это происходит каждый раз, когда очередной вид молочая изобретает новый яд для отпугивания насекомых? Беке об этом ничего не говорит.

Беке даже признает, что некоторые молекулы не кажутся специально придуманными, — и это делает его позицию еще более

туманной. Гемоглобин — молекула, при помощи которой эритроциты переносят кислород, по структуре очень похожа на миоглобин — молекулу, которая запасает кислород в мышцах. Поэтому Бехе замечает, что гемоглобин — не лучший пример разумного замысла. «Характеристики гемоглобина можно получить при помощи довольно простой модификации характеристик миоглобина», — пишет он. Но сам миоглобин — уж его-то сложность, по словам Бехе, точно неуменьшаема, ведь Бехе не может представить себе, как такая молекула могла возникнуть естественным путем.

Признание доказанных фактов эволюции не помогает теории разумного замысла создавать проверяемые гипотезы. К примеру, если я скажу, что некая молекула неуменьшаемо сложна, а затем появятся данные о том, что она могла появиться при дупликации генов или в ходе какого-то иного процесса, я могу списать это на эволюцию и перенести акцент на предыдущую молекулу. Сам Бехе предпочитает максимально сместить разумный замысел в прошлое, к началу времен или по крайней мере к началу жизни на Земле. Он рассуждает о том, что первая клетка могла быть создана сразу целиком, с полным набором генов, которые позже были использованы в разных организмах. Разные виды организмов продолжали применять определенные гены, тогда как другие замирали.

«Такое представление оставляет без объяснения столь значительную долю молекулярной эволюции, что трудно даже придумать, с чего начать, — говорит Аллен Опп, биолог Университета Рочестера. Действительно, некоторые гены со временем затихают. К примеру, после случайной дупликации генов одна из копий начинает мутировать и мутирует до тех пор, пока не лишается способности продуцировать белок. Такие бесполезные гены известны как псевдогены. Но псевдогены в нашем геноме, указывает Опп, всегда напоминают какие-то из работающих генов. Если бы Бехе был прав, то псевдогены нашей ДНК напоми-

нали бы активные гены в клетках каких-то других, совершенно непохожих видов. Почему у нас нет псевдогенов, отвечающих за производство яда у гремучих змей или лепестков цветка? Почему у нас так много общих псевдогенов с шимпанзе?

Теория эволюции предлагает простое и понятное объяснение: дело в том, что эти псевдогены появились уже после того, как наши предки отделились от предков цветов и гремучих змей и начали развиваться отдельно. Со своей стороны, теория разумного замысла может лишь утверждать, что латентные гены не проявлялись просто потому, что так получилось. Как и предыдущие версии креационизма, разумный замысел представляет нам неизвестного творца, который всеми силами пытается заставить нас думать, что жизнь эволюционировала.

Теория разумного замысла не выдерживает критики, потому что уходит от главного вопроса, который ставит перед собой наука. «Если вы позволяете себе просто постулировать нечто достаточно сложное, чтобы разумно устроить Вселенную, значит, вы отказываетесь от прошлого, — говорит Ричард Докинз. — Вы просто позволяете себе принять без доказательств существование той самой вещи, которую мы пытаемся объяснить. Красота теории эволюции путем естественного отбора в том, что она начинается с простых вещей, а затем медленно и постепенно переходит к сложным, включая вещи достаточно сложные для того, чтобы придумывать другие вещи — иными словами, мозг. Если вы позволяете себе использовать идею замысла с самого начала, значит, вы отказываетесь от реального начала. По существу, вы не даете вообще никакого объяснения».

## ПРЕДЕЛЫ НАУКИ

Сторонники разумного замысла и более старых форм креационизма не могут выдвинуть ни одного эффективного научного аргумента, а потому прибегают к риторике. Они заявля-

ют, к примеру, что эволюция — это на самом деле идеология, порожденная культом натурализма, в соответствии с которым Бог не играет никакой роли во Вселенной, и все события в ней происходят исключительно по естественным причинам. Дарвинисты «держатся за свой миф из личной корысти и страстного желания разделаться с Богом», — пишет Филлип Джонсон, профессор права и откровенный креационист. Джонсон утверждает, что биологи-эволюционисты отказываются рассматривать возможность сверхъестественного вмешательства в развитие Вселенной и слепы к слабым сторонам теории эволюции. В честном диспуте, где божественное вмешательство выступило бы как возможное объяснение истории жизни, креационизм, утверждает Джонсон, непременно победил бы.

Однако наука, какие бы формы — химии, физики или эволюционной биологии — она ни принимала, может объяснить лишь объективные закономерности мира. Если бы Господь менял массу протонов каждое утро, физики никак не смогли бы разобраться в устройстве атома. Научный метод вовсе не предполагает, что у событий могут быть лишь естественные причины; речь идет лишь о том, что научно понять мы можем только их. Как бы могуч ни был научный метод, за пределами своей области он бессилен. Сверхъестественные силы по определению стоят над законами природы, а значит, выходят за рамки науки.

Джонсон и другие креационисты направляют свой гнев на эволюционную биологию, но, по существу, они нападают на всю науку в целом и каждую ее область в отдельности. Микробиологи, изучая вспышку резистентного туберкулеза, не рассматривают версию о том, что такова воля Божья. Астрофизики, пытаясь разобраться в последовательности событий, в результате которых из газопылевого облака сформировалась Солнечная система, не рисуют между газопылевым облаком и Солнечной системой квадратик с надписью «А здесь произошло чудо». Метеорологи, не сумевшие верно предсказать путь



урагана, не оправдываются тем, что воля Господня отклонила ураган с намеченного пути.

Наука не может просто приписать всему непознанному в природе божественное происхождение. Если бы это было возможно, никакой науки просто не было бы. Как говорит генетик из Чикагского университета Джерри Койн, «если история науки что-то нам показывает, так это то, что, прикрывая свое невежество Богом, мы ничего не добьемся».

«Креационистская наука» в любой форме никак не влияет на то, как настоящие ученые-практики исследуют историю жизни. Палеонтологи продолжают находить принципиально новые окаменелости, которые помогают нам понять, каким образом возникли люди, киты и другие животные. Биология развития продолжает прислушиваться к симфонии эмбриональных генов, пытаясь понять, как протекал кембрийский взрыв. Геохимики продолжают находить все новые изотопные ключи к точному определению момента, когда на Земле впервые появилась жизнь. Вирусологи продолжают разгадывать всевозможные стратегии, которыми вирусы, такие как ВИЧ, пользуются для обмана своих хозяев. Основой для работы всех этих ученых служит эволюционная биология, а не креационизм.

И все же, несмотря на несостоятельность своей «науки», креационисты с большим, чем когда-либо, жаром пытаются захватить контроль над преподаванием науки в американской средней школе. По большей части широкая публика не замечает их отчаянных усилий, но в 1999 г. скандал в Канзасе вновь вывел креационизм на первые полосы национальных газет.

## КРЕАЦИОНИЗМ В КАНЗАСЕ

В штате Канзас старшеклассники сдают особый экзамен по образовательным стандартам, утвержденным Комитетом по образованию. В 1998 г. комитет поручил группе ученых и препода-

вателей естественных наук пересмотреть устаревшие стандарты. В работе эксперты опирались на стандарты, принятые в 1995 г. Национальным исследовательским советом США, и параллельно консультировались с Американской ассоциацией содействия развитию науки и другими крупными научными организациями. В мае 1999 г. предложения по новому стандарту были представлены в комитет; ученые договорились по всем вопросам, от астрономии до экологии. Помимо всего прочего, стандарт требовал от учащихся понимания основ эволюции — как наследственные линии адаптируются к условиям окружающей среды и как биологи при помощи теории эволюции объясняют природу биологического разнообразия.

Однако стоило группе экспертов представить свои стандарты, как произошло нечто странное. Один из членов комитета предложил другой набор стандартов, который, как позже выяснилось, был подготовлен креационистской организацией со штаб-квартирой в штате Миссури. Эксперты отказались рассматривать неизвестно откуда взявшиеся стандарты, но согласились доработать свой вариант с учетом замечаний консервативно настроенных членов комитета. Комитет потребовал, чтобы в стандарты включили фразу о толерантности к различным точкам зрения. Эксперты ее вставили. Комитет потребовал, чтобы эксперты определили понятия микро- и макроэволюции. Ученые объяснили, как постепенные, из поколения в поколение, изменения (микроэволюция) порождают крупномасштабные структуры и процессы, получившие название макроэволюции (такие как возникновение организмов с совершенно новым строением или изменение скорости вымирания). Но затем комитет попытался заставить экспертов убрать из стандартов все остальные упоминания о макроэволюции. Ученые отказались.

В августе все участники процесса встретились вновь. Ученые из экспертной группы решили стоять на своем: они потребовали, чтобы комитет проголосовал по вопросу о стандартах — принял

их или отверг. Но комитет внезапно предложил вместо подготовленных специалистами стандартов еще одну собственную версию. На первый взгляд эти новые стандарты были очень похожи на представленные экспертами, но в дальнейшем выяснилось, что большинство упоминаний об эволюции из них куда-то делось. В нескольких оставленных фразах говорилось, что естественный отбор должен определяться как процесс, который «не добавляет новой информации к существующему генетическому коду». В общем, на экзаменах учащихся Канзаса не предполагалось спрашивать об эволюции, а также о дрейфе континентов, возрасте Земли или Большом взрыве. Шестью голосами против четырех комитет принял эти новые стандарты.

Вычеркнув часть первоначального текста и добавив ложные положения, комитет явно пытался подогнать школьную программу по естественно-научным дисциплинам под строгие креационистские стандарты. Представьте, к примеру, как учащимся рассказывали бы, что «естественный отбор не добавляет новой информации к существующему генетическому коду». На самом же деле мутации, такие как дупликация генов, вкупе с естественным отбором постоянно создают новую генетическую информацию. Включив в стандарты это ложное заявление, комитет следовал креационистскому принципу «да» микроэволюции, «нет» макроэволюции.

Требования к геологии тоже были подогнаны к требованиям креационистов. Комитет исключил упоминание о том, что учащие должны иметь представление о дрейфе континентов — фундаменте всех современных исследований нашей планеты. Вместо этого учащимся предложено было знать, что «по крайней мере некоторые геологические напластования, возможно, сформировались за короткое время, к примеру, это гора Этна в Италии или гора Сент-Хеленс в штате Вашингтон». Это известный аргумент, при помощи которого креационисты — сторонники геологии Потопа — любят объяснять, что любые геологические формации могли образоваться всего за несколько тысяч лет.

Стараясь сделать школьные классы безопасными для креационистов, комитет по образованию готов был полностью погубить все попытки экспертов познакомить учащихся с фундаментальной природой науки. Теория перестала быть «хорошо обоснованным объяснением», а стала просто «объяснением» — иными словами, догадкой. Наука перестала быть «деятельностью человека по поиску естественных объяснений тому, что мы видим вокруг», а стала поиском «логичных объяснений». Эти и другие формулировки подразумевали, что ученые могут обнаружить сверхъестественные силы.

Журналисты быстро прослышали о решении, и местный комитет по образованию внезапно приобрел широкую и шумную известность. Губернатор Бил Грейвз объявил, что действия комитета ему отвратительны; президенты и ректоры всех канзасских университетов заклеили одиозное решение. Члены комитета, поддержавшие креационистские стандарты, внезапно обнаружили себя в центре внимания национальной прессы; оставалось только говорить, что они действовали в интересах истинной науки. Однако, пытаясь оправдаться, они лишь полнее раскрыли собственное невежество. «Где доказательства того, что вот это собаководное существо действительно превратилось в дельфиновидное существо или что корова каким-то образом превратилась в кита?» — спросила председатель комитета по вопросам образования Линда Холлоуэй у репортера NBC; очевидно, она никогда не слышала о палеонтологической летописи и соответствующих окаменелостях.

Приятие «денатурированных» образовательных стандартов вызвало в Канзасе стихийные протесты. Месяц за месяцем оппозиция набирала силу, и на следующих выборах в комитет по образованию в 2000 г. креационистский блок понес тяжелые потери. Два члена (включая и Холлоуэй) потерпели поражение на первичных выборах от умеренных республиканцев, еще один сам подал в отставку; его также сменил умеренный республика-

нец. В феврале 2001 г. комитет утвердил наконец первоначальную версию стандартов вместе с преподаванием эволюции.

Возможно, креационисты проиграли этот раунд в Канзасе, но в целом политическая борьба на территории США продолжается. В мае 2000 г. сторонники разумного замысла встретились на Капитолийском холме с консервативными конгрессменами и изложили свои идеи. Законодатели Оклахомы приняли закон, по которому учебники биологии должны сообщать учащимся, что Вселенная сотворена Богом. В штате Алабама учебники пестрят предупреждениями о том, что эволюция — не факт, а всего лишь противоречивая теория. Весной 2001 г. в Луизиане был внесен законопроект, по которому властям штата запрещается распространять ложную информацию, такую, к примеру, как результаты радиометрической датировки.

Подобные законы — не единственный способ избавиться от преподавания эволюции в школах; запугивание учителей тоже работает. Стремясь во что бы то ни стало избежать конфликтов и скандалов с некоторыми родителями, учителя биологии нередко уклоняются от преподавания Дарвина. «На конференциях учителей-естественников я часто разговариваю с учителями, и они рассказывают, как директор велел просто пропустить тему эволюции в этом году, поскольку это год выборов, — рассказывает Юджиния Скотт, исполнительный директор Национального центра развития научного образования. — Избран, мол, новый Комитет по образованию, и им не нужны проблемы. Безумие какое-то. Я имею в виду, что составить сколько-нибудь последовательный учебный план в таких условиях невозможно».

## ЦЕНА ВОПРОСА

Результатом всех этих конфликтов станет не поколение креационистов, а поколение учащихся, ничего не понимающих в эволюции. Это плохо, и не только потому, что теория эволю-

ции — одно из величайших научных достижений человечества за последние 200 лет. Многие профессии, которым учащиеся, возможно, хотели бы посвятить жизнь, требуют глубокого понимания эволюции.

Чтобы искать нефть и полезные ископаемые, к примеру, нужно отчетливо представлять себе историю жизни на Земле. В течение 4 млрд лет виды развивались, давали начало другим видам и вымирали. Их останки могут служить для горных пород, сформировавшихся в период жизни этих организмов, маркерами возраста. Если геологи находят в богатых нефтью геологических формациях окаменевшие останки какого-то определенного вида планктона, они начинают искать его и в других местах — ведь там, где есть этот планктон, может быть и нефть.

В биотехнологиях знание принципов эволюции еще важнее. Исследователи здесь имеют дело с самой жизнью, и, изменяя жизнь, они должны всегда помнить о том, что она непрерывно эволюционирует. Резистентность бактерий к антибиотикам возникает не просто так: все происходит по законам естественного отбора; бактерия, гены которой позволяют ей устоять перед действием лекарства, процветает и размножается. Ничего не зная об эволюции, исследователь вряд ли сможет создавать новые лекарства и разрабатывать схемы их применения.

То же можно сказать и о вакцинах. Развиваясь, микробы разделяются на генетически различные популяции, из которых затем формируются новые ветви эволюционного дерева. Вакцина может оказаться эффективной против одной разновидности болезни, к примеру, СПИДа, но бесполезной против других, более частых, потому что вызывающие их вирусы уже достаточно далеки друг от друга. Кроме того, эволюционное дерево помогает ученым определить, откуда берутся болезни (в случае СПИДа, скорее всего, от шимпанзе). А это, в свою очередь, может натолкнуть на идеи о новых методах лечения.

Эволюция на самом глобальном уровне может серьезно повлиять и на бизнес. В биотехнологии сейчас огромные усилия направлены на секвенирование генома — расшифровку полной последовательности нашего генетического кода, а также генетических кодов других форм жизни, таких как бактерии, простейшие, насекомые и черви. На это тратятся немалые деньги, потому что и прибыли здесь в будущем могут быть немалые. Ученые подробно исследуют гены фруктовой мушки, потому что гены людей очень на них похожи. Эксперименты на мушках могут когда-нибудь привести к настоящим медицинским чудесам, таким как продление человеческой жизни. Но чтобы работать в этой области, ученые должны понимать, почему наши гены так похожи. Иными словами, медицина уходит корнями к кембрийскому взрыву.

Точно так же практический смысл может нести и понимание того, как разные виды со временем объединяются в один. Возьмем малярию. Эта болезнь, несмотря на все усилия современной медицины, убивает каждый год по 2 млн человек на планете. Недавно ученые обнаружили, что паразит, вызывающий малярию, несет в себе гены зеленых водорослей. Может быть, миллиард лет назад предок этого паразита поглотил какую-то водоросль. Вместо того чтобы переварить добычу, он превратил водоросль в партнера-симбионта, и сегодня гены той водоросли по-прежнему работают в отдаленных потомках того существа. Не исключено, что это открытие подскажет новый способ борьбы с малярией. Если паразит в чем-то похож на водоросль, может быть, на него действуют яды, которые достоверно действуют на растения. Без эволюционного подхода ученым, возможно, никогда не пришло бы в голову уничтожать малярию посредством гербицидов.

В настоящий момент биотехнология развивается опережающими темпами, и эволюция, естественно, остается ее центральным организующим принципом. Наука не будет ждать тех,

кто не понимает принципов эволюции жизни только потому, что кто-то где-то когда-то решил, что им это ни к чему.

## В СТРАНЕ АЗЫ ГРЕЯ

Когда Уильям Дженнингс Брайан в 1920-х гг. начинал поход против эволюции, им двигали не столько реальные научные возражения, сколько отвращение при мысли о том, что мир будет без боя сдан Дарвину. Для Брайана эволюция означала крах высоконравственной Вселенной, созданной Богом, и человека как особого существа, созданного отдельно от прочих тварей по образу и подобию Божию. Вместо прекрасного и разумно устроенного Божьего мира оставалась лишь жестокая борьба за господство, лишенная всякой цели.

Возможно, Брайан спутал эволюционную биологию с некоторыми социальными движениями тех дней. Тем не менее он поднял фундаментальный вопрос, который никак не исключал доводы в пользу эволюции: есть ли место Богу в мире, где действует эволюция и где роль, когда-то отводившуюся Творцу, играет естественный отбор?

Бог и эволюция не исключают друг друга. Эволюция — это феномен, который ученые могут исследовать, поскольку он наблюдаем и предсказуем. Однако наличие окаменелостей и палеонтологической летописи в целом вовсе не доказывает, что Бога нет и что у Вселенной не может быть иной, более высокой цели. Доказать это наука не в силах. Лучше всего об этом сказал Аза Грей: утверждать, что дарвинизм — это религия, «по-моему, все равно, что говорить, что моя вера — ботаника».

Сам Грей, евангельский христианин, первым познакомил Америку с «Происхождением видов» Дарвина. И после него в США работало немало религиозных ученых-эволюционистов. Грей однажды сказал, что теорию Дарвина «можно рассматривать теистически или атеистически. Конечно, — сказал



он, — я считаю последний вариант неверным и абсурдным». Когда канзасский Комитет по образованию в 1999 г. пытался исключить эволюцию из школьной программы, одним из ведущих критиков такого решения был еще один евангельский христианин, геолог из Университета штата Канзас Кит Миллер. «Бог — творец всего на свете, и ничто не могло бы существовать, если бы Бог постоянно не желал его существования, — заявляет Миллер, что не мешает ему принимать эволюцию. — Если Бог использовал и успешно контролировал эволюционные механизмы при создании растений и животных, я не вижу причин, по которым следовало бы отвергать эволюционное происхождение человечества».

Кеннет Миллер, католик и биохимик Университета Брауна (не имеющий отношения к Киту Миллеру), считает, что эволюция оставляет для Бога достаточно места. В книге 1999 г. «В поисках Дарвинова Бога» (*Finding Darwin's God*) он указывает, что мутации, которые, собственно, и делают эволюцию возможной, происходят на квантовом уровне, поэтому мы не можем знать наверняка, произойдет ли на самом деле данная мутация. Космический луч, пронзая клетку и ее святая святых — ядро — и сталкиваясь с ДНК, может вызвать, а может и не вызвать трансформацию одного из ее оснований. «Ход эволюционной истории может зависеть от крохотной случайности — квантового состояния одной-единственной элементарной частицы», — говорит Миллер. А благодаря принципу квантовой неопределенности, если Бог и вмешивается в эволюцию, направляя мутации, зафиксировать это научными методами невозможно.

Но даже если Бог действительно влияет на ход и направление мутаций, это не значит, что Он контролирует жизнь до мелочей, как микроменеджер. Миллер указывает, что многие христиане давно смирились с тем фактом, что историю человечества направляют случай и обстоятельства, хотя в целом у нее может быть конечная цель; мы просто не в состоянии до конца

постичь ее. Природа, говорит он, ничем от истории не отличается. Благодаря все тем же случаям и обстоятельствам жизнь способна самостоятельно эволюционировать. «Бог, который руководит эволюционным процессом, это не беспомощный пассивный наблюдатель, — говорит Миллер. — Скорее Он тот, чей гений породил наш плодотворный мир, где процесс непрерывного творения вплетен в самую ткань вещества».

Миллер считает, что эволюция несет в себе предназначение — и мы с вами часть этого предназначения. «Рано или поздно этот процесс должен был дать Творцу ровно то, что Он искал, — существо, которое, подобно нам, могло познать и полюбить Его, могло понять строение небес и мечтать о звездах; существо, которое со временем открыло бы необычайный процесс эволюции, наполнивший Его землю столь богатой жизнью».

Поскольку Бог создал Вселенную так, что она следует определенным естественным законам, Он дал нам возможность познавать Его творение, но благодаря случаям и обстоятельствам у нас есть и свобода воли, которую декларирует христианство. «Бог отступился от Своего творения не для того, чтобы покинуть Свои создания, а для того, чтобы дать Своему народу подлинную свободу, — пишет Миллер. — Он использовал эволюцию как инструмент нашего освобождения».

Эдвард Уилсон, сторонник социобиологии, предлагает в своих работах совсем другое видение Бога. Сам Уилсон вырос на Юге в семье баптистов и крестился в возрасте 14 лет. В церкви городка Пенсакола, штат Флорида, пастор окунул его в бак с водой и толкал «назад и вниз, пока и тело, и голова мои не погрузились полностью в воду».

Крещение глубоко подействовало на Уилсона, но не в духовном плане, как он ожидал, а скорее в физическом. Он вдруг задумался: что если всё вокруг — по существу, весь мир, — только материально. «И где-то образовалась крохотная трещинка. До этого я держал в руке великолепный, идеально круглый драгоценный

камень, а теперь вдруг, повернув его под определенным углом, обнаружил губительную трещину».

Уилсон отказался от, как он говорит, «органического Бога, который направляет биологическую эволюцию и вмешивается в людские дела». Вместо этого он теперь склоняется к деизму — вере в то, что Бог создал Вселенную и запустил ее в действие, после чего Ему уже не нужно вмешиваться в работу отлаженного механизма. Но Уилсона не пугает мысль о жизни в такой Вселенной:

Подлинный эволюционный эпос, изложенный поэтическим языком, облагораживает в сущности не хуже, чем любой религиозный эпос. Вещественная реальность, исследованная наукой, уже несет в себе больше смысла и величия, чем все религиозные космологии вместе взятые. Род человеческий прослежен в прошлое в тысячу раз дальше, чем представляли себе западные религии. Результатом его исследования стали откровения громадного нравственного значения. Мы поняли, что *Homo sapiens* — это нечто гораздо большее, чем просто набор племен и рас. Мы — единая копилка генов, из которой в каждом поколении выходят индивидуумы и в которой они вновь растворяются, передав жизнь следующему поколению; мы едины как вид, нас объединяет полученное наследие и общее будущее. Таковы концепции, основанные на реальных фактах; из них можно извлечь новые представления о бессмертии и на их базе можно создать новые мифы.

Конечно, эти трое ученых — евангельский христианин, католик и деист — не могут говорить от лица всех ученых и тем более всех людей. Наука живет поиском теорий, которые объясняли бы естественный мир, и созданием гипотез, которые можно проверить при помощи наших чувств. Нам всем — неученым и ученым, христианам и иудеям, мусульманам и буддистам, верующим, агностикам и атеистам — следует размышлять о том, что этот мир на самом деле собой представляет.

## МОЛЧАНИЕ ДАРВИНА

Некоторым читателям может не понравиться, что в конце книги автор обрушил на них настоящую какофонию мнений. Удобнее, наверно, когда тебя ведет вперед единственная сияющая истина. Но мне кажется, что именно таким хотел бы видеть окончание книги про эволюцию сам Дарвин.

Большую часть взрослой жизни Дарвин боролся с собственной религиозностью, но никогда и нигде не афишировал этой борьбы. В 22 года, поднимаясь на борт «Бигля» и отправляясь в кругосветное плавание, он был ревностным приверженцем англиканской церкви. В пути Дарвин познакомился с трудами Лайеля и своими глазами увидел в Южной Америке медленную поступь геологических процессов; в результате у него возникли сомнения в буквальном прочтении Книги Бытия. Путешествие продолжалось, Дарвин рос как ученый, и одновременно рос его скептицизм по отношению к чудесам. Тем не менее он непременно посещал на корабле еженедельную службу, которую проводил капитан Фицрой — да и на берегу находил, по мере возможности, церковь. Из Южной Африки они вместе с Фицроем написали письмо, в котором превозносили роль христианских миссий в бассейне Тихого океана. В общем, в Англию Дарвин вернулся хотя и не будущим пастором, но далеко и не атеистом.

В записных книжках, которые Дарвин начал вести по возвращении, он рассуждал о «любых выводах из эволюции путем естественного отбора, какими бы еретическими они ни были». Если глаза и крылья могли развиваться без помощи творца, почему то же не могло произойти с поведением? И разве религия — не один из типов поведения? Религия есть в любом обществе, и сходство разных религий часто поражает. Может быть, религия тоже появилась у наших предков в результате эволюции. В качестве определения религии Дарвин коротко записал: «вера, соединенная с инстинктом».

И все же это были всего лишь мысленные эксперименты, абстрактные рассуждения, лишь изредка отвлекавшие Дарвина от главной работы: выяснения того, каким образом эволюция могла сотворить окружающий нас мир. В эти годы Дарвин действительно пережил глубочайший духовный кризис, но причиной его была не наука.

В возрасте 39 лет Дарвину довелось наблюдать, как умирал его отец. Продолжалось это несколько месяцев. Чарльз вспоминал о тайных сомнениях отца в истинности религии и размышлял о том, чем грозят Роберту такие сомнения в иной жизни. Случилось так, что в то время Дарвин читал книгу Кольриджа «Заметки к размышлению», где тот рассуждал о природе христианства. Неверующим, заявлял Кольридж, уготован гнев Господень и они его заслуживают.

Роберт Дарвин умер в ноябре 1848 г. Чарльз всю жизнь видел от него только неизменную любовь, финансовую поддержку и полезные практические советы. Неужели теперь он должен был поверить, что его сомневающемуся отцу уготованы вечные муки в аду? Если так, то та же участь ожидает и многих других неверующих, включая брата Эразма и многих его лучших друзей. Если в этом и заключается суть христианства, недоумевал Дарвин, то почему некоторым людям так хочется, чтобы это жестокое учение было истинным?

Вскоре после смерти отца здоровье самого Дарвина заметно ухудшилось. Его часто рвало, кишечник переполняли газы. Он обратился к водолечению — модному в викторианскую эпоху медицинскому методу, при котором пациенту полагалось принимать холодный душ, париться в бане и обертываться мокрыми простынями. Здоровье улучшилось, а настроение особенно поднялось, когда Эмма сообщила ему, что снова беременна. В ноябре 1850 г. у Чарльза и Эммы родился восьмой ребенок, Леонард. Однако всего через несколько месяцев смерть вновь вошла в Даун-Хаус.

В 1849 г. три девочки Дарвинов — Генриетта, Элизабет и Анна — переболели scarлатиной. Генриетта и Элизабет поправились, но девятилетняя Анна оставалась слабенькой. Она была любимицей отца и сама очень любила сидеть у него на коленях, обнимать его за шею и целовать. Весь 1850 г. здоровье Анны никак не восстанавливалось. Ее нередко рвало, и это тревожило Дарвина: «Она унаследовала, я боюсь, мое дурное пищеварение». Наследственность, которая, как успел уже убедиться Дарвин, управляла в природе всем, теперь обратилась против его дочери.

Весной 1851 г. Анна слегла с инфлюэнцей, и Дарвин решил отвезти девочку в Малверн — город, где сам он проходил курс водолечения. Он оставил ее там под присмотром няни и семейного доктора. Но вскоре у Анны поднялась температура, и Дарвин вновь бросился в Малверн. Он поехал один, потому что Эмма вновь была беременна и через несколько недель должна была родить.

Войдя в комнату Анны в Малверне, Дарвин без сил упал на кушетку. Вид больной дочери был, конечно, ужасен, но дело не только в этом: запах камфары и аммиака напомнил ему о кошмарных днях учебы в эдинбургской медицинской школе, где ему приходилось видеть операции, проводимые на детях без анестезии. В течение недели — притом Пасхальной недели — отец наблюдал угасание дочери; ее постоянно рвало зеленой жидкостью. Он писал Эмме отчаянные письма. «Иногда д-р Г. восклицает, что она справится и победит в этой борьбе; затем, я вижу, вновь начинает сомневаться — видеть все это невыразимо тяжело».

Анна умерла 23 апреля 1851 г. «Благослови ее Бог, — написал Чарльз Эмме. — Мы должны все больше быть утешением друг для друга, милая жена».

После смерти отца Дарвин ощутил пустоту и оцепенение. Теперь, вернувшись в Даун-Хаус, Дарвин горевал совсем иначе; это было горе Иова, горькое и яростное. «Мы потеряли радость на-

шего дома и утешение в старости», — писал Дарвин. Он называл Анну «маленьким ангелом», но и эти слова не давали утешения. Он больше не мог верить в то, что душа Анны попала на небеса, что она продолжает жить после ничем не оправданной смерти девочки.

Именно в этот момент, через 13 лет после открытия механизма естественного отбора, Дарвин отказался от христианства. Много лет спустя, готовя автобиографическое эссе для внуков, он писал: «Вообще я думаю (и, старея, все чаще и чаще), но не всегда, что “агностик” было бы самым верным описанием моего взгляда на мир».

Дарвин никогда не афишировал свой агностицизм. Только по частной автобиографии и письмам сумели ученые по крупинкам получить представление о природе его веры после смерти Анны. Так, Дарвин отправил пожертвование в американский журнал *The Index*, выступавший в защиту так называемой «свободной религии» — гуманистической духовности, в которой, по утверждению журнала, «заключается единственная надежда на духовное совершенство личности и духовное единство нации».

Тем не менее, когда *The Index* обратился к Дарвину с просьбой написать для журнала статью, ученый отказался. «Мне не кажется, что я достаточно углубленно размышлял [о религии] для публичных высказываний», — написал он в ответ. Он понимал, что не является уже традиционным христианином, но не разобрался еще в своих духовных воззрениях. В 1860 г. в письме Азе Грею он писал: «Я склонен видеть во всем результат действия введенных свыше законов, притом что подробности, хорошие или дурные, оставлены на волю того, что мы называем случаем. Не то чтобы такое представление меня устраивало. Я глубоко убежден, что вся эта тема слишком глубока для человеческого разума. С тем же успехом пес мог бы рассуждать о замысле Ньютона».

Если Геккель и его единомышленники пытались при помощи эволюции ниспровергнуть традиционную религию, то Дарвин хранил молчание. В частной переписке он жаловался, что социальный дарвинизм искажает его учение. Однажды в письме Лайелю он заметил с сарказмом: «Одна манчестерская газета недурно съязвила в мой адрес. Они написали, что я доказал “право силы” и потому Наполеон был прав, и каждый обсчитывающий лавочник тоже прав». Но Дарвин так и не написал свой собственный духовный манифест. Он был слишком закрытым человеком для этого.

Несмотря на молчание, в последние годы жизни Дарвина часто донимали вопросами об отношении к религии. «Половина глупцов Европы занята тем, что пишет мне письма с глупейшими вопросами», — ворчал он. Тем не менее письма любопытствующих затрагивали болезненную для Дарвина тему и глубоко задевали его.

Его ответы посторонним людям гораздо более лаконичны, чем письмо Грею. Одному корреспонденту он ответил просто, что, когда писал «Происхождение видов», его вера была не менее прочной, чем у любого прелата. Другому — что человек, несомненно, может быть одновременно «ревностным теистом и эволюционистом»; в качестве примера Дарвин назвал Азу Грея.

И все же до конца жизни Дарвин не опубликовал ни единого слова о религии. Другие ученые могли заявлять, что эволюция и христианство прекрасно сочетаются, третьи, такие как Гексли, могли дразнить епископов агностицизмом, но Дарвин не позволял втянуть себя в подобную дискуссию. То, во что он на самом деле верил — или не верил, — не имело, по его словам, «никакого значения ни для кого, за исключением меня самого».

После смерти Анны Чарльз и Эмма редко обсуждали между собой его веру, но с каждым годом Дарвин все больше полагался на жену — она нянчилась с ним во время болезней и, как никто, помогала сохранять присутствие духа. В возрасте 71 года Дарвин



перечитал письмо, которое она ему написала вскоре после свадьбы и в котором призывала его всегда помнить о том, что Иисус сделал для него. В самом низу листа он приписал: «Когда я умру, знай, что я много раз целовал это и плакал».

Два года спустя он упал прямо в руки Эмме и больше не поднялся. Следующие шесть недель она ухаживала за ним, а он зывал к Богу, кашлял кровью и вновь проваливался в беспамятство. 19 апреля 1882 г. он умер.

Эмма собиралась похоронить мужа на местном кладбище возле церкви, но Гексли и другие ученые посчитали, что страна должна почтить память этого великого ученого. Когда Дарвин начинал как ученый, даже слова такого — ученый — в языке еще не было. Естествознание представляло собой коллекционирование бабочек на службе у благочестия. Теперь же, пятьдесят лет спустя, ученые стали ведущей силой общества; с каждым годом они все глубже заглядывали в тайны устройства Вселенной и жизни. Да и в Вестминстерском аббатстве покоились уже не одни короли и священники — там был похоронен исследователь Африки Давид Ливингстон, а также Джеймс Уатт, изобретатель парового двигателя. Колонии и промышленность возвеличили Англию — и Дарвину в этом, по общему мнению, принадлежала заметная роль.

Через несколько дней в Вестминстерском аббатстве собралось множество людей. Гроб Дарвина вынесли на середину, и хор запел гимн из Книги притчей Соломоновых.

Блажен человек, который снискал мудрость, и человек,  
который приобрел разум, —

Она дороже драгоценных камней; и ничто из желаемого тобою  
не сравнится с нею.

Долгоденствие — в правой руке ее, а в левой у нее — богатство  
и слава;

пути ее — пути приятные, и все стези ее — мирные.

Дарвина похоронили рядом с Ньютоном. Он замолчал навеки и никому уже не расскажет о своей вере. Он ушел, оставив нас в естественном мире, который благодаря ему лишился покровы тайны и стал намного понятнее. Это древний мир, и мы в нем — один из самых молодых видов; гены многоструйной рекой текут куда-то вдаль, унося нас с собой; на течение этой реки влияют астероиды и ледники, растущие горы и разливающиеся моря. Работая над «Происхождением видов», Дарвин обещал читателям «величие такого взгляда на жизнь», и жизнь сегодня демонстрирует много больше величия, чем мог предугадать автор теории естественного отбора. Он начал исследование этого замечательного мира и оставил нас продолжать начатое уже без него.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Эта книга — часть программы «Эволюция», совместного проекта научного отдела WGBH/NOVA и Clear Blue Sky Productions. Кроме того, в проект входят телевизионный фильм в семи частях, веб-сайт, мультимедийная библиотека и информационно-образовательная программа. Участие в таком крупном предприятии вместе с множеством талантливых людей было для меня честью и удовольствием. Хочу выразить особую благодарность Полу Аллену и Джоди Паттон из Clear Blue Sky Productions за вдохновляющие идеи и щедрую поддержку проекта «Эволюция», а также Поле Апсель из научного отдела WGBH/NOVA за умелое управление его продвижением. Я благодарен за приглашение участвовать в проекте.

Ричард Хаттон, исполнительный продюсер телевизионного фильма, сумел обуздать непослушную науку — эволюционную биологию — и создать семь увлекательных серий. Он консультировался с десятками ведущих ученых и присматривал за съемочной группой, путешествующей по всему миру; тем не менее у него всегда находилось время поболтать со мной о подробностях массового вымирания на рубеже мелового и третичного периодов или о семейной жизни Чарльза Дарвина. Я благодарен

ему за руководство и интеллектуальное общение. Формированием структуры сериала Ричард занимался вместе со старшим редактором NOVA Стивом Лайонсом, научным редактором фильма Джо Левином и заместителем продюсера Тиной Нгуен. Мне особенно хочется поблагодарить Джо за полезную электронную переписку и Тину за помощь в поиске всевозможной информации, какой бы экзотичной она ни была.

Огромная благодарность Кэролайн Чонси, менеджеру по издательским делам в WGBH Enterprises. Во время работы над этой книгой ей случалось играть множество ролей — неофициального редактора, дипломата и даже группы поддержки, — и за каждую из них я ей благодарен. Спасибо также арт-консультанту Тоби Гринбергу, который просмотрел тысячи картинок, чтобы отобрать нужные для оформления книги, и в результате, на мой взгляд, все получилось замечательно. Спасибо также Бетси Гробан, управляющему директору WGBH Enterprises, литературному агенту WGBH Доу Куверу и постоянным сотрудникам WGBH: продюсеру-координатору Лайзе Мировиц; бизнес-менеджеру Карен Кэрролл Беннетт; руководителю группы Денизе Драго; заместителю продюсера фильма Керри Айэзи и секретарю Сеселии Келли; все они напряженно работали, чтобы собрать разрозненные части проекта воедино. В Clear Blue Sky Productions доброжелательными советами и замечаниями мне помогали вице-президент и генеральный директор Эрик Робисон; директор документальных проектов Бонни Бенджамин-Фарисс; директор по рекламе и маркетингу Джейсон Ханке и продюсер-координатор Памела Розенстейн.

Продюсеры отдельных эпизодов фильма всегда находили в своем плотном расписании время, чтобы познакомить меня со своими изысканиями, расшифровками и съемками и просмотреть соответствующие части моей книги. Спасибо им всем: старшему продюсеру Дэвиду Эспару, продюсеру постановки Линде Гармон и продюсеру Сьюзен Льюис — «Опасная идея Дарвина»;

продюсеру Джоелу Олиkerу и сопродюсеру Крису Шмидту — «Великие превращения»; продюсерам Ричарду Хаттону и Кейт Черчилль — «Вымирание!»; продюсерам Гейл Виллумсен и Джил Шайнфелд — «Эволюционная гонка вооружений»; продюсерам Ноэлю Букнеру и Робу Виттлси — «Зачем нужен пол?»; продюсерам Джону Хемингуэю и Мишель Николасен — «Большой взрыв в эволюции мозга»; продюсеру Биллу Джерси и сопродюсеру Джеми Стоуби — «Как насчет Бога?».

Это книга о науке, поэтому, разумеется, я глубоко благодарен ученым, помощь которых сделала ее возможной. Научные консультанты проекта «Эволюция» очень помогли всем нам в создании и книги, и фильма; среди них Чарльз Аквадро, Уильям Кальвин, Шарон Эмерсон, Джейн Гудолл, Сара Блаффер Хрди, Дон Йохансон, Мэри-Клэр Кинг, Кен Миллер, Стивен Пинкер, Юджиния Скотт и Дэвид Уэйк. Особая благодарность Стивену Джею Гулду, который не только помогал советами, но и украсил эту книгу своим вступительным словом.

Я хочу поблагодарить всех ученых, упомянутых в фильме и книге. Я также благодарен специалистам, которые любезно согласились растолковать мне смысл своих исследований или просмотреть часть рукописи. В их числе Крис Адами, Мейдианн Андраде, Конни Барлоу, Вутер Бликер, Эд Броуди-мл., Эд Броуди III, Дэвид Берни, Джозеф Кейн, Шон Кэрролл, Стив Кейз, Крис Чен-ДеВрис, Роберт Коуи, Карла Дантонио, Робин Данбар, Дэвид Дюзенбери, Стивен Эмлен, Дуглас Эрвин, Брайан Фаррелл, Джон Флинн, Беатрис Хан, Кристен Хокс, Николас Холланд, Дэвид Иноуйе, Кристин Дженис, Кеннет Канеширо, Джуди Кегль, Ричард Клейн, Эндрю Нолл, Терстон Лакалли, Лора Ландвебер, Стюарт Леви, Майкл Линч, Аксель Мейер, Кеннет Миллер, Стивен Мойзис, Андерс Моллер, Ульрих Мюллер, Мартин Новак, Стивен О'Брайен, Морин О'Лири, Норман Пейс, Нипам Патель, Марион Петри, Стюарт Пимм, Дэвид Резник, Марк Ридли, Дольф Шлютер, Курт Швенк, Юджиния Скотт, Джон Томпсон, Франс де Вааль, Пи-

тер Уорд, Эндрю Витен, Брэд Уильямсон и Марк Уинстон. Особая благодарность Кевину Падриану, который прочел всю рукопись целиком и, делая пометки, вероятно, исписал не одну красную ручку.

Гейл Уинстон, мой редактор в издательстве HarperCollins, своим бесценным руководством помогла мне превратить сопроводительный сборник в самостоятельную книгу. Спасибо. Спасибо также моему агенту Эрику Симоноффу.

И наконец, глубочайшая благодарность моей жене Грейс. Это был нелегкий год, но она неизменно помнила о главном.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Глава 1: ДАРВИН И «БИГЛЬ»

Appel T.A. *Cuvier-Geoffroy debate: French biology in the decades before Darwin*. New York: Oxford University Press, 1987.

Browne E.J. *Charles Darwin: A biography*. New York: Knopf, 1995.

Coleman W.R. *Georges Cuvier, zoologist: A study in the history of evolution theory*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1964.

Darwin C. *Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. 'Beagle' round the world, under the command of Capt. Fitz Roy, R.N.* London: Henry Colborn, 1839.

Desmond A.J., Moore J.R. *Darwin*. London: Michael Joseph, 1991.

Koerner L. *Linnaeus: Nature and nation*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1999.

Lovejoy A.O. *The great chain of being: A study of the history of an idea*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1936.

Lyell C. *Principles of geology; or, The modern changes of the earth and its inhabitants, considered as illustrative of geology*. London: John Murray, 1850.

Mayr E. *The growth of biological thought: Diversity, evolution, and inheritance*. Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1982.

Paley W. *Natural theology; or, Evidences of the existence and attributes of the Deity*. London: Wilks and Taylor, 1802.

Rudwick M.J.S. *The great Devonian controversy: The shaping of scientific knowledge among gentlemanly specialists*. Chicago: University of Chicago Press, 1985.

\_\_\_\_\_, *The meaning of fossils: Episodes in the history of palaeontology*. Chicago: University of Chicago Press, 1985.

Thomson K.S. *HMS Beagle: The story of Darwin's ship*. New York: Norton, 1995.

## Глава 2: «ЭТО КАК СОЗНАТЬСЯ В УБИЙСТВЕ»

Bowler P.J. *The eclipse of Darwinism: Anti-Darwinian evolution theories in the decades around 1900*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983.

Browne E.J. *Charles Darwin: A biography*. New York: Knopf, 1995.  
Chambers R. *Vestiges of the natural history of creation*. New York: Wiley/Putnam, 1845.

Darwin C. *Autobiography and selected letters*. New York: Dover, 1958.

\_\_\_\_\_, *A monograph on the sub-class Cirripedia, with figures of all the species*. London: Ray Society, 1851.

\_\_\_\_\_, *A monograph on the fossil Balanidae and Verrucidae of Great Britain*. London: Printed for the Palaontographical Society, 1854.

\_\_\_\_\_, *On the origin of species by means of natural selection, or The preservation of favored races in the struggle for life*. London: John Murray, 1859.

Desmond A.J. *Huxley: The devil's disciple*. New York: Penguin, 1994.

\_\_\_\_\_, Moore J.R. *Darwin*. London: Michael Joseph, 1991.

Jones S. *Darwin's ghost*. New York: HarperCollins, 2000.

Malthus T.R. *An essay on the principle of population as it affects the future improvement of society*. London: J. Johnson, 1798.



Ospovat D. *The development of Darwin's theory: Natural history, natural theology, and natural selection, 1838–1859*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

Rupke N.A. *Richard Owen: Victorian naturalist*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1994.

### Глава 3: ПОГРУЖАЯСЬ ВГЛУБЬ ВРЕМЕН

Bowring S.A., Housh T. "The Earth's early evolution." *Science*, 1995, 269: 1535–1540.

Briggs D.E.G., Erwin D.H., Collier F.J. *The fossils of the Burgess Shale*. Washington: Smithsonian Institution Press, 1994.

Brocks J.J., Logan G.A., Buick R., Summons R.E. "Archean molecular fossils and the early rise of eukaryotes." *Science*, 1999, 285: 1033–1036.

Budd C.E., Jensen S. "A critical reappraisal of the fossil record of the bilaterian phyla." *Biological Reviews of the Cambrian Philosophical Society*, 2000, 75: 253–295.

Burchfield J.O. *Lord Kelvin and the age of the Earth*. New York: Science History Publications, 1975.

Carroll R.L. *Vertebrate paleontology and evolution*. New York: Freeman, 1988.

Dalrymple G.B. *The age of the Earth*. Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1991.

Fortey R.A. *Life: A natural history of the first four billion years of life on Earth*. New York: Knopf, 1998.

Gould S.J. *Wonderful life: The Burgess Shale and the nature of history*. New York: Norton, 1989.

Knoll A.H. "A new molecular window on early life." *Science*, 1999, 285: 1025–1026.

Lunine J.I. *Earth: Evolution of a habitable world*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

McPhee J.A. *Annals of the former world*. New York: Farrar Straus & Giroux, 1998.

- Prothero D.R., Prothero D.A. *Bringing fossils to life: An introduction to paleobiology*. New York: McGraw-Hill, 1997.
- Schopf J.W. *Cradle of life: The discovery of Earth's earliest fossils*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1999.
- \_\_\_\_\_, "Solution to Darwin's dilemma: Discovery of the missing Precambrian record of life." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 6947–6953.
- Xiao S., Zhang Y., Knoll A.H. "Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite." *Nature*, 1998, 391: 553–558.
- Zimmer C. "Ancient continent opens window on the early earth." *Science*, 1999, 286: 2254–2256.

#### Глава 4: СВИДЕТЕЛИ ПЕРЕМЕН

- Adami C. *Introduction to artificial life*. New York: Springer, 1998.
- \_\_\_\_\_, Ofria C, Collier TC. "Evolution of biological complexity." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 4463–4468.
- Adams M.B. *The evolution of Theodosius Dobzhansky: Essays on his life and thought in Russia and America*. Princeton, NJ.: Princeton University Press, 1994.
- Albertson R.C., Markert J.A., Danley P.D., Kocher T.D. "Phylogeny of a rapidly evolving clade: The cichlid fishes of Lake Malawi, East Africa." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 5107–5110.
- Bowler, P.J. *The Norton history of the environmental sciences*. New York: Norton, 1993.
- Cook L.M., Bishop J.A. *Genetic consequences of man-made change*. London, England & Toronto: Academic Press, 1981.
- Coyne J.A., Orr H.A. "The evolutionary genetics of speciation." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 1998, 353: 287–305.

- Dawkins R. *The blind watchmaker: Why evidence of evolution reveals a universe without design*. New York: Norton, 1996.
- \_\_\_\_\_, *The selfish gene*. New York: Oxford University Press, 1976.
- Depew D.J., Weber B.H. *Darwinism evolving: Systems dynamics and the genealogy of natural selection*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995.
- Dieckmann U., Doebeli M. "On the origin of species by sympatric speciation." *Nature*, 1999, 400: 354–357.
- Dobzhansky T.G. *Genetics and the origin of species*. New York: Columbia University Press, 1937.
- Goldschmidt T. *Darwin's dreampond: Drama in Lake Victoria*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1996.
- Grant P.R., Grant B.R. "Non-random fitness variation in two populations of Darwin's finches." *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 2000, 267: 131–138.
- \_\_\_\_\_, Royal Society (Great Britain). Discussion Meeting. *Evolution on islands*. Oxford & New York: Oxford University Press, 1998.
- Harris R.S., Kong Q., Maizels N. "Somatic hypermutation and the three R's: repair, replication and recombination." *Mutation Research*, 1999, 436: 157–178.
- Henig R.M. *The monk in the garden: How Gregor Mendel and his pea plants solved the mystery of inheritance*. Boston: Houghton Mifflin, 2000.
- Howard D.J., Berlocher S.H. *Endless forms: Species and speciation*. New York: Oxford University Press, 1998.
- Huxley J. *Evolution, the modern synthesis*. New York & London: Harper & Brothers, 1942.
- Janeway C. *Immunobiology: The immune system in health and disease*. New York: Garland, 1999.
- Johnson T.C., Kelts K., Odada E. "The Holocene history of Lake Victoria." *Ambio*, 2000, 29: 2–11.
- Kondrashov A.S., Kondrashov F.A. "Interactions among quantitative traits in the course of sympatric speciation." *Nature*, 1999, 400: 351–354.

- Koza J.R. *Genetic programming III: Darwinian invention and problem solving*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999.
- Lenski R.E., Ofria C., Collier T.C., Adami C. "Genome complexity, robustness and genetic interactions in digital organisms." *Nature*, 1999, 400: 661–664.
- Mayr E. *Systematics and the origin of species, from the viewpoint of a zoologist*. New York: Columbia University Press, 1942.
- \_\_\_\_\_, *The growth of biological thought: Diversity, evolution, and inheritance*. Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1982.
- Provine W.B. *The origins of theoretical population genetics*. Chicago: University of Chicago Press, 1975.
- Rensberger B. *Life itself: Exploring the realm of the living cell*. New York: Oxford University Press, 1996.
- Reznick D.N., Shaw F.H., Rodd F.H., Shaw R.G. "Evaluation of the rate of evolution in natural populations of guppies (*Poecilia reticulata*)." *Science*, 1997, 275: 1934–1937.
- Ridley M. *Evolution*. Cambridge, Mass.: Blackwell Science, 1998.
- Sato A., Ohigin C., Figueroa F., Grant P.R., Grant B.R., Tichy H., et al. "Phylogeny of Darwin's finches as revealed by mtDNA sequences." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 5101–5106.
- Simpson G.G. *Tempo and mode in evolution*. New York: Columbia University Press, 1984.
- Stiassny M., Meyer A. "Cichlids of rift lakes." *Scientific American*, 1999, 280: 64–69.
- Taubes G. "Evolving a conscious machine." *Discover*, June 1998, 73–79.
- Wade M.J., Goodnight C.J. "Wright's shifting balance theory: An experimental study." *Science*, 1991, 253: 1015–1018.
- Weiner J. *The beak of the finch: A story of evolution in our time*. New York: Knopf, 1994.
- \_\_\_\_\_, *Time, love, memory: A great biologist and his quest for the origins of behavior*. New York: Knopf, 1999.

## Глава 5: КАК УКОРЕНЯЛОСЬ ДРЕВО ЖИЗНИ

- Andersson S.G., Zomorodipour A., Andersson J.O., Sicheritz-Ponten T., Alsmark U.C., Podowski R.M., et al. "The genome sequence of *Rickettsia prowazekii* and the origin of mitochondria." *Nature*, 1998; 396: 133–140.
- Barns S.M., Fundyga R.E., Jeffries M.W., Pace N.R. "Remarkable archaeal diversity detected in a Yellowstone National Park hot spring environment." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1994, 91: 1609–1613.
- Cech T.R. "The ribosome is a ribozyme." *Science*, 2000, 289: 878–879.
- Doolittle W.F. "Uprooting the tree of life." *Scientific American*, February 2000, 90–95.
- Freeland S.J., Knight R.D., Landweber L.F. "Do proteins predate DNA?" *Science*, 1999, 286: 690–692.
- Ganornina M.D., Sanchez D. "Generation of evolutionary novelty by functional shift." *Bioessays*, 1999, 21: 432–439.
- Gee H. *In search of deep time: Beyond the fossil record to a new history of life*. New York: Free Press, 1999.
- Gesteland R.F., Cech T., Atkins J.F. *The RNA world: The nature of modern RNA suggests a prebiotic RNA*. Cold Spring Harbor, N.Y.: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1999.
- Holland P.W. "Gene duplication: Past, present and future." *Seminars in Cellular and Developmental Biology*, 1999, 10: 541–547.
- Kerr R.A. "Early life thrived despite earthly travails." *Science*, 1999, 284: 2111–2113.
- Laudweber L.F. "Testing ancient RNA-protein interactions." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 11067–11078.
- Lazcano A., Miller S.L. "The origin and early evolution of life: prebiotic chemistry, the pre-RNA world, and time." *Cell*, 1996, 85: 793–798.
- Levin B.R., Bergstrom C.T. "Bacteria are different: Observations, interpretations, speculations, and opinions about the mechanisms

- of adaptive evolution in prokaryotes." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 6981–6985.
- Margulis L. *Symbiotic planet: A new look at evolution*. New York: Basic Books, 1998.
- Maynard Smith J., Szathmary E. *The origins of life: From the birth of life to the origin of language*. Oxford & New York: Oxford University Press, 1999.
- Mojzsis S.J., Arrhenius G., McKeegan K.D., Harrison T.M., Nutman A.P., Friend C.R. "Evidence for life on Earth before 3,800 million years ago.» *Nature*, 1996, 384: 55–59.
- Muller M., Martin W. "The genome of *Rickettsia prowazekii* and some thoughts on the origin of mitochondria and hydrogenosomes." *Bioessays*, 1999, 21: 377–381.
- Pace N.R. "A molecular view of microbial diversity and the biosphere." *Science*, 1997, 276: 734–740.
- Sapp J. *Evolution by association: A history of symbiosis*. New York: Oxford University Press, 1994.
- Wills C., Bada J. *The spark of life: Darwin and the primeval soup*. Cambridge, Mass.: Perseus Publishing, 2000.
- Woese C. "The universal ancestor." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95: 6854–6859.

## Глава 6: СЛУЧАЙНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ

- Allman J.M. *Evolving brains*. New York: Scientific American Library/Freeman, 1999.
- Arthur W. *The origin of animal body plans: A study in evolutionary developmental biology*. Cambridge, England & New York: Cambridge University Press, 1997.
- Averof M., Patel N.H. "Crustacean appendage evolution associated with changes in Hox gene expression." *Nature*, 1997, 388: 682–686.
- Bateson W. *Materials for the study of variation treated with especial regard to discontinuity in the origin of species*. London: Macmillan, 1894.

- Briggs D.E.C., Erwin D.H., Collier F.J. *The fossils of the Burgess Shale*. Washington: Smithsonian Institution Press, 1994.
- Budd G.E., Jensen S. "A critical reappraisal of the fossil record of the bilaterian phyla." *Biological Reviews of the Cambrian Philosophical Society*, 2000, 75: 253–295.
- Butterfield N.J. "Plankton ecology and the Proterozoic to Phanerozoic transition." *Paleobiology*, 1997, 23: 247–262.
- Carroll R.L. *Vertebrate paleontology and evolution*. New York: Freeman, 1988.
- Conway Morris S. "The Cambrian 'explosion': Slow fuse or megatonnage?" *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 4426–4429.
- \_\_\_\_\_, *The crucible of creation: The Burgess Shale and the rise of animals*. Oxford & New York: Oxford University Press, 1998.
- \_\_\_\_\_, "Showdown on the Burgess Shale: The challenge." *Natural History*, December 1998: 48–55.
- Eldredge N. *Time frames: The rethinking of Darwinian evolution and the theory of punctuated equilibria*. London: Heinemann, 1986.
- Fortey R.A. *Life: A natural history of the first four billion years of life on Earth*. New York: Knopf, 1998.
- Ganfornina M.D., Sanchez D. "Generation of evolutionary novelty by functional shift." *Bioessays*, 1999, 21: 432–439.
- Gee H. *Before the backbone: Views on the origin of the vertebrates*. London; New York: Chapman & Hall, 1996.
- \_\_\_\_\_, *Shaking the tree: Readings from nature in the history of life*. Chicago: University of Chicago Press, 2000.
- Gehring W.J. *Master control genes in development and evolution: The homeobox story*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1998.
- Gerhart J., Kirschner M. *Cells, embryos, and evolution: Toward a cellular and developmental understanding of phenotypic variation and evolutionary adaptability*. Maiden, Mass.: Blackwell Science, 1997.
- Gould S.J. *Ontogeny and phylogeny*. Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1977.

- \_\_\_\_\_, *Wonderful life: The Burgess Shale and the nature of history*. New York: Norton, 1989.
- Hoffman P.F., Kaufman A.J., Halverson G.P., Schrag D.P. "A neoproterozoic snowball earth.» *Science*, 1998, 281: 1342–1346.
- Holland L.Z., Holland N.D. "Chordate origins of the vertebrate central nervous system." *Current Opinion in Neurobiology*, 1999, 9: 596–602.
- Keys D.N., Lewis D.L., Selegue J.E., Pearson B.J., Goodrich L.V., Johnson R.L., et al. "Recruitment of a hedgehog regulatory circuit in butterfly eyespot evolution.» *Science*, 1999, 283: 532–534.
- Knoll A.H., Carroll S.B. "Early animal evolution: Emerging views from comparative biology and geology." *Science*, 1999, 284: 2129–2137.
- Lundin L.G. "Gene duplications in early metazoan evolution." *Seminars in Cellular and Developmental Biology*, 1999, 10: 523–530.
- McNamara K.J. *Shapes of time: The evolution of growth and development*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1997.
- O'Leary M., Uhen M. "The time of origin of whales and the role of behavioral changes in the terrestrial-aquatic transition." *Paleobiology*, 1999, 25: 534–556.
- Prothero D.R., Prothero D.A. *Bringing fossils to life: An introduction to paleobiology*. New York: McGraw-Hill, 1997.
- Shankland M., Seaver E.C. "Evolution of the bilaterian body plan: What have we learned from annelids?" *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 4434–4437.
- Shubin N., Tabin C., Carroll S. "Fossils, genes and the evolution of animal limbs." *Nature*, 1997, 388: 639–648.
- Sumida S.S., Martin K.L.M. *Amniote origins: Completing the transition to land*. San Diego: Academic Press, 1997.
- Williams G.C. *The pony fish's glow: And other clues to plan and purpose in nature*. New York: Basic Books, 1997.
- Zimmer C. *At the water's edge: Macroevolution and the transformation of life*. New York: Free Press, 1998. "In search of vertebrate origins: Beyond brain and bone." *Science*, 2000, 287: 1576–1579.



## Глава 7: ВЫМИРАНИЕ

- Bowring S.A., Erwin D.H., Isozaki Y. "The tempo of mass extinction and recovery: The end-Permian example." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 8827–8828.
- Burney D.A. "Holocene lake sediments in the Maha'ulepu Caves of Kaua'i: Evidence for a diverse biotic assemblage from the Hawaiian lowlands and its transformation since human arrival." *Ecological Monographs*, in press.
- Chapin F.S.r., Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., et al. "Consequences of changing biodiversity." *Nature*, 2000, 405: 234–242.
- Cohen A.N., Carlton J.T. "Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary." *Science*, 1998, 279: 555–558.
- Daszak P., Cunningham A.A., Hyatt A.D. "Emerging infectious diseases of wildlife: Threats to biodiversity and human health." *Science*, 2000, 287: 443–449.
- Dobson A.P. *Conservation and biodiversity*. New York: Scientific American Library, 1996. Drake F. *Global warming: The science of climate change*. New York: Oxford University Press, 2000.
- Erwin D.H. "After the end: Recovery from extinction." *Science*, 1998, 279: 1324–1325.
- \_\_\_\_\_, *The great Paleozoic crisis: Life and death in the Permian*. New York: Columbia University Press, 1993.
- \_\_\_\_\_, "Life's downs and ups." *Nature*, 2000, 404: 129–130.
- Flannery T.F. *The future eaters: An ecological history of the Australasian lands and people*. New York: George Brazillier, 1995.
- Gaston K.J. "Global patterns in biodiversity." *Nature*, 2000, 405: 220–227.
- Holdaway R.N., Jacomb C. "Rapid extinction of the moas (Aves: Dinornithiformes): Model, test, and implications." *Science*, 2000, 287: 2250–2254.

- Inouye D.W., Barr B., Armitage K.B., Inouye B.D. "Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 1630–1633.
- Kaiser J. "Does biodiversity help fend off invaders?" *Science*, 2000, 288: 785–786.
- Kasting J.F. "Long-term effects of fossil fuel burning." *Consequences*, 1998, 4: 55–27.
- Kemp T.S. *Mammal-like reptiles and the origin of mammals*. London & New York: Academic Press, 1982.
- Kirchner J.W., Weil A. "Delayed biological recovery from extinctions throughout the fossil record.» *Nature*, 2000, 404: 177–179.
- Kyte F. "A meteorite from the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*, 1998, 396: 237–239.
- Lawton J.H., May R.M. *Extinction rates*. Oxford & New York: Oxford University Press, 1995.
- MacPhee R.D.E. *Extinctions in near time: Causes, contexts, and consequences*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999.
- McCann K.S. "The diversity-stability debate." *Nature*, 2000, 405: 228–233.
- Miller G.H., Magee J.W., Johnson B.J., Fogel M.L., Spooner N.A., McCulloch MT, et al. "Pleistocene extinction of *Genyornis newtoni*: Human impact on Australian megafauna." *Science*, 1999, 283: 205–208.
- Mooney H.A., Hobbs R.J., eds. *Invasive species in a changing world*. Washington, D.C.: Island Press, 2000.
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A., Kent J. "Biodiversity hotspots for conservation priorities." *Nature*, 2000, 403: 853–858.
- National Research Council (U.S.). Board on Biology. *Nature and human society: The quest for a sustainable world*. Washington, D.C.: National Academy Press, 2000.
- Norris R.D., Firth J., Blusztajn J.S., Ravizza C. "Mass failure of the North Atlantic margin triggered by the Cretaceous-Paleogene bolide impact.» *Geology*, 2000, 28: 1119–1122.

- Pimm S., Askins R. "Forest losses predict bird extinctions in eastern North America." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1995, 92: 10871–10875.
- \_\_\_\_\_, Raven P. "Biodiversity: Extinction by numbers." *Nature*, 2000, 403: 843–845.
- Powell J.L. *Night comes to the Cretaceous: Dinosaur extinction and the transformation of modern geology*. New York: Freeman, 1998.
- Prothero D.R., Prothero D.A. *Bringing fossils to life: An introduction to paleobiology*. New York: McGraw-Hill, 1997.
- Purvis A., Hector A. "Getting the measure of biodiversity." *Nature*, 2000, 405: 212–219.
- Quammen D. "Planet of weeds." *Harper's*, 1990, 297: 57–69.
- \_\_\_\_\_, *The song of the dodo: Island biogeography in an age of extinctions*. New York: Scribner, 1996.
- Ricciardi A., MacIsaac H.J. "Recent mass invasion of the North American Great Lakes by Ponto-Caspian species." *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15: 62–65.
- Rosenzweig M.L. *Species diversity in space and time*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- Sala O.E., Chapin F.S., 3rd, Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., et al. «Global biodiversity scenarios for the year 2100.' *Science*, 2000, 287: 1770–1774.
- Shackleton, N.J. "The 100,000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity." *Science*, 2000, 289: 1897–1902.
- Sheehan P.M., David E. Fastovsky D.E., Barreto C, Hoffmann R.G. "Dinosaur abundance was not declining in a '3 m gap' at the top of the Hell Creek Formation, Montana and North Dakota." *Geology*, 2000, 28: 523–526.
- Simberloff D. Schmitz D.C., Brown T.C. *Strangers in paradise: Impact and management of nonindigenous species in Florida*. Washington, D.C.: Island Press, 1997.

- Smil V. *Cycles of life: Civilization and the biosphere*. New York: Scientific American Library/Freeman, 1997.
- Stott P.A., Tett S.F.B., Jones G.S., Allen M.R., Mitchell J.F.B., Jenkins G.J. «External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings.» *Science*, 2000, 290: 2133–2137.
- Thornton I.W.B. *Krakatau: The destruction and reassembly of an island ecosystem*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1996.
- Van Driesche J., Van Driesche R. *Nature out of place: Biological invasions in the global age*. Washington, D.C.: Island Press, 2000
- Vitousek P.M., D'Antonio C.M., Loope L.L., Westbrooks R. 'Biological invasions as global environmental change.' *American Scientist*, 1996, 84: 468–479.
- Ward P.D. *The call of distant mammoths: Why the ice age mammals disappeared*. New York: Copernicus, 1997.
- \_\_\_\_\_, *The end of evolution: On mass extinctions and the preservation of biodiversity*. New York: Bantam Books, 1994.
- \_\_\_\_\_, Montgomery D.R., Smith R. "Altered river morphology in South Africa related to the Permian-Triassic extinction." *Science*, 2000, 289: 1740–1743.
- Wilson E.O. *The diversity of life*. Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1992.

## Глава 8: КОЭВОЛЮЦИЯ

- Barlow C. *The ghosts of evolution: Nonsensical fruits, missing partners, and other evolutionary anachronisms*. New York: Basic Books, 2001.
- Brodie E.D., III, Brodie E.D., Jr. "Predator-prey arms races and dangerous prey." *Bioscience*, 1999, 49: 557–568.
- Buchmann S.L., Nabhan G.P. *The forgotten pollinators*. Washington, D.C.: Island Press, 1996.
- Currie C.R., Mueller U.G., Malloch D. "The agricultural pathology of ant fungus gardens." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 7998–8002.

- Darwin C. *On the various contrivances by which British and foreign orchids are fertilised by insects, and on the good effects of intercrossing*. London: John Murray, 1862.
- DeMoraes C.M., Lewis W.J., Pare P.W., Alborn H.T., Tumlinson J.H. «Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids.» *Nature*, 1998, 393: 570–573.
- Diamond J. “Ants, crops, and history.” *Science*, 1998, 281: 1974–1975.
- Ehrlich P.R., Raven P.H. “Butterflies and plants: A study in coevolution.” *Evolution*, 1964, 18: 586–608.
- Evans E.P. *The criminal prosecution and capital punishment of animals*. London: Faber & Faber, 1987.
- Farrell B.D. “‘Inordinate fondness’ explained: Why are there so many beetles?» *Science*, 1998, 281: 555–559.
- Georghiou G.P., Lagunes-Tejeda A. *The occurrence of resistance to pesticides in arthropods*. Rome: UN Food and Agriculture Organization, 1991.
- Melander A.L. “Can insects become resistant to sprays?” *Journal of Economic Entomology*, 1914, 7: 167–173.
- Mueller U.G., Rehner S.A., Schultz T.R. “The evolution of agriculture in ants.” *Science*, 1998, 281: 2034–2038.
- Murray D.R. *Seed dispersal*. Sydney & Orlando: Academic Press, 1986.
- National Research Council (U.S.). Committee on Strategies for the Management of Pesticide Resistant Pest Populations. *Pesticide resistance: Strategies and tactics for management*. Washington, D.C. National Academy Press, 1986.
- Pimentel D. *Techniques for reducing pesticide use: Economic and environmental benefits*. Chichester, England & New York: Wiley, 1997.
- Pimentel D., Lach L., Zuniga R., Morrison D. “Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States.” *Bioscience*, 2000, 50: 53–65.
- \_\_\_\_\_, Lehman H. *The pesticide question: Environment, economics, and ethics*. New York: Chapman & Hall, 1993.

- Sheets T.J., Pimentel D. *Pesticides: Contemporary roles in agriculture, health, and environment*. Clifton, N.J.: Humana Press, 1979.
- Thompson J.N. *The revolutionary process*. Chicago: University of Chicago Press, 1994. von Helversen D, von Helversen O. "Acoustic guide in bat-pollinated flower." *Nature*, 1999, 398: 759–760.
- Winston M.L. *Nature wars: People vs. pests*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1997.

## Глава 9: ДОКТОР ДАРВИН

- Carrington M., Kissner T., Gerrard B., Ivanov S., O'Brien S.J., Dean M. "Novel alleles of the chemokine-receptor gene CCR5." *American Journal of Human Genetics*, 1997, 61: 1261–1267.
- Chadwick D., Goode J. *Antibiotic resistance: Origins, evolution, selection, and spread*. New York: Wiley, 1997.
- Cohen J. "The hunt for the origin of AIDS." *Atlantic Monthly*, 2000, 286: 88–103.
- Ewald P. *The evolution of infectious diseases*. Oxford: Oxford University Press, 1997. Farmer P. "Social inequalities and emerging infectious diseases." *Emerging Infectious Diseases*, 1996, 2: 259–269.
- Gao F., Bailes E., Robertson D.L., Chen Y., Rodenburg C.M., Michael S.F., et al. "Origin of HIV-1 in the chimpanzee *Pan troglodytes troglodytes*." *Nature*, 1999, 397: 436–441.
- Garrett L. *Betrayal of trust: The global collapse of public health*. New York: Hyperion, 2000.
- Hahn B.H., Shaw G.M., De Cock K.M., Sharp P.M. "AIDS as a zoonosis: Scientific and public health implications." *Science*, 2000, 287: 607–614.
- Lawrence J.G., Debman H. "Molecular archaeology of the *Escherichia coli* genome." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95: 9413–9417.
- Levy S.B. *The antibiotic paradox: How miracle drugs are destroying the miracle*. New York: Plenum Press, 1992.

- \_\_\_\_\_, "The challenge of antibiotic resistance." *Scientific American*, 1998, 278: 46–53.
- Nesse R.M., Williams G.C. *Why we get sick: The new science of Darwinian medicine*. New York: Times Books, 1994.
- Ploegh H.L. "Viral strategies of immune evasion." *Science*, 1998, 280: 248–253.
- Stearns S.C. *Evolution in health and disease*. Oxford & New York: Oxford University Press, 1999.
- Weiss R.A., Wrangham R.W. "From *Pan* to pandemic." *Nature*, 1999, 397: 385–386.
- Witte W. "Medical consequences of antibiotic use in agriculture." *Science*, 1998, 279: 996–997.
- Zimmer C. *Parasite rex: Inside the bizarre world of nature's most dangerous creatures*. New York: Free Press, 2000.

## Глава 10: ЛОГИКА СТРАСТИ

- Alcock J. *Animal behavior: An evolutionary approach*. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 1998.
- Andersson M.B. *Sexual selection*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1994.
- Andrade M.C.B. "Sexual selection for male sacrifice in the Australian redback spider." *Science*, 1996, 271: 70–72.
- Birkhead T.R. *Promiscuity: An evolutionary history of sperm competition*. Cambridge: Harvard University Press, 2000.
- \_\_\_\_\_, Møller A.P. *Sperm competition and sexual selection*. San Diego & London: Academic Press, 1998.
- Boesch C., Boesch-Achermann H. *The chimpanzees of the Tai Forest: Behavioural ecology and evolution*. Oxford & New York: Oxford University Press, 2000.
- Cronin H. *The ant and the peacock: Altruism and sexual selection from Darwin to today*. New York: Cambridge University Press, 1991.

- Dawkins R. *The selfish gene*. New York: Oxford University Press, 1976.
- Dusenbery DB. "Selection for high gamete encounter rates explains the success of male and female mating types." *Journal of Theoretical Biology*, 2000, 202: 5-SO.
- Gould J.L., Gould C.G. *Sexual selection*. New York: Scientific American Library/Freeman, 1989.
- Haig D. "Genetic conflicts in human pregnancy." *Quarterly Review of Biology*, 1993, 68: 495–532.
- Hausfater G., Hrdy S.B. *Infanticide: Comparative and evolutionary perspectives*. New York: Aldine, 1984.
- Holland B., Rice W.R. "Experimental removal of sexual selection reverses intersexual antagonistic coevolution and removes a reproductive load." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 5083–5088.
- Hrdy S.B. *Mother nature: A history of mothers, infants, and natural selection*. New York: Pantheon Books, 1999.
- Møller A.P., Swaddle J.P. *Asymmetry, developmental stability, and evolution*. Oxford: Oxford University Press, 1997.
- Petrie M. "Improved growth and survival of offspring of peacocks with more elaborate trains." *Nature*, 1994, 371: 598–599.
- \_\_\_\_\_, Krupa A., Burke T. "Peacocks lek with relatives even in the absence of social and environmental cues." *Nature*, 1999, 401: 155–157.
- Pizzari T., Birkhead T.R. "Female feral fowl eject sperm of sub-dominant males." *Nature*, 2000, 405: 787–789.
- Rice W.R. "Sexually antagonistic male adaptation triggered by experimental arrest of female evolution." *Nature*, 1996, 381: 232–234.
- Ridley M. *The Red Queen: Sex and the evolution of human nature*. New York: Penguin Books, 1995.
- Waal F.B.M. *Chimpanzee politics: Power and sex among apes*. Baltimore, Md. & London: Johns Hopkins University Press, 1998.



- \_\_\_\_\_, *Good natured: The origins of right and wrong in humans and other animals*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1996.
- \_\_\_\_\_, Lanting F. *Bonobo: The forgotten ape*. Berkeley, Calif.: University of California Press, 1997.
- Welch A.M., Semlitsch R.D., Gerhardt H.C. "Call duration as an indicator of genetic quality in male gray tree frogs." *Science*, 1998, 280: 1928–1930.
- Wrangham R.W. "Subtle, secret female chimpanzees." *Science*, 1997, 277: 774–775.
- \_\_\_\_\_, Peterson D. *Demonic males: Apes and the origins of human violence*. Boston: Houghton Mifflin, 1996.

## Глава 11: РАЗГОВОРЧИВАЯ ОБЕЗЬЯНА

- Allman J.M. *Evolving brains*. New York: Scientific American Library/Freeman, 1999.
- Barkow J.H., Cosmides L., Tooby J. *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*. New York: Oxford University Press, 1992.
- Baron-Cohen S., Tager-Flusberg H., Cohen D.J. *Understanding other minds: Perspectives from developmental cognitive neuroscience*. Oxford & New York: Oxford University Press, 2000.
- Buss D.M. *The dangerous passion: Why jealousy is as necessary as love and sex*. New York: Free Press, 2000.
- \_\_\_\_\_, *Evolutionary psychology: The new science of the mind*. Boston & London: Allyn & Bacon, 1999.
- \_\_\_\_\_, Haselton M.G., Shackelford T.K., Bleske A.L., Wakefield J.C. «Adaptations, exaptations, and spandrels.» *American Psychologist*, 1998, 53: 533–548.
- Cosmides L. "The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? Studies with the Wason selection task." *Cognition*, 1989, 31: 187–276.
- Coyne J.A., Berry A. "Rape as an adaptation." *Nature*, 2000, 404: 121–122.

- Cummins D.D., Allen C. *The evolution of mind*. New York & Oxford: Oxford University Press, 1998.
- Darwin C. *The descent of man and selection in relation to sex*. London: John Murray, 1871.
- Deacon T.W. *The symbolic species: The co-evolution of language and the brain*. New York & London: Norton, 1997.
- Dunbar R.I.M. *Grooming, gossip and the evolution of language*. London: Faber & Faber, 1996.
- Emlen S.T. "An evolutionary theory of the family." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1995, 92: 8092–8099.
- Fitch W.T. "The evolution of speech: A comparative review." *Trends in Cognitive Sciences*, 2000, 4: 258–267.
- Gagneux P., Wills C., Gerloff U., Tautz D., Morin P.A., Boesch C., et al. "Mitochondrial sequences show diverse evolutionary histories of African hominoids." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 5077–5082.
- Gould S.J. "The pleasures of pluralism." *New York Review of Books*, June 26, 1997, 46–52.
- \_\_\_\_\_, Lewontin R.C. "The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme." *Proceeding of the Royal Society of London Series B*, 1979, 205: 581–598.
- Hare B., Call J., Agnetta B., Tomasello M. "Chimpanzees know what conspecifics do and do not see." *Animal Behaviour*, 2000, 59: 771–785.
- Hauser M. *Wild minds: what animals really think*. New York: Henry Holt, 2000.
- Holden C. "No last word on language origins." *Science*, 1998, 282: 1455–1459.
- Hrdy S.B. *Mother nature: A history of mothers, infants, and natural selection*. New York: Pantheon Books, 1999.
- Johanson D.C., Edgar B. *From Lucy to language*. New York: Simon & Schuster, 1996.

- Kegl J. "The Nicaraguan sign language project: An overview." *Signpost*, 1994, 7: 24–31.
- \_\_\_\_\_, Senghas A., Coppola M. "Creation through contact: Sign language emergence and sign language change in Nicaragua." In: DeGraff M., ed., *Language contact and language change: The intersection of language acquisition, Creole genesis, and diachronic syntax*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1999, pp. 179–237.
- Klein R.G. *The human career: Human biological and cultural origins*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.
- Miller G.F. *The mating mind: How sexual choice shaped the evolution of human nature*. New York: Doubleday, 2000.
- Nowak M.A., Krakauer D.C. "The evolution of language." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 8028–8033.
- \_\_\_\_\_, Krakauer D.C., Dress A. "An error limit for the evolution of language." *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 1999, 266: 2131–2136.
- O'Connell J.F., Hawkes K., Blurton Jones N.G. "Grandmothering and the evolution of *Homo erectus*." *Journal of Human Evolution*, 1999, 36: 461–485.
- Osborne L. "A linguistic big bang." *New York Times Magazine*, October 24, 1999: 84–89.
- Penton-Voak I.S., Perrett D.I., Castles D.L., Kobayashi T., Burt D.M., Murray L.K., et al. «Menstrual cycle alters face preference.» *Nature*, 1999, 399: 741–742.
- Perrett D.I., Lee KJ, Penton-Voak I., Rowland D., Yoshikawa S., Burt D.M., et al. "Effects of sexual dimorphism on facial attractiveness." *Nature*, 1998, 394: 884–887.
- Perrett D.I., May K.A., Yoshikawa S. "Facial shape and judgements of female attractiveness." *Nature*, 1994, 368: 239–242.
- Pinker S. *How the mind works*. New York: Norton, 1997.
- \_\_\_\_\_, *The language instinct*. New York: Morrow, 1994.

- Richmond B.G., Strait D.S. "Evidence that humans evolved from a knuckle-walking ancestor." *Nature*, 2000, 404: 382–386.
- Sahlins M.D. *The use and abuse of biology: An anthropological critique of sociobiology*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1976.
- Scheib J.E., Gangestad S.W., Thornhill R. "Facial attractiveness, symmetry and cues of good genes." *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 1999, 266: 1913–1917.
- Segerstrale U.C.O. *Defenders of the truth: The battle for science in the sociobiology debate and beyond*. New York: Oxford University Press, 2000.
- Singh D. "Adaptive significance of female physical attractiveness: Role of waist-to-hip ratio." *Journal of Personality and Social Psychology*, 1993, 65: 293–307.
- Tattersall I., Schwartz J.H. *Extinct humans*. Boulder, Colo.: Westview Press, 2000.
- Thornhill R., Gangestad S.W. «Facial attractiveness.» *Trends in Cognitive Sciences*, 1999, 3: 452–460.
- \_\_\_\_\_, Møller A.P. "Developmental stability, disease and medicine." *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 1997, 72: 497–548.
- \_\_\_\_\_, Palmer C. *A natural history of rape: Biological bases of sexual coercion*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2000.
- Waal F.B.Md. "The chimpanzee's service economy: Food for grooming." *Evolution and Human Behaviour*, 1997, 18: 375–386.
- Wedekind C., Seebeck T., Bettens F., Paepke A.J. "MHC-dependent mate preferences in humans." *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 1995, 260: 245–249.
- Whiten A. "Social complexity and social intelligence." In J Goode J, ed., *The nature of intelligence*. New York: Wiley, 2000, pp. 185–201.
- \_\_\_\_\_, Byrne R.W. *Machiavellian intelligence II: Extensions and evaluations*. London & New York: Cambridge University Press, 1997.

\_\_\_\_\_, Goodall J., McGrew W.C., Nishida T., Reynolds V., Sugiyama Y., et al. "Cultures in chimpanzees." *Nature*, 1999, 399: 682–685.

Wilson E.O. *Sociobiology: The new synthesis*. Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1975.

Wright R. *The moral animal: Evolutionary psychology and everyday life*. New York: Pantheon Books, 1994.

## Глава 12: СОВРЕМЕННАЯ ЖИЗНЬ ЗА 50 000 ЛЕТ ДО Н.Э.

Bertranpetit J. "Genome, diversity, and origins: The Y chromosome as a storyteller." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 6927–6929.

Blackmore S.J. *The meme machine*. Oxford & New York: Oxford University Press, 1999.

Cavalli-Sforza L.L. *Genes, peoples, and languages*. New York: North Point Press, 2000.

Chauvet J-M., Brunei Deschamps E., Hillaire C. *Dawn of art: The Chauvet Cave, the oldest known paintings in the world*. New York: Abrams, 1996.

Dyson G. *Darwin among the machines: The evolution of global intelligence*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1997.

Ehrlich P. *Human natures*. Washington, D.C.: Island Press, 2000.

Holden C., Mace R. "Phylogenetic analysis of the evolution of lactose digestion in adults." *Human Biology*, 1997, 69: 605–628.

Klein R.G. *The human career: Human biological and cultural origins*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

Krings M., Capellia C., Tschendtscher F., Geisert H., Meyer S., von Haeseler A., et al. «A view of Neandertal genetic diversity.» *Nature Genetics*, 2000, 26: 144–146.

\_\_\_\_\_, Geisert H., Schmitz R.W., Krainitzki H., Paabo S. "DNA sequence of the mitochondrial hypervariable region II from the neandertal type specimen." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1999, 96: 5581–5585.

- \_\_\_\_\_, Stone A., Schmitz R.W., Krainitzki H., Stoneking M., Paabo S. "Neandertal DNA sequences and the origin of modern humans." *Cell*, 1997, 90: 19–30.
- Lewontin R.C. *Human diversity*. New York: Freeman, 1995.
- Mithen S.J. *The prehistory of the mind: A search for the origins of art, religion and science*. London: Thames & Hudson, 1996.
- Nemecek S. "Who were the first Americans?" *Scientific American*, 2000, 283: 80–87.
- Ovchinnikov I.V., Gotherstrom A., Romanova G.P., Kharitonov V.M., Liden K., Goodwin W. "Molecular analysis of Neanderthal DNA from the northern Caucasus." *Nature*, 2000, 404: 490–493.
- Paabo S. "Human evolution." *Trends in Cell Biology*, 1999, 9: 13–16.
- \_\_\_\_\_, "Neolithic genetic engineering." *Nature*, 1999, 398: 194–195.
- Richards M.P., Pettitt P.B., Trinkaus E., Smith F.H., Paunovic M., Karavanic I. "Neanderthal diet at Vindija and Neanderthal predation: The evidence from stable isotopes." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 7663–7666.
- Shen P., Wang F., Underhill P.A., Franco C., Yang W.H., Roxas A., et al. "Population genetic implications from sequence variation in four Y chromosome genes." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97: 7354–7359.
- Shreeve J. *The Neandertal enigma: Solving the mystery of modern human origins*. New York: Morrow, 1995.
- Tattersall I. *Becoming human: Evolution and human uniqueness*. New York: Harcourt Brace, 1998.
- Zimmer C. "After you, Eve." *Natural History*, March 2001, 32–35.

### Глава 13: КАК НАСЧЕТ БОГА?

- Behe M.J. *Darwin's black box: The biochemical challenge to evolution*. New York: Free Press, 1996.
- Cartmill M. "Oppressed by evolution." *Discover*, March 1998, 78–83.

- Chen L., DeVries A.L., Cheng C.H. "Evolution of antifreeze glycoprotein gene from a trypsinogen gene in Antarctic notothenioid fish." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1997, 94: 3811–3816.
- Cheng C.H., Chen L. "Evolution of an antifreeze glycoprotein." *Nature*, 1999, 401, 443–444.
- Darwin C. *Autobiography and selected letters*. New York: Dover Publications, 1958.
- Dawkins R. *Unweaving the rainbow: Science, delusion, and the appetite for wonder*. Boston: Houghton Mifflin, 1998.
- Dupree, A. H. *Asa Gray, 1810–1888*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1959.
- Gasman, D. *The scientific origins of National Socialism: social Darwinism in Ernst Haeckel and the German Monist League*. New York: Elsevier, 1971.
- Gould S.J. *Rocks of ages: Science and religion in the fullness of life*. New York: Ballantine, 1999.
- \_\_\_\_\_, "Non-overlapping Magisterial *Skeptical Inquirer*, 1999, 23: 55–61.
- Haeckel E.H.P.A., Lankester E.R. *The history of creation: or, The development of the earth and its inhabitants by the action of natural causes*. London: Henry S. King, 1876.
- Larson E.J. *Summer for the gods: The Scopes trial and America's continuing debate over science and religion*. Cambridge, Mass. Harvard University Press, 1998.
- Miller K.B. "Theological implications of an evolving creation." *Perspectives on Science and Christian Faith*, 1993, 45: 150–160.
- Miller K.R. *Finding Darwin's god: A scientist's search for common ground between God and evolution*. New York: Cliff Street Books, 1999.
- Moore J.R. "Of love and death: Why Darwin 'gave up Christianity.'" In J.R. Moore, ed., *History, humanity, and evolution: Essays for John C. Greene*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press, 1989, pp. 195–229.

National Academy of Sciences. *Science and creationism: A view from the National Academy of Sciences*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1999.

Numbers R.L. *The creationists*. New York: Knopf, 1992.

Orr H.A. "Darwin v. intelligent design (again)." *Boston Review*, December 1996, 28–31.

Peel J.D.Y. *Herbert Spencer: The evolution of a sociologist*. New York: Basic Books, 1971.

Pennock R.T. *Tower of Babel: The evidence against the new creationism*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1999.

Wilson E.O. «The biological basis of morality.» *Atlantic Monthly*, 1998, 281: 53–70.

\_\_\_\_\_. Hardwired for God. *Forbes ASAP*. Supplement, 1999: 132–134.

\_\_\_\_\_. *Naturalist*. Washington, D.C.: Island Press, 1994.

\_\_\_\_\_. "The two hypotheses of human meaning." *The Humanist*, 1999, 59: 30–31.



## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### А

*Acanthostega* 217, 218  
*Ambulocetus* 29, 223, 225, 494  
*Angraecum sesquipedale* 297, 302  
*Anopheles gambiae* 468  
*Archeoglobus fulgidus* 183  
*Ardipithecus ramidus* 8, 403  
*Asterales* 310  
*Australopithecus anamensis* 403, 438

### В

*Bacillus thuringiensis* 319  
*Basilosaurus* 226

### С

*Campylobacter jejuni* 338  
*Cassia grandis* 325  
*Catasetum saccatum* 301  
CCR5, рецептор 345–347  
*Claraia* 244

### Д

*Dorudon* 226

### Е

*Echinogammarus* 285  
*E. coli*, *Streptococcus* 336  
*Enterococcus* 336  
*Escherichia coli* 182

### Н

*Hadrothemis defecta* 370  
*Homo ergaster* 407  
*Homo mediterraneus* 481  
*Homo neanderthalensis* 456, 460  
*Homo sapiens* 18, 30, 34, 131, 293, 454, 456, 457, 459, 460, 465, 492, 517  
НОХ гены 195–197, 204, 205, 209

### И

*Ichthyostega* 217, 218

### Л

*Lystrosaurus* 236

### М

*Melinis minutiflora* 283

Moschorinus 236  
Mycobacterium tuberculosis 329

## Р

Pakicetus 223–225  
Pan troglodytes troglodytes 343, 344  
Pavo cristatus 362  
Plasmodium falciparum 468  
Protocetus 494

## R

Rickettsia 189, 190  
Rodhocetus 225

## S

Salmonella 338  
Sauroposeidon 249  
Schizachyrium condensatum 283  
Streptomyces 324

## T

Tyrannosaurus rex 260

## X

Xanthopan morgani praedicta 303

## A

Австралия 67, 125–127, 185  
    появление человека 228  
Адами, Кристоф 165  
Акритарки 205–207  
Айелло, Лесли 448  
Альваресы, Уолтер и Луис 253–258  
Альтруизм 382, 385–388, 393, 418, 437

Аминокислоты 138, 177, 180  
Амфибии 130  
Андерсон, Сив 189  
Андреа, Мейдианн 371, 527  
Антибиотики  
    резистентность 330, 337  
Антиген 162, 163  
Антитела 162, 164  
Архея 183, 186  
Архетипы 73, 91, 104  
Астероиды 125, 230, 256, 524  
Аутизм 412  
Африка  
    гипотеза «из Африки» 456  
    происхождение человека 9, 10, 33  
    серповидно-клеточная анемия 467, 468  
Ашшер, Джеймс 49

## Б

Бактерии 20, 28, 33, 125, 126, 129, 162, 175, 181–184, 186–191, 206, 237, 263, 324, 329, 333–337, 339, 493, 513  
    внутри коров 187  
    ДНК 180  
    древо жизни 174–184, 187, 503  
    окаменелости 129  
    резистентность 493, 512  
    хлоропласты 188  
    эволюция 20, 21, 33, 125  
Басс, Дэвид 426, 428, 434  
Беккерель, Анри 116  
Берни, Дэвид 269–275, 293, 527  
Бивелич, Александр 329, 330  
Бигленд, Джон 221  
«Бигль», путешествие 39–71, 85, 529  
Божественный замысел 73, 115

Бонобо 8, 9, 387, 390–393, 405

Боут, Питер 156

Бофорт, Фрэнсис 48

Брайан, Уильям Дженнингс  
483, 514

Бриджес, Калвин 195

Броуди, Эдмунд 306, 307, 527

Брукс, Томас 279

Бэр, Карл фон 77, 103

Бэрон-Коэн, Саймон 411, 412

## В

Вааль, Франс де 392, 527

Ваксман, Селман 329, 333

Вейсона, тест 423

Вёзе, Карл 175, 183, 188

Вирусы 162

ВИЧ 33, 338–348, 503, 507

геном 339

Вриенхок, Роберт 354, 358

Вымирание видов 7, 33, 229–

293, 308, 311, 324–327,

508, 525

пермское 233–238,

243–247, 249, 256, 257

фоновое 233

этапы 275, 277

## Г

Гамильтон, Уильям 356,

381–383

Геккель, Эрнст 480, 481

Гексли (Хаксли), Томас Генри

32, 95–97, 105–111

Генетический инстру-

ментарий 198–200, 205

Геном

расшифровывание 10

человека 10, 146

Гены 11, 19, 21, 23, 24, 138–141,

143–149, 152, 158, 163, 174,

178, 181–186, 191, 193,

195–205, 209, 215, 226, 317,

332, 339, 345, 356–358,

360, 366, 381–386, 390,

402, 420, 430, 452, 455, 465,

466, 470, 472, 473, 498, 504,

507, 509, 517

дупликация 187, 499, 504

мутация 346, 347, 467

регуляторные 197, 198, 218

Герхарт, Джон 202

Гёте, Иоганн Вольфганг 74

Глаза, эволюция 212

Грант, Роберт 43, 56, 58

Грей, Аза 478, 514, 521, 522

Грейвз, Бил 510

Гукер, Джозеф 86, 87, 94, 98,

108–111

Гулд, Джеймс 79

Гулд, Стивен Джей 25, 35,

434–436, 471, 472

Гумбольдт, Александр фон 44

## Д

Данбар, Робин 412–417, 438,

439, 447–449, 527

Дарвин, Роберт 43, 47, 55, 519

Дарвин, Сюзанна (мать Чарль-

за) 41

Дарвин, Эмма (жена Чарльза)

84, 85, 87

Дарвин, Эразм 55, 56

Дарроу, Кларенс 485–487

Детоубийство 82

Дешам, Эльетт Брюнель 450,

451

Дешлер, Тед 219

Джойс, Джеральд 179, 180

Джинджерич, Филип 222, 223,

225–227

Динозавры 131, 228, 247–249,

252, 260–262

как преобладающий вид 131

ДНК 8–12, 18, 20, 23, 138, 140,

141, 146, 157, 163, 164, 167,

174–184, 186, 188, 191, 197,  
226, 322, 335, 338, 339, 345,  
347, 356, 357, 359, 368, 378,  
380–382, 385, 455, 456,  
458–460, 462, 466, 471, 473,  
474, 498, 499, 502–504, 515

Добжанский, Феодосий  
144–151, 487

Докинз, Ричард 472, 505

Древо жизни 9, 11, 174–176,  
184, 187, 503

Дрейссена 284, 285, 291

Дулитл, Форд 189

Дупликация генов 186, 202,  
499, 504

Дэвис, Персиваль 492

Дюзенбери, Дэвид 359, 360, 527

## Е

«Естественная история сексу-  
ального насилия» (Торн-  
хилл и Палмер) 431, 432

«Естественная история миро-  
творения» (Геккель) 480,  
481

## Ж

Жирафы

Ламарк 57

Жуки

суд в Берне 312

виды 310

## З

Землетрясения 60, 63–65, 102,  
259

## И

Иллер, Кристиан 450

Иммунная система 161, 162,  
163, 333

Иммунные клетки 161, 331

Ископаемые 12, 51, 57, 60, 69,  
72, 78, 79, 98, 127, 129, 131,  
150, 173, 224, 228, 270

слоновьи черепахи 51

слоны 51

## Й

Йохансон, Дональд 403

## К

Кавалли-Сфорца, Луиджи 470

Карнеги, Эндрю 482

Карри, Кэмерон 323

Кегль, Джуди 441–443

Кембрийский взрыв 129,  
198–207, 215, 453, 492, 493,  
502, 507, 513

Кемпбелл, Джордж 168

Киты

происхождение 220, 221,  
224–228, 261, 494, 507

Клак, Дженнифер 217

Клейн, Ричард 457, 461–464, 527

Коа, Джон 168

Койн, Джерри 432, 433, 507

Комдер, Ян 376

Космидес, Леда 422, 423

Козволюция 7, 297–339

биохимическая война 307

между паразитами и их

хозяевами 333

насекомые 298–301

преимущества 187, 305, 311

Креационизм 13, 16, 28, 484,  
486–495, 505–511

Крейсворт, Барри 336

Крингс, Матиас 458, 459

Кюри, Пьер и Мария 116, 118

## Л

Лайель, Чарльз 59–69, 78, 81,  
90, 110, 115, 229, 518

Лакалли, Терстон 210, 212, 525,  
527  
Лалл, Ричард 216  
Ламарк, Жан-Баптист 57, 58,  
75, 76, 81, 134, 151, 473  
Ламарка, теория 57  
Левонтин, Ричард 435  
Леопольд, Натан 485  
Леса 234, 235, 244, 245, 265, 271,  
274, 276–280, 289–291,  
297, 305, 321, 322, 324, 326,  
343, 402, 404, 415, 468  
Летучие мыши 387  
Липсон, Ход 168, 169  
Лоб, Ричард 485

## М

Майр, Эрнст 25, 148–150, 487  
Мальтус, Томас 81, 90, 97, 100,  
277  
Мамонты 51, 265, 275  
Меландер, Аксел Леонард  
314–316  
Метеориты 121, 254  
Микробы 125, 175, 176, 180, 335,  
512  
    эволюция и 181  
Митохондрии 187–190, 191, 455  
Млекопитающие 11, 53, 65,  
103, 131, 173, 220, 222,  
226–228, 234, 247, 249–  
252, 260–263, 267, 268,  
326, 327, 365  
Митен, Стивен 463  
Мозг 10, 18, 20–23, 29, 74, 106,  
107, 111, 163, 192, 194,  
201–204, 208–212, 248,  
249, 367, 387, 399, 400, 403,  
405–407, 409–413, 416,  
419, 421, 422, 424, 428, 433,  
436–441, 443, 446, 448, 463,  
464, 469, 472–475, 505  
    обезьяны 106

    объем 17  
    спинной 10, 74, 194  
    человека 107  
Моррис, Генри 488, 489, 492  
Морская игла 393  
Муравьеды 78, 251  
Муравьи 39, 321–324, 353, 418,  
419, 393  
Мутации 8, 11, 19, 22, 33, 140,  
141–145, 147, 148, 150, 152,  
153, 164, 166, 169, 174, 179,  
181, 183, 186, 191, 195, 255,  
317, 335, 339, 340, 345–348,  
355, 357, 413, 444  
Мюллер, Миклош 190

## Н

«Начала естественной исто-  
рии творения» (Чем-  
берс) 87–90, 104  
Наполеон 189, 190, 522  
Народонаселения, теория  
    Мальтуса 81  
Насекомые 74, 128, 142, 221,  
236, 246, 281, 298, 307, 308,  
310–312, 314, 317–320,  
334, 513  
Неандертальцы 454, 456, 459,  
460, 462, 465  
Неокортекс 248, 249, 413, 438  
Новак, Мартин 442–446, 527  
Нолл, Эндрю 239, 527  
Ньютон, Исаак 524

## О

Обезьяны 81, 106, 107, 109, 342,  
344, 400–402, 410  
    в связи с человеком 12,  
    106–109  
    как источник ВИЧ 342–348  
    социальная жизнь 398, 399  
О'Брайен, Стивен 344–348, 527  
Овертон, Уильям 490, 491, 495

Окаменелости 9, 12, 31, 49,  
51, 57, 65, 101, 102, 110,  
121–123, 125–131, 144,  
185, 217, 223, 224, 231, 235,  
236, 266, 402, 403, 406, 479,  
493, 496, 507

Океаны 125, 185, 205, 260

Окен, Лоренц 75

О'Лири, Морин 224, 225, 527

«О пандах и людях» 13–15, 17,  
18, 495

Оуэн, Ричард 76–78, 91, 92, 96,  
104, 105–109, 129

Оуэн, Фанни 83

Оффрия, Чарльз 165

## П

Павлины 352, 354, 362, 384

Палеонтологическая летопись  
28, 173, 494

Пауки 198, 242, 292, 353,  
370–372

Паразиты

грибы-паразиты 323

источник малярии 175

коэволюция 7, 297, 303, 333

осы-паразиты 328

триумф 331, 332

Палмер, Крейг 432, 433

Паттерсон, Клэр 121

Пейли, Уильям 53–55, 57, 73,  
103, 109, 164, 496

Пентон-Воук, Иэн 427, 428

Перретт, Дэвид 424

Петри, Марион 362–364, 367,  
384, 527

Пимм, Стюарт 279, 287, 288,  
527

Пинкер, Стивен 441

Плейстоценовая эпоха 326

Плейстоценовые 417, 425, 426

Повинелли, Дэниел 414

Поло, Марко 473

Позвоночные 74, 75, 77, 130,  
131, 202, 203, 205, 208,  
214, 215, 227, 239, 248, 303

Поллак, Джордан 168, 169

Половое размножение 352–354  
как фактор сопротивления  
паразитам 354

Потоп (всемирный) 52, 110, 488

Пресмыкающиеся 29, 77

Приматы 214, 228, 252, 261, 262,  
365, 389, 390, 392, 401, 405,  
409, 410, 413, 418, 433, 438,  
439

зрение 11

зеленые мартышки 409

Протеины 19, 138

Птицы 66, 79, 92, 94, 103, 124,  
131, 148, 150, 155–157,  
214, 234, 242, 263, 268, 269,  
271–274, 278–280, 303,  
325, 363, 377, 385, 411, 421,  
435, 503

вымирание 278

пчелоеды 385, 386, 421

Пябо, Сванте 458, 459

## Р

Размножение

половое 352–393

неполовым путем 353

Разумный замысел 13,  
14, 16, 17, 496, 502, 505

Райс, Уильям 372–374

Райт, Сьюэлл 141

Расовые различия и генетика  
33, 147

Рассел, Дейл 254, 255

Рассел, Дулитл 500

Рассел, Пол 316

Резерфорд, Эрнест 119

Рейвен, Питер 307

Рептилии 76, 131, 173, 228, 234,  
255, 260

морские 228, 255

РНК 138, 164, 176, 178–181, 183,  
185, 331, 338, 498  
Ромер, Альфред 217  
Рэмси, Мармадюк 44  
Рэнгем, Ричард 389, 392, 414

## С

Самнер, Уильям 482  
Сванте, Пяабо 455  
Седжвик, Адам 44  
Сейшельские вьюрки 376, 377  
Сент-Илер, Этьен Жоффруа  
73–77, 198, 200  
Сепкоски, Джон 232  
Серповидноклеточная анемия  
467, 468  
Симбиоз 187, 188  
Симпсон, Джордж 151–154, 487  
Синапсиды 234, 236, 246–249  
Сингх, Девендра 425  
Скопс, Джон 485–487  
Скорпионница 431  
Слоны 51, 378  
    ископаемые 51  
    морские 24, 361  
Спенсер, Герберт 481, 482  
Сперматозоиды 20, 21, 23, 139,  
352, 356–361, 367–369, 372  
СПИД и ВИЧ 338–512  
Стейбинг, Элизабет 476–478  
Стоункинг, Марк 459  
Стрингер, Кристофер 454, 456

## Т

Тевиссен, Ханс 223, 225  
Торнхилл, Рэнди 431–433  
Тот, Николас 405  
Трайверс, Роберт 387, 436  
Трансмутации 56  
Туби, Джон 422, 423

## У

Уайт, Рэндалл 461, 462

Уилсон, Эдвард 243, 244,  
418–420, 516  
    теория 418, 419  
Уильямс, Джордж 210  
Уорд, Питер 234–236, 528

## Ф

Фенилкетонурия 469  
Феромоны 360  
Филлипс, Джон 231–234  
Фицрой, Роберт 45–48, 58–64,  
70, 109, 110, 518  
Фишер, Рональд 141, 142, 144,  
364  
Флеминг, Александр 334  
Фортас, Эйб 488  
Фрейр, Уэйн 492

## Х

Хайнрих, Бернд 328  
Хан, Беатрис 342, 527  
Хант, Кевин 404  
Хаттон, Джеймс 49, 50, 527  
Хейг, Дэвид 375, 376  
Хенслоу, Джон Стивенс 44,  
46–48  
Хирш, Ванесса 342  
Хокс, Кристен 193–195, 202,  
408, 420, 421  
Холлоуэй, Линда 510  
Хомский, Ноам 440  
Хрди, Сара Блаффер 437, 527  
Хэйр, Брайан 414, 415

## Ц

Цианобактерия 125, 174, 185,  
188  
Цинодонты 248  
Цихлиды 159–161, 208, 218, 271

## Ч

Чек, Томас 179

Чемберс, Роберт 88–90, 104,  
107, 108

Черви

кишечнодышащие 196

ленточные 193

плоские 103, 128, 331

Черная Смерть 345–347

Членистоногие 74, 75, 198, 237

Чэн, Ци-Хин 497–499

## Ш

Шеклтон, Николас 264

Шимпанзе 9–12, 18, 36, 106,

107, 275, 332, 343, 344,

387–393, 398, 399, 401,

402–405, 407, 413–416,

433, 447, 452, 459, 465, 470,

503, 505, 512

близость к человеку 8, 10, 31

геном 10

мозг 10, 106, 107

Шове, Жан-Мари 450

## Э

Эвальд, Пол 349–351

«Эгоистичный ген» (Докинз)  
472

Экосистемы 33, 238, 242, 245,  
259, 260, 283, 292, 293, 358,  
361

гибель 276

Эмлен, Стивен 380, 385, 386,  
421, 527

Эпперсон, Сьюзен 488

Эрлих, Пол 307

Эукариоты 126, 173, 175, 176,  
184, 190

## Я

Яйцеклетка 20, 23, 139, 141,  
298, 352, 356, 358–360,  
370, 374, 393, 455

Якана 380, 393

Янцен, Даниэль 324–327





ЦИММЕР КАРЛ

# ЭВОЛЮЦИЯ

*Триумф идеи*

Руководитель проекта *И. Серёгина*

Корректор *О. Галкин*

Верстальщик *Е. Сенцова*

Дизайнер обложки *О. Морозова*

Подписано в печать 12.09.2011. Формат 60×90/16.

Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.

Объем 35,5 печ. л. Тираж 5000 экз. Заказ № 7882 .

Альпина нон-фикшн

123060, г. Москва

ул. Расплетина, д. 19, офис 2

Тел. (495) 980-5354

[www.nonfiction.ru](http://www.nonfiction.ru)

Отпечатано с готовых файлов заказчика  
в ОАО «Первая Образцовая типография»,  
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»  
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14