

Джерри Койн

Эволюция: Неопровержимые доказательства

Джерри Койн

ЭВОЛЮЦИЯ

Неопровержимые
доказательства

Перевод с английского



Москва
2018

Переводчик *Вера Полищук*

Научный редактор *Яна Шурупова*

Редактор *Мария Несмеянова*

Руководитель проекта *И. Серёгина*

Корректоры *Е. Аксёнова, М. Савина*

Компьютерная верстка *А. Фоминов*

Дизайн обложки *Ю. Буга*

© Jerry A. Coyne, 2009

All rights reserved

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2018

Все права защищены. Произведение предназначено исключительно для частного использования. Никакая часть электронного экземпляра данной 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, для публичного или коллективного использования без письменного разрешения владельца авторских прав. За нарушение авторских прав законодательством предусмотрена выплата компенсации правообладателя в размере до 5 млн. рублей (ст. 49 ЗОАП), а также уголовная ответственность в виде лишения свободы на срок до 6 лет (ст. 146 УК РФ).

Посвящается Дику Левонтину,

Il miglior fabbro



Просветительский фонд «Эволюция»

основан в 2015 году сообществом российских просветителей.

Цель фонда – популяризация научного мировоззрения, продвижение здравого смысла и гуманистических ценностей, развитие науки и образования. Одно из направлений работы фонда – поддержка издания научно-популярных книг. Каждая книга, выпущенная при содействии фонда «Эволюция», тщательно отбирается серьезными учеными. Критерии отбора – научность содержания, увлекательность формы и значимость для общества. Фонд сопровождает весь процесс создания книги – от выбора до выхода из печати. Поэтому каждое издание библиотеки фонда – праздник для любителей научно-популярной литературы.

Больше о работе просветительского фонда «Эволюция» можно узнать по адресу

Предисловие

20 декабря 2005 г. Как и многие ученые, в этот день я проснулся в тревоге. Именно сегодня Джон Джонс Третий, федеральный судья города Харрисбурга, штат Пенсильвания, должен был вынести решение по делу «Кицмиллер и другие против Дуврского школьного округа и других». Этот судебный процесс был судьбоносной вехой: от его исхода зависело, как американским школьникам будут в дальнейшем рассказывать об эволюции.

Кризис в науке и образовании начинался незаметно: администраторы Дуврского школьного округа в штате Пенсильвания встретились, чтобы обсудить, какие учебники по биологии заказать для местной средней школы. Кое-кто из религиозных членов педагогического коллектива был недоволен тем, что до сего момента биологию преподавали по учебникам, основанным на дарвиновском учении об эволюции; эти недовольные и предложили альтернативные учебники, включавшие библейскую теорию сотворения мира (креационистскую). После бурного обсуждения совет вынес резолюцию, в которой учителей биологии Дуврской средней школы обязывали зачитать девятиклассникам следующее заявление:

Согласно Образовательным стандартам штата Пенсильвания, ученики обязаны изучить дарвиновскую теорию эволюции и затем пройти стандартный тест, в котором будут и вопросы об эволюции. Поскольку теория Дарвина все еще остается теорией, она продолжает подвергаться проверке по мере обнаружения новых доказательств. Теория не считается фактом. В ней существуют лакуны, еще не подкрепленные доказательствами... Объяснение происхождения жизни, отличающееся от дарвиновского, – это теория разумного замысла. Ученикам, желающим выяснить, хотят ли они изучать эту теорию и узнать, что подразумевается под идеей разумного замысла, учебное заведение предоставляет учебник «О пандах и людях» (Of Pandas and People). Как и в случаях с любыми теориями, мы призываем учеников отнестись к этим идеям непредвзято.

На школьном совете разразилась настоящая буря. Двое из девяти членов школьного совета подали в отставку, и все поголовно преподаватели биологии отказались зачитывать своим ученикам такое заявление. Они возражали, что теория разумного замысла – это скорее религия, нежели наука. Поскольку внедрять религиозное обучение в средних школах означает нарушать Конституцию Соединенных Штатов, одиннадцать возмущенных родителей обратились в суд.

Судебный процесс начался 26 сентября 2005 г. и продолжался шесть недель. Это была яркая и незабываемая история, которую заслуженно наградили названием «Обезьяний процесс XXI века» – по названию печально известного судебного процесса 1925 г., когда учитель средней школы Джон Скоупс из Дейтона, штат Теннесси, был привлечен к суду за то, что преподавал теорию Дарвина, утверждавшую, что человек произошел от животных. В сонный городок Дувр слетелись журналисты со всех концов страны точно так же, как когда-то, в далеком 1925 г., они слетались в еще более сонный городок Дейтон. На процесс прибыл даже праправнук Чарльза Дарвина Мэтью Чэпмен, поскольку собирал материалы для книги о процессе.

По общим отзывам, процесс был разгромный. Сторона обвинения тщательно подготовилась и вела себя предусмотрительно, а защита выступила безо всякого блеска. Известный ученый, который был свидетелем со стороны защиты, признал, что в его понимании термин «наука» очень широк и может включить в себя астрологию. А под конец процесса публике показали, что учебник «О пандах и людях» – не что иное, как подтасовка фактов, креационистская, по сути, книга, в которой слова «божественное творение» просто заменили словами «разумный замысел».

Однако на этом судебный процесс не закончился: все оказалось не так просто. Судья Джонс, консервативный республиканец и рьяный церковный прихожанин,

был назначен лично Джорджем Бушем, – вряд ли стоило ожидать, что он окажется сторонником теории Дарвина. Публика затаила дыхание и взволнованно ожидала исхода процесса.

За пять дней до Рождества судья Джонс вынес решение... в пользу эволюции. Он не стал смягчать выражения и заявил, что постановление школьного совета было «вопиющей бессмыслицей», что ответчики, утверждавшие, будто у них не было религиозных мотивов, солгали и, что самое главное, разумный замысел – это лишь другое название для креационизма:

Мы считаем, что разумный, объективный наблюдатель, ознакомившись и с пространной записью дела, и с нашей речью, неизбежно сделает вывод, что «разумный замысел» – это интересный теологический аргумент, но никак не наука... Подводя итог, можно констатировать, что заявление [школьного совета] выделяет теорию эволюции как нечто, заслуживающее особого отношения, неверно толкует ее статус в научном сообществе и тем заставляет школьников усомниться в ее истинности без научного обоснования, а также навязывает школьникам альтернативную религиозную теорию, замаскированную под научную, подталкивает их обращаться к креационистскому тексту [«О пандах и людях»], как если бы он был научным источником, и заставляет школьников, пренебрегая приобретением научных познаний в школе, вместо этого искать религиозные наставления за ее пределами.

Кроме того, судья Джонс отверг заявление защиты о том, что теория эволюции в корне неверна:

Да, разумеется, теория Дарвина несовершенна. Однако тот факт, что научная теория пока что не может предъявить доказательства по каждому своему положению, нельзя использовать как предлог, чтобы навязывать средней школе непроверенную альтернативную гипотезу с религиозной подоплекой и тем исказить обоснованные научные предположения.

Но научные истины определяют не судьи, а ученые. Судья Джонс всего лишь защитил авторитетную истину от посягательств предвзятых и догматичных противников. Тем не менее его судебное решение для американских школьников, для эволюции и для самой науки стало блестящей победой.

Однако праздновать и ликовать было рановато. Этот судебный процесс определенно стал не последним сражением, в котором нам придется встать на защиту эволюции от школьной цензуры. Более двадцати пяти лет я преподаю и отстаиваю эволюционную биологию, и за этот срок я убедился, что креационизм напоминает небезызвестную игрушку-неваляшку, памятную многим со времен детства: ты ее ударяешь, она ненадолго падает, но тут же вновь поднимается. И если Дуврский судебный процесс – это часть американской истории, то креационизм представляет собой проблему не только для Америки. Креационисты, а они вовсе не обязательно христиане, создают плацдармы во всех концах света, особенно в Великобритании, Австралии и Турции. Битва за эволюцию, похоже, не закончится никогда. Эта битва – лишь часть более глобальной войны, войны между разумом и суеверием. На кону в этой войне ни больше ни меньше как сама наука и те блага, которые она несет обществу.

Все противники теории эволюции, где бы они ни выступали, всегда твердят одно и то же заклинание: «Теория эволюции зашла в тупик, она в кризисе». Подразумевается, что существуют некоторые важные наблюдения над природой, которые противоречат теории эволюции. Но эволюция – это нечто большее, чем теория, и уж тем более это не теория, зашедшая в тупик. Эволюция являет собой факт. И доказательства, найденные учеными в пользу эволюции за последние полтора столетия, не только не бросают тень сомнения на дарвинизм, но полностью подтверждают идеи Дарвина, доказывают, что эволюция имела место и что по большей части она происходила именно так, как описал Дарвин, путем естественного отбора.

В этой книге изложены основные доказательства эволюции. Тем, кто отрицает дарвинизм исключительно из религиозных убеждений, не помогут никакие доказательства, поскольку их убеждения основаны не на доводах разума. Но для множества людей, которые ощущают, что не вполне верят в теорию Дарвина или же принимают эволюцию, но не знают, как лучше аргументировать свою точку зрения, эта книга послужит сжатым изложением доводов современной науки в пользу эволюции. Я предлагаю ее вниманию читателей в надежде на то, что люди по всему миру, возможно, разделят мое восхищение всеобъемлющей интеллектуальной силой дарвиновской теории и безо всякого страха примут ее выводы.



Любая книга по эволюционной биологии неизбежно представляет собой плод сотрудничества, поскольку эта тема объединяет такие далекие друг от друга области, как палеонтология, молекулярная биология, популяционная генетика и биогеография, и вряд ли найдется исследователь, сведущий сразу во всех этих областях. Я благодарю за помощь и совет множество коллег, которые терпеливо наставляли меня и исправляли мои ошибки. В их числе Ричард Эббот, Спенсер Барретт, Эндрю Бери, Дебора Чарльзворт, Питер Крейн, Мик Эллисон, Роб Флейшер, Питер Грант, Мэтью Харрис, Джим Хопсон, Дэвид Яблонски, Фариш Дженкинс, Эмили Кей, Филип Китчер, Рич Ленски, Марк Норелл, Стив Пинкер, Тревор Прайс, Дональд Протеро, Стив Пруэтт-Джонс, Боб Ричардс, Каллум Росс, Дуг Шемске, Пол Серено, Нил Шубин, Дженис Спиффорд, Дуглас Теобальд, Джейсон Уэйр, Стив Янович и Энн Йодер. Прошу прощения у тех, кого забыл упомянуть, и во всех незамеченных ошибках, оставшихся в книге, виню только себя. Особую благодарность я приношу Мэтью Коббу, Наоми Фейн, Хопи Хекстра, Лата Минон и Брит Смит за то, что они прочитали и подвергли критике всю рукопись. Книга существенно обогатилась благодаря огромной работе и художественному чутью иллюстратора Каллиоппи Монойос. Наконец, я выражаю благодарность своему агенту Джону Брокману, который согласился, что доказательство эволюции необходимо читателю, а также редактору издательства Viking Penguin Венди Вульф за помощь и поддержку.

Введение

Дарвин имеет значение, потому что эволюция имеет значение. Эволюция же имеет значение, потому что имеет значение наука. Наука имеет значение, потому что она – несравненная история нашего века, эпическое сказание о том, кто мы, откуда взялись и куда идем.

Ни одно из удивительных открытий, сделанных наукой относительно мира, в котором мы живем, не вызвало у публики такого гнева и такого замороженного интереса, как эволюция. Возможно, это объясняется тем, что ни величественная галактика, ни проворные нейтрино не вызывают такого ощущения личной причастности. Знание об эволюции способно сильнее всего изменить каждого из нас. Оно показывает нам, какое место мы занимаем в необъятной и разнообразной картине жизни. Эволюция объединяет нас с каждым существом, которое живет на Земле сейчас, и с мириадами давно исчезнувших созданий. Эволюция дает нам полное и истинное представление о нашем происхождении, заменяя мифы, которые устраивали человечество на протяжении тысячелетий. Кого-то это пугает до глубины души, кого-то восторгает и потрясает.

Конечно, Чарльз Дарвин принадлежал к тем, кто восторгался эволюцией; он воспеет ее красоту и величие в знаменитом последнем абзаце книги, с которой все и началось, – в «Происхождении видов» (On the Origin of Species) (1859):

Есть величие в этом воззрении, по которому жизнь с ее различными проявлениями Творец первоначально вдохнул в одну или ограниченное число форм; 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.

Но есть и причина для еще более сильного восхищения, поскольку сам процесс эволюции – естественный отбор, который создал из исходной, «голой» реплицирующейся молекулы все разнообразие миллионов ископаемых и живых форм – это механизм поразительной простоты и красоты. И лишь те, кто понимает его, способны испытать трепет и восторг, которые затопляют тебя, когда осознаешь, что столь прямолинейный процесс способен породить такие разнообразные творения, как цветок орхидеи, крыло летучей мыши или хвост павлина. На страницах «Происхождения видов» Дарвин с присущим ему викторианским патернализмом описывал это трепетное чувство:

Когда мы перестанем смотреть на органическое существо как дикарь смотрит на корабль, т. е. как на нечто превышающее его понимание; когда в каждом произведении природы мы будем видеть нечто, имеющее длинную историю; когда в каждом сложном строении или инстинкте мы будем видеть итог многочисленных приспособлений, каждое из которых полезно их обладателю, подобно тому как всякое великое механическое изобретение есть итог труда, опытности, разума и даже ошибок многочисленных тружеников; когда мы выработаем такое воззрение на органические существа, как неизмеримо – говорю на основании личного опыта – возрастает интерес, который представит нам изучение естественной истории!

Теория Дарвина, согласно которой все формы жизни представляют собой плоды эволюции, а основным двигателем эволюционного процесса служит механизм естественного отбора, была названа величайшей идеей всех времен и народов. Однако она – нечто большее, чем просто хорошая или даже красивая теория. Теория Дарвина еще и истинна. Хотя сама идея эволюции изначально принадлежит не Дарвину, но обильные доказательства, которые он привел в подкрепление этой идеи, убедили большинство ученых и многих образованных читателей, что живые организмы действительно изменяются с течением времени. На то, чтобы убедить их, ушло десять лет после публикации «Происхождения видов» в 1859 г. Однако еще долгое время спустя ученые продолжали скептически относиться к главной новаторской идее Дарвина – теории естественного отбора. В самом деле, если и было время, когда дарвинизм считался «просто теорией» или

«зашедшим в тупик», то это имело место во второй половине XIX в., когда доказательства эволюции и ее механизмов были не вполне ясны, а пути ее действия (генетика) были еще совсем не изучены. Все эти вопросы удалось разрешить в первые десятилетия XX в., после чего доказательства эволюции и естественного отбора продолжали множиться и множиться, сокрушая научных противников дарвинизма. В то время как биологи открыли немало явлений, которые Дарвину и не снились, – например, способ распознавания эволюционных взаимосвязей с помощью определения последовательности нуклеотидов в ДНК (секвенирование), – теория, изложенная в «Происхождении видов», в основе своей держалась непоколебимо. В наши дни ученые так же уверены в дарвинизме, как в существовании атомов или в том, что причиной инфекционных заболеваний служат микроорганизмы.

В таком случае зачем понадобилась книга, которая приводит веские доказательства теории, давно уже ставшей основой основ науки? Ведь никто не пишет книг, доказывающих существование атомов или микробную теорию инфекционных заболеваний. Что такого особенного в эволюции?

Ничего или всё. Да, эволюция прочно утвердилась как научный факт (ведь она, как мы узнаем дальше, нечто большее, чем «просто теория»), и убеждать ученых теперь необходимости нет. Но за пределами научных кругов дело обстоит иначе. Для многих представителей широкой публики эволюция покусается на их чувство собственного «Я». Если эволюция и предлагает какой-то урок, то заключается он в том, что мы не просто связаны с прочими живыми существами, но, подобно им, являем собой результат слепых и безличных эволюционных сил. Если человечество – лишь один из плодов естественного отбора, то, может, мы все-таки не такие уж особенные. Вполне понятно, почему эта мысль коробит многих из тех, кто считает, будто мы, люди, явились в этот мир неким особым путем, отличающим нас от других видов, и свидетельствующим о нашем высшем божественном предназначении. Есть ли у нашего существования какой-то смысл или цель, которая бы отличала нас от всего живого? Считается также, будто идея эволюции подрывает основы морали. Если в конечном итоге мы не более чем животные, то почему не вести себя как животные? Как нам удержаться в рамках морали, если мы не более чем обезьяны с большим мозгом? Ни одна научная теория не вызывала такого гнева и страха и такого психологического сопротивления.

Понятно, что психологическое сопротивление преимущественно обусловлено религиозными взглядами. Можно отыскать религиозные учения, лишенные креационизма, но креационизма вне религии вы не найдете. Во многих религиях утверждается не только то, что человечество – особый вид, но и что люди, как и остальные виды, были сотворены мгновенным актом божественной воли. Хотя многим верующим удалось принять теорию эволюции и как-то совместить ее со своими религиозными убеждениями, это совершенно невозможно для человека, который придерживается идеи о божественном творении, понимая ее буквально. Именно поэтому неприятие эволюции так сильно выражено в США и Турции, где широко распространены фундаменталистские убеждения.

Статистика отчетливо показывает, до чего сильно мы сопротивляемся простому научному факту эволюции. Несмотря на неопровержимые доказательства того, что эволюция существует, год за годом опросы демонстрируют, что американцы относятся к этому разделу биологии удручающе подозрительно. Например, в 2006 г. был проведен опрос взрослых в тридцати двух странах – их попросили оценить утверждение: «Человек, каким мы его знаем, произошел от более ранних видов животных». Опрашиваемым было предложено три варианта ответа: «правда», «неправда» и «затрудняюсь ответить». Утверждение это – неопровержимая истина: как мы увидим далее, генетические и палеонтологические доказательства свидетельствуют, что люди являются потомками приматов, эволюционной ветвью, отделившейся от нашего общего с шимпанзе предка примерно 7 млн лет назад. И тем не менее лишь 40 % американцев – четверо из десяти – ответили, что утверждение верно (на 5 %

меньше, чем в 1985 г.). Это число почти сравнялось с числом ответивших, что утверждение ложно: таких оказалось 39 %. А оставшиеся 21 % затруднились с ответом.

Статистика особенно примечательна, если сравнить ее с результатами такого же опроса в других западных странах. Из тридцати одной страны, где проводился опрос, лишь в Турции, в которой процветает религиозный фундаментализм, процент верящих в эволюцию оказался ниже, чем в США. (В Турции 25 % верят в эволюцию, 75 % отвергают ее.) Европейцы показали совсем иную статистику: во Франции, странах Скандинавии и в Исландии в эволюцию верит свыше 80 %. В Японии 75 % согласны с идеей эволюции человека. Представьте себе, что было бы, окажись Америка в числе стран, отрицающих существование атомов! Немедленно были бы приняты решительные меры, чтобы улучшить преподавание физики в школах.

Еще больше ударов обрушивается на эволюцию, когда дело касается преподавания теории эволюции в государственных школах. Почти две трети американцев считают, что если уж эволюцию преподают на уроках биологии, то необходимо наравне с ней преподавать школьникам и креационизм. Лишь 12 %, т. е. один человек из восьми, полагают, что эволюцию нужно преподавать, не упоминая о креационизме как альтернативной теории. Возможно, аргумент «пусть детям преподают все точки зрения» привлекателен для американцев с их идеей о равных правах и честной игре, но учителей такой аргумент повергает в настоящее уныние. Зачем наряду с научной теорией, истинность которой не вызывает сомнений, преподавать дискредитированную теорию, основанную на религиозных постулатах, пусть даже некогда очень популярную? Это ведь все равно что настаивать, чтобы в медицинском колледже наряду с западной медициной ввели курс шаманизма, а на занятиях по психологии внедрили астрологию как альтернативное объяснение человеческого поведения. Пожалуй, самая пугающая статистика такова: несмотря на официальные запреты, примерно один из восьми учителей биологии в американских средних школах считает возможным знакомить учащихся с креационизмом, или теорией разумного замысла, как с обоснованной научной альтернативой дарвинизму. (Возможно, это неудивительно, если учесть, что один из шести учителей верит, будто «Господь сотворил людей почти в их нынешнем виде не более 10 000 лет назад».)

К сожалению, антиэволюционизм, который зачастую считают сугубо американской проблемой, сейчас распространяется по другим странам, в том числе в Германии и Великобритании. В 2006 г. телеканал BBC провел в Великобритании опрос, в котором участвовало две тысячи человек. Опрошенных попросили ответить, как, с их точки зрения, возникла и развивалась жизнь. При этом 48 % опрошенных придерживались эволюционных воззрений, а 39 % – или креационизма, или теории разумного замысла, и 13 % затруднились с ответом. Более 40 % опрошенных заявили, что в школе на уроках биологии необходимо преподавать или креационизм, или теорию разумного замысла. Эти данные не сильно отличаются от американской статистики. В некоторых школах Великобритании теорию разумного замысла и вправду преподают на уроках биологии как альтернативу эволюции, а в США это запрещено на законодательном уровне. В континентальной Европе евангелическое христианство завоевывает все более сильные позиции, с Ближнего Востока распространяется мусульманский фундаментализм, а креационизм идет за ними следом. Сейчас, когда я пишу эти строки, турецкие биологи у себя в стране дают арьергардный бой громогласным и щедро финансируемым креационистам. И наконец, факт, который нельзя воспринять иначе как горькую иронию судьбы: креационисты создали себе оплот даже на островах Галапагосского архипелага. На тех самых островах, которые символизируют суть эволюции и когда-то вдохновили Дарвина, школа адвентистов седьмого дня беспрепятственно распространяет учение о креационизме среди детей всех вероисповеданий.

Помимо конфликта с фундаменталистской религией эволюция вызывает сильнейшее непонимание и путаницу. Это происходит по той простой причине, что

широкая публика не знает о существовании весомых и разнообразных доказательств эволюции. Несомненно, какая-то часть публики просто не интересуется ими. Но проблема шире, чем кажется: речь идет о недостатке информации. Даже среди моих коллег-биологов и то многие незнакомы с многочисленными доказательствами эволюции, а большинство моих студентов, которые, казалось бы, должны были изучать эволюцию на школьных уроках биологии, приходят ко мне на лекции, практически ничего не зная об основополагающей биологической теории, краеугольном камне всей научной дисциплины. Массовая пресса, которая широко освещает и креационизм, и теорию разумного замысла, публикует очень мало материалов о том, почему ученые признают эволюцию. Немудрено, что из-за этого великое множество людей попадают под влияние креационистских рассуждений с их ложным истолкованием дарвинизма.

Хотя Чарльз Дарвин был первым, кто собрал и предъявил миру доказательства эволюционной теории, за прошедшее время его последователи открыли целую череду новых примеров, убедительно показывающих эволюцию в действии. Мы наблюдаем, как биологические виды расщепляются на два новых, и находим все новые подтверждения таким же изменениям, имевшим место в прошлом: динозавры отращивали перья, рыбы обзаводились конечностями, рептилии превращались в млекопитающих. В этой книге я объединил находки многих направлений современной науки – генетики, палеонтологии, геологии, молекулярной биологии, анатомии и биологии развития, которые демонстрируют «неизгладимый след» того процесса, который впервые был открыт Дарвином. Из этой книги читатель узнает, чем эволюция является, а чем нет и как проверить подлинность теории, воспламенившей столько умов.

Вы убедитесь, что хотя для признания огромной роли эволюции и вправду требуется сильно изменить свое мышление и мировоззрение, однако это вовсе не приводит к кошмарным последствиям, которыми креационисты любят пугать публику, отвращая ее от дарвинизма. Приняв эволюцию, вы не станете отчаянным нигилистом и не потеряете цель и смысл жизни. Вы не превратитесь в аморальное чудовище, Сталина или Гитлера, и не заразитесь атеизмом, потому что свободные от предрассудков верующие всегда находили способ принять достижения науки. На самом деле способность понять эволюционный процесс, несомненно, расширяет и углубляет понимание мира и нашего места в нем. Истина – то, что вы, подобно львам, секвойям и лягушкам, все появились благодаря тому, что один ген постепенно сменялся другим, с каждым шагом получая крохотное эволюционное преимущество – куда больше греет душу, нежели миф о том, что мы будто бы внезапно явились на свет из ниоткуда. Как это часто бывает, лучше всех нужную мысль сформулировал Дарвин:

Когда я рассматриваю все существа не как результаты отдельных актов творения, а как прямых потомков немногих существ, живших задолго до отложения первых пластов кембрийской системы, они облагораживаются в моих глазах.

Глава 1

Что такое эволюция?

У теории эволюции есть любопытная особенность: каждый считает, будто понимает ее.

Если и существует некая истина, касающаяся природы, то заключается она в том, что все растения и животные, похоже, мудро и как нельзя лучше приспособлены каждый к своей жизни. Кальмар и камбала умеют менять цвет, чтобы слиться с окружающей средой и стать незаметными как для своих жертв, так и для хищников. Летучие мыши используют эхолокацию, которая позволяет им охотиться на насекомых по ночам. Колибри умеют зависать в полете и мгновенно менять положение тела, гораздо проворнее любого вертолета, созданного руками человека, и вдобавок наделены длинным языком, благодаря которому могут пить нектар из глубоких венчиков цветов. Да и сами цветы, как и колибри, тоже как будто созданы очень продуманно – так, чтобы колибри способствовали их размножению. Ведь, пока колибри пьет нектар, цветок облепляет ее клюв своей пылью, чтобы птица перенесла ее на соседний цветок и тем оплодотворила его. Природа похожа на хорошо смазанный и слаженно действующий механизм, в котором каждый вид играет роль шестеренки в сложной зубчатой передаче.

На что все это указывает? На то, что здесь просматривается рука главного механика. Самое известное высказывание на эту тему принадлежит английскому философу XVIII в. Уильяму Пейли. Как он выразился, если мы находим на земле часы, то сразу признаем в них работу часовщика. Точно так же и существование в природе отменно приспособленных к жизни организмов и их тонкое устройство, несомненно, указывают на то, что их создал разумный небесный творец – Господь Бог. Давайте обратимся к изречению Пейли, одному из самых известных в истории философии:

Начав рассматривать часы, мы понимаем... что они собраны из разрозненных частей с некоторой целью, т. е. сделаны и устроены так, чтобы порождать движение, а движение это, в свою очередь, отрегулировано таким образом, чтобы указывать, который час; и, если бы различные детали часов были изготовлены не так, а иначе, и были бы не того, а иного размера, или были бы собраны в ином порядке, а не в том, в котором они собраны, то часы или не ходили бы совсем, или не отвечали бы задаче, которую они выполняют в их нынешнем виде... Каждый признак изначального замысла, каждое проявление продуманности приспособления, какое являют эти часы, видим мы и в творениях природы; отличие природы лишь в том, что она огромное и разнообразнее, и размах ее превосходит всякое постижение.

Аргумент, который Пейли изложил столь красноречиво, был одновременно и здравомыслящим, и очень древним. Когда Пейли и его соратники, сторонники естественной теологии, описывали растения и животных, то верили, будто каталогизируют Божье величие и мастерство, явленные в столь продуманных творениях природы.

Что касается Дарвина, то он поднял вопрос о божественном замысле в 1859 г. и быстро его разрешил:

Как достигли такого совершенства изумительные адаптации одной части организации к другой и к условиям жизни или одного органического существа к другому? Мы видим эти прекрасные коадаптации особенно ясно у дятла и омеги и только несколько менее очевидно – в жалком паразите, прицепившемся к шерсти четвероногого или к перьям птицы; в строении жука, ныряющего под воду; в летучке семени, подхватываемой дуновением ветерка; словом, мы видим эти прекрасные адаптации всюду и в любой части органического мира.

На вопрос о головоломке с продуманным планом творения у Дарвина нашелся свой ответ. Увлеченный натуралист, который изначально готовился стать священником

в Кембриджском университете (где, по иронии судьбы, занимал жилье, ранее принадлежавшее Уильяму Пейли), Дарвин отлично знал, как соблазнительны могут быть аргументы наподобие приведенных Пейли. Чем больше узнаешь о растениях и животных, тем больше поражаешься, как все они отлично и всесторонне приспособлены для своего образа жизни. Что может быть естественнее, чем заключить, будто это соответствие – результат осознанного замысла? Тем не менее Дарвин видел дальше очевидного и выдвинул две идеи, которые навеки опровергли идею высшего замысла (и подкрепил их разнообразными доказательствами). Этими идеями были эволюция и естественный отбор. Дарвин был не первым, кого посетила мысль об эволюции, – у него было несколько предшественников, включая и его деда Эразма Дарвина, и все они придерживались идеи о постепенном развитии жизни. Однако Дарвин пошел дальше предшественников: он стал первым, кто использовал наглядные примеры, почерпнутые у природы, чтобы убедить публику в существовании эволюции. Дарвиновская идея естественного отбора была совершенно новаторской. Гениальность Дарвина подтверждает и тот простой факт, что идея о естественной теологии, которую большинство образованных людей на Западе до 1859 г. принимало безоговорочно, была побеждена всего за несколько лет после публикации одной-единственной книги в пятьсот страниц. Эта книга под названием «Происхождение видов» перевела тайну разнообразия жизненных форм из области мифологии в область науки.

Что же такое «дарвинизм»? Эту простую и замечательно стройную теорию, теорию эволюции, движимой естественным отбором, так часто неправильно понимали, а то и намеренно искажали, что, право же, имеет смысл остановиться и изложить ее основные постулаты и идеи. Мы еще неоднократно будем к ним возвращаться, обсуждая доказательство каждого из них.

Сущность современной теории эволюции очень проста. Ее легко можно свести к одной, хотя и довольно длинной, фразе: жизнь на Земле развивалась постепенно, начавшись с одного примитивного биологического вида (возможно, самовоспроизводящейся молекулы), который жил более 3,5 млрд лет назад; затем этот биологический вид мало-помалу разветвился, породив множество новых видов, а механизмом почти всех (но не абсолютно всех) эволюционных изменений служил естественный отбор.

Сформулировав это утверждение, понимаешь, что на деле теория эволюции покоится на шести столпах: изменчивости, градуализме, видообразовании, общем происхождении, естественном отборе и дрейфе генов. Давайте разберемся, что означает каждая из шести составляющих.

Первая – это сама идея *изменчивости*. Она просто означает, что с течением времени биологические виды подвергаются генетическим изменениям. Иными словами, за многие поколения биологический вид может развиться в нечто совершенно иное, и эти различия основаны на изменениях в ДНК, которые порождаются мутациями. Современных видов животных и растений раньше не было, но они происходят от видов, которые существовали до них. Так, например, люди происходят от обезьяноподобных существ, которые тем не менее не идентичны современным обезьянам.

Хотя все биологические виды эволюционируют, каждый делает это с присущей ему скоростью. Некоторые виды, например дерево гинкго или членистоногое мечехвост, за прошедшие миллионы лет почти не изменились. Теория эволюции не предсказала, что все биологические виды будут непрерывно развиваться, не спрогнозировала она и темп, в котором будут происходить перемены. Их скорость зависит от эволюционного давления, которое испытывают те или иные виды. Такие группы, как киты или люди, развивались очень быстро, а латимерии из группы кистепёрых рыб выглядят почти так же, как их далекие предки миллионы лет назад.

Вторая часть эволюционной теории – это идея *градуализма*. На то, чтобы осуществить значительный эволюционный шаг, требуется много поколений:

например, на такую перемену, как превращение рептилий в птиц. Появление каких-то новых черт, например зубов и челюстей, которыми млекопитающие отличаются от рептилий, не происходит за одно или несколько поколений, обычно их требуется сотни, тысячи или миллионы. Правда, некоторые изменения происходят очень быстро. У популяций бактерий смена одного поколения другим происходит с огромной скоростью, иногда всего за 20 минут. Это означает, что такие биологические виды способны эволюционировать за короткий срок, что и становится причиной ужасающе быстрого повышения устойчивости к лекарственным средствам у болезнетворных бактерий и вирусов. Кроме того, есть множество примеров эволюционных изменений, которые происходят в сроки, сравнимые с продолжительностью человеческой жизни. Но если мы говорим о действительно глобальных эволюционных изменениях, то речь идет обычно о переменах, занимающих тысячи лет. Однако градуализм не означает, что каждый вид развивается в равномерном темпе. Точно так же, как различные виды отличаются друг от друга скоростью эволюционных изменений, так и у каждого отдельно взятого вида эволюционные процессы то ускоряются, то замедляются в зависимости от степени эволюционного давления. Например, когда животное или растение заселяет новую среду обитания, естественный отбор усиливается, и эволюционные изменения происходят быстрее. Как только вид адаптируется к новым условиям среды, эволюция обычно замедляется.

Следующие две составляющие теории, по сути, две стороны одной монеты. Примечательно, что хотя биологических видов очень много, но всех нас – вас, меня, слона, комнатный кактус – объединяют некие основные общие черты. В их числе и биохимические механизмы, с помощью которых мы производим энергию, наш стандартный четырехбуквенный код ДНК и то, как этот код прочитывается и преобразуется в белки. Это показывает, что все мы исходим от одного-единственного общего предка, который был наделен этими чертами и передал их своим потомкам. Но если бы эволюция означала только постепенные генетические изменения внутри биологического вида, то на сегодняшний день у нас был бы только один биологический вид – высокоразвитый потомок самого первого вида. Однако современный мир населен великим разнообразием биологических видов: сейчас на планете их значительно больше десяти миллионов, и вдобавок нам известно не менее четверти миллиона ископаемых. Жизнь разнообразна. Как же такое разнообразие могло возникнуть из одной формы-прародителя? Тут на помощь приходит третья идея эволюционной теории: идея *разделения видов* или, точнее, *видообразования*.

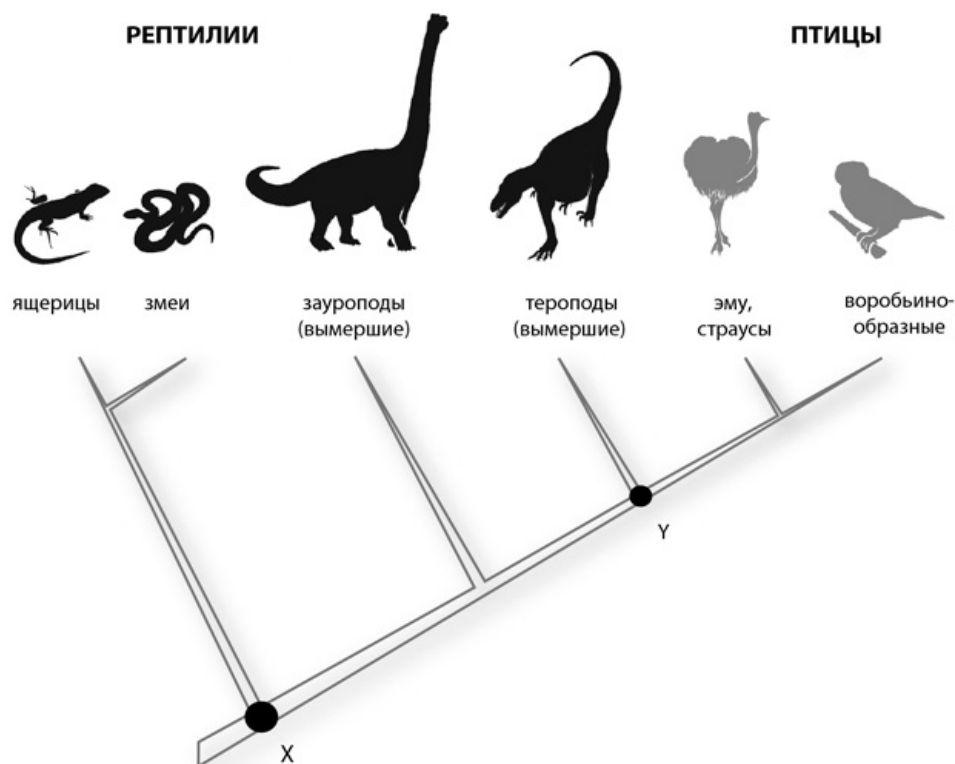


РИС. 1. Пример происхождения от общих предков у рептилий. X и Y — это биологические виды, которые стали общими предками для форм, появившихся позже

Посмотрите на рис. 1, на котором показан образец эволюционной ветви, иллюстрирующий отношения между птицами и рептилиями. Эту схему мы все видели неоднократно, но давайте присмотримся к ней повнимательнее, чтобы понять, что же она на самом деле означает. Что произошло, когда, например, точка X разделилась на ветви, которые ведут, с одной стороны, к современным рептилиям, таким как ящерицы и змеи, а с другой – к современным птицам и их сородичам динозаврам? Точка X представляет собой единственный биологический вид, общего предка – древнюю рептилию, и вид этот разделился на две ветви видов-потомков. Одна из ветвей видов-потомков бодро двинулась своим путем, попутно неоднократно разделившись и породив динозавров и современных птиц. Развитие второй ветви пошло другим путем, породив большинство современных рептилий. Общего предка X зачастую называют недостающим звеном между произошедшими от него группами. И если вы проследите происхождение птиц и современных рептилий в обратном порядке, то доберетесь до точки их пересечения и установите их генеалогическую связь. Здесь есть и сравнительно недавнее недостающее звено: точка Y – биологический вид, который был общим предком двуногих плотоядных динозавров наподобие тираннозавра, *Tyrannosaurus rex* (вымерших в настоящее время), и современных птиц. Но, хотя общие предки уже давно покинули наш мир и практически невозможно в качестве доказательства обнаружить их ископаемые останки (ведь это был лишь один вид из тысяч, входящих в палеонтологическую летопись), иногда удается обнаружить близкородственные им ископаемые виды, наделенные чертами, указывающими на общих предков. Например, в следующей главе вы узнаете о «пернатых динозаврах», которые доказывают существование точки Y.

Что произошло, когда предок X разделился на два разных биологических вида? На самом деле ничего особенного. Как вы убедитесь позже, разделение всего лишь означает, что дальше происходит эволюция отличающихся друг от друга групп, которые не способны скрещиваться, т. е. не могут обмениваться генами. Если бы мы смогли оказаться рядом в нужный момент и пронаблюдать, каким образом

происходит разделение одного вида на два, то просто увидели бы, как у двух популяций одного и того же вида рептилий, которые, возможно, обитали в разных местах, постепенно возникают небольшие отличия. С течением времени эти отличия становились заметнее, и в конечном итоге у двух популяций возникли кардинальные различия, которые препятствовали скрещиванию. (Это может происходить несколькими путями: например, представители одного вида перестают воспринимать представителей другого как привлекательных брачных партнеров или же, если они и спариваются, потомство оказывается бесплодным. Что касается растительного царства, то у представителей разных видов могут различаться опылители или не совпадать сроки цветения, а это препятствует межвидовому оплодотворению.)

Миллионы лет спустя, после того как разделение видов повторялось еще много раз, один из потомков динозавров (точка пересечения Y) разделился еще на два вида. Один из этих видов в конечном итоге породил всех двуногих плотоядных динозавров, а другой – всех современных птиц. Это решающее событие в истории эволюции – появление предка всех птиц – в тот момент вовсе не казалось таким судьбоносным. Окажись мы в далеком прошлом в то самое время, мы бы вовсе не увидели, как по небу внезапно полетели крылатые пернатые создания, произошедшие от рептилий. Мы бы просто отметили, что существуют две слегка отличающиеся между собой популяции одного и того же динозавра, и, возможно, отличия между ними были бы не сильнее, чем между людьми из разных современных популяций. Все принципиально важные изменения произошли тысячи лет спустя после разделения, когда отбор подействовал на одну из эволюционных ветвей, чтобы породить способность летать, а на другую – чтобы образовались черты двуногих динозавров. И лишь сейчас, уже ретроспективно заглядывая в прошлое, удастся установить, что вид Y является общим предком *Tyrannosaurus rex* и птиц. Такие эволюционные изменения происходили очень медленно, а мгновенными они кажутся, только когда мы выстраиваем хронологическую последовательность потомков этих расходящихся ветвей эволюции.

Однако биологические виды далеко не всегда разделяются. Далее мы убедимся: произойдет разделение или нет, зависит от того, позволяют ли популяциям обстоятельства развить в себе достаточно отличий, которые бы помешали дальнейшему скрещиванию. Подавляющее большинство видов (более 99 %) вымирает, не оставляя никаких потомков. Другие, например дерево гинкго, живут миллионы лет, и от них не происходят новые виды. Видообразование происходит не слишком часто. Однако каждый раз, когда какой-либо вид разделяется, увеличивается возможность для видообразования в будущем, поэтому количество видов может расти в геометрической прогрессии. Хотя видообразование идет медленно, но на протяжении длинных отрезков истории оно случается достаточно часто, чтобы им можно было объяснить поразительное разнообразие современного животного и растительного мира.

Дарвин придавал происхождению видов такое большое значение, что вынес его в заглавие своей самой знаменитой книги. Книги, в которой приводятся убедительные доказательства в пользу видообразования. Единственная диаграмма в «Происхождении видов» – это гипотетическое филогенетическое древо жизни, напоминающее наш рис. 1. Однако позже выяснилось, что Дарвин на самом деле не смог объяснить, как именно возникают новые виды, потому что не располагал необходимыми познаниями в генетике и, следовательно, не понимал, что объяснить это можно только появлением преграды для обмена генами. По-настоящему разобраться, как происходит видообразование, удалось лишь в 1930-е гг. О генетике, исследованиями в области которой занимаюсь я сам, подробный рассказ пойдет в главе 7.

Само собой разумеется, что если схема развития жизни имеет древовидную форму, где все виды ответвляются от общего ствола, то можно найти исходную точку для каждой пары веточек (современных видов), проследив их от кончика к основанию, до момента их слияния в одну общую ветвь. Точка пересечения, как мы уже

убедились благодаря рис. 1, – это общий предок. Если жизнь началась с одного биологического вида и затем, разветвляясь, разделилась на миллионы видов-потомков, из этого логически следует, что у каждого двух видов где-то в прошлом есть общий предок.

Если виды состоят в близком родстве, то у них, как и у людей – близких родственников, общий предок имеется где-то в сравнительно недалеком прошлом. У видов, состоящих в дальнем родстве, общих предков следует искать в далеком прошлом. Таким образом, идея *происхождения от общих предков*, четвертый постулат дарвинизма, представляет собой оборотную сторону видообразования. Что это означает? То, что мы всегда можем заглянуть в прошлое, используя или секвенирование ДНК, или ископаемые останки, и выяснить, где именно сливаются эволюционные ветви.

Рассмотрим для примера одно эволюционное древо, а именно позвоночных (рис. 2). На этой схеме я обозначил некоторые признаки, с помощью которых биологи прослеживают эволюционные взаимосвязи. Начнем с того, что у рыб, амфибий, млекопитающих и рептилий есть общая черта – наличие позвоночника, они «позвоночные», следовательно, у всех у них есть некий общий предок, также имевший позвоночник. Однако зародыши рептилий и млекопитающих отличаются от других позвоночных (рыб и амфибий) наличием «амниотического мешка»: их эмбрион окружен водной оболочкой, именуемой амнионом. Значит, между рептилиями и млекопитающими родство ближе, и, следовательно, у них должен быть более недавний общий предок, тоже обладавший амниотическим мешком. Но и в этой группе есть две подгруппы: виды, наделенные волосатым покровом, теплокровные и производящие молоко (т. е. млекопитающие), и холоднокровные, с чешуей, откладывающие водонепроницаемые яйца (рептилии). Как и все виды, они формируют «древовидную иерархию», т. е. большие группы видов, чьи представители объединены рядом сходных черт, разделяются на подгруппы поменьше, между которыми еще больше общих черт, и т. д. вплоть до видов, у которых, как, например, у гризли и черных медведей, почти все черты общие.

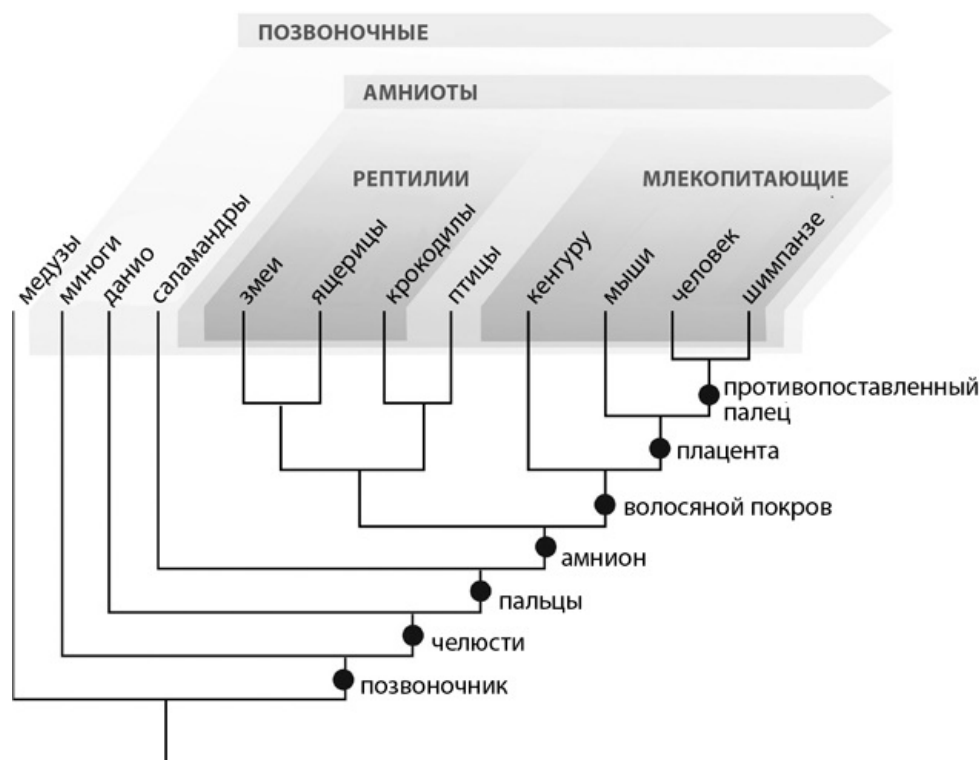


РИС. 2. Филогенетическое (эволюционное) древо позвоночных, показывающее, как в процессе эволюции развиваются некоторые признаки, по которым формируется иерархия филогенетических групп, и упоминаются виды, обладающие этими признаками. Точками указывается момент возникновения того или иного признака на эволюционном древе

Вообще говоря, древовидная иерархия форм жизни была открыта задолго до Дарвина. Начиная со шведского ботаника Карла Линнея в 1735 г., биологи классифицировали животных и растения и постоянно убеждались, что сталкиваются с некой «естественной классификацией». Поразительно, что разные биологи создавали почти одинаковые классификации. Такое сходство совпадением не объяснишь. Эти классификации были не субъективными построениями, основанными на присущем человеку стремлении все разложить по полочкам; нет, они убедительно сообщали о каких-то важных и основополагающих принципах природы. Однако никто до Дарвина не мог разобраться, о каких именно, и лишь Дарвин сумел показать, что древовидная структура жизни и есть именно то, что определяется эволюцией. Чем ближе общий предок у живых существ, тем больше у них оказывается общих черт, в то время как между видами, чей общий предок находится в далеком прошлом, сходства значительно меньше. Такая «естественная» классификация сама по себе служит веским доказательством эволюции.

Почему? Потому что, попытайся мы расставить по порядку какие-то объекты, на которые не повлиял эволюционный процесс расщепления видов и передачи признаков по наследству, мы не увидим никакой древовидной структуры. Возьмем, например, картонную книжечку – упаковку спичек (я когда-то коллекционировал такие упаковки). Они сами собой не складываются в естественную классификацию, в отличие от биологических видов. Например, коробки спичек можно рассортировать по размеру, а потом кучки, собранные по размеру, еще раз рассортировать уже по странам, а кучки английских или французских упаковок – по цвету внутри каждой кучки и т. д. А можно, наоборот, начать классификацию по тому, реклама какого товара изображена на коробке, и затем уже рассортировать полученные группки по цвету, а цветные кучки по дате производства. Есть много

вариантов сортировки коллекции, и каждый коллекционер классифицирует по-своему – договоренности о единой системе классификации у коллекционеров спичечных коробков нет. Так получается потому, что дизайн любой коробки не появился естественным, природным путем, а был придуман и разработан человеком. Виды спичечных коробков не развивались по эволюционному принципу один из другого.

Пример со спичечными коробками хорошо иллюстрирует то, какие категории живых существ можно было бы ожидать, исходя из креационистской концепции жизни. В креационистской классификации у организмов не было бы общих предков. Все живые существа представляли бы как результат мгновенного акта творения – акта, в ходе которого появилось множество форм, созданных с нуля так, что они изначально приспособлены к окружающей среде. Если бы мы опирались на этот сценарий, не стоило бы рассчитывать, что биологические виды будут выстраиваться в древовидную иерархию форм, которую признают все биологи.

На протяжении долгого времени, даже каких-то лет тридцать назад, биологи, чтобы реконструировать происхождение ныне существующего биологического вида, опирались на видимые черты, в частности на анатомию и способ воспроизведения потомства. Они исходили из резонного допущения, что у организмов со схожими чертами и гены должны быть схожими, а потому они находятся в более близком родстве. Но теперь в нашем распоряжении новый, надежный и независимый способ установить родство: мы можем исследовать сами гены. С помощью секвенирования ДНК разных биологических видов и их сравнения мы в силах восстановить эволюционное родство между видами. Опора здесь опять-таки на резонное предположение, что виды, у которых нуклеотидные последовательности ДНК более схожи, состоят в более близком родстве, а их общие предки обнаруживаются в недалеком прошлом. Молекулярные методы исследования не слишком повлияли на облик эволюционного древа, составленного в домолекулярную эпоху: внешние признаки организмов и последовательности нуклеотидов их ДНК обычно позволяли сделать одинаковые выводы об их эволюционных связях.

Идея общего предка неизбежно приводит к впечатляющим прогнозам относительно эволюции, которые можно проверить научным путем. Если мы, опираясь на общие внешние признаки и нуклеотидные последовательности ДНК, убедились, что птицы и рептилии объединяются в одну группу, то можем с уверенностью прогнозировать, что в палеонтологической летописи наверняка найдем общих предков птиц и рептилий. Такие прогнозы обычно сбывались и тем являли самые весомые доказательства эволюции. Ряд примеров обнаружения общих предков будет приведен в следующей главе.

Пятым столпом эволюционной теории служит идея, которую Дарвин считал своим величайшим интеллектуальным достижением, а именно естественный отбор. Идея естественного отбора принадлежала не только Дарвину – почти одновременно с ним такую же идею выдвинул натуралист Альфред Уоллес, и это один из знаменитейших и ярчайших примеров синхронного открытия в истории науки. Однако честь открытия все равно в большей степени принадлежит Дарвину, потому что в «Происхождении видов» он разработал и описал ее очень подробно, привел множество доказательств в пользу этой идеи и проанализировал ее последствия.

Однако естественный отбор – не только одно из величайших открытий в науке и краеугольный камень дарвиновской теории. Теорию Дарвина в свое время сочли революционной, а идея естественного отбора взбудоражила многие умы и до сих пор возмущает публику. Естественный отбор – открытие одновременно и революционное, и будоражащее: он объясняет явные закономерности в природе исключительно материалистическим процессом, для которого не требуется акт творения или руководство высших сил.

Сама по себе идея естественного отбора очень проста. Если особи внутри какого-то биологического вида генетически отличаются друг от друга и какие-то из этих

особенностей влияют на выживание и размножение в среде обитания, то в следующем поколении «хорошие» гены, повышающие шансы на выживание и размножение, количественно будут преобладать над «плохими». Со временем популяция все лучше и лучше приспособится к среде обитания за счет соответствующих полезных мутаций, которые распространятся в популяции, а вредоносные мутации исчезнут. В итоге этот процесс породит организмы, которые хорошо приспособлены к своей среде обитания и образу жизни.

Приведу простой и наглядный пример. Шерстистый мамонт, который населял северные части Евразии и Северной Америки, был приспособлен к холодному климату благодаря своей косматой теплой шубе (в вечной мерзлоте тундры были обнаружены экземпляры мамонтов хорошей сохранности, доказывающие этот факт). Возможно, мамонты произошли от предков, у которых волосяной покров был более скудным, как у современных слонов. Мутации предкового вида привели к тому, что некоторые особи мамонтов (так бывает и среди людей) оказались шерстистее остальных. Когда климат стал холоднее или вид переселился и распространился на северные регионы, мамонты с более выраженным волосяным покровом оказались лучше приспособлены к новым условиям и оставили больше потомства, чем их менее шерстистые собратья. Таким образом, количество генов, отвечающих за более плотный волосяной покров, умножилось, и в следующем поколении средний мамонт обладал более плотной и густой шерстью, чем в предыдущем. Предположим, что этот процесс продолжается еще несколько тысяч поколений, тогда бесшерстного мамонта сменит косматый. И если многие отличительные признаки влияют на сопротивляемость холоду (например, размер тела, толщина жировой прослойки и т. п.), эти признаки тоже изменятся.

Процесс удивительно прост. Для него нужно лишь одно: чтобы представители биологического вида генетически различались по своей способности к выживанию и размножению в среде обитания. При таком условии естественный отбор и эволюция неизбежны. Как вы убедитесь, этому условию соответствуют все биологические виды, которых когда-либо изучала наука. И поскольку приспособленность особи к среде обитания зависит от такого количества признаков, то естественный отбор с течением времени способен вылепить животное или растение, которое будет казаться продуманно сконструированным.

Однако важно понимать, что организмы, выкованные в результате естественного отбора, сильно отличаются от тех воображаемых особей, которые могли бы появиться благодаря акту предумышленного творения. Естественный отбор – не божественный творец, не искусный конструктор, он больше похож на ремесленника. Естественный отбор не создает идеальный организм, начав, подобно конструктору или дизайнеру, с эскиза. Он делает лучшее, что возможно, из имеющегося материала, латает и паяет уязвимые места. Мутации, которые ведут к идеальной конструкции, могут вообще не появиться, потому что они слишком редки. Африканский носорог, снабженный парой симметричных рогов, возможно, был лучше приспособлен для обороны от врагов и сражений с себе подобными, чем индийский, у которого рог всего один (и, кстати, это не рога, а спрессованная шерсть). Но у индийских носорогов мутация, отвечающая за появление двух рогов, вероятно, просто не появилась. Однако один рог лучше полного их отсутствия, и индийский носорог лучше приспособлен к жизни, чем его безрогий предок, но случайности генетической истории могли привести к более чем несовершенным конструкциям. И, разумеется, каждый раз, когда какое-то растение или животное гибнет или поражается паразитом, это говорит о неспособности адаптироваться. То же самое касается и всех случаев с вымершими животными и растениями, а таких в истории животного и растительного царства 99 %, т. е. выжил и адаптировался лишь 1 % из когда-либо существовавших организмов. (Кстати, этот факт представляет собой гигантский камень преткновения для всех теорий разумного замысла. Как-то неразумно выглядит – создать миллионы биологических видов, обреченных на вымирание, а затем заменить их другими, похожими, которые со временем тоже вымрут. Между тем сторонники теории разумного замысла и божественного творения исправно обходят этот вопрос стороной.)

Естественный отбор также должен влиять на облик и строение организма в целом, которые представляют собой компромисс между различными адаптивными особенностями. Самки морской черепахи выкапывают норы на пляже при помощи лап, это дело долгое, мучительное и тяжелое, которое к тому же подвергает черепахи яйца опасности стать жертвами хищников. Казалось бы, если бы лапы у черепах были лучше приспособлены к копанию, то и норы бы получалось выкопать быстрее, но тогда черепахи бы хуже и медленнее плавали. Божественный творец снабдил бы черепах дополнительной парой конечностей с выдвигающимися придатками, похожими на лопаты, но черепахи, как и все рептилии, составляют часть эволюционного плана, в котором конечностей им не полагается больше четырех.

Эволюция живых организмов зависит не только от милости случая в лотерее мутаций, она определяется еще и предыдущим развитием и эволюционной историей вида. Мутация – это изменение черт, которые уже существуют; она практически никогда не создает какую-то совершенно новую черту. Это означает, что эволюция должна создавать новые виды, опираясь на облик и строение их предков. Эволюция чем-то похожа на архитектора, который не может создать конструкцию с нуля, но должен соорудить каждое очередное здание, адаптируя то, которое существовало раньше, и при этом постоянно сохранять его пригодным для жилья. Это и приводит к некоторым компромиссным решениям. Например, мы, мужчины, были бы лучше приспособлены к жизни, если бы наши яички с самого начала формировались вне тела, где температура ниже и условия для сохранности спермы более благоприятные. Однако яички начинают формироваться в брюшной полости. Когда зародыш достигает возраста 6–7 месяцев, яички опускаются в мошонку через два особых канала, именуемых паховыми, тем самым отдаляясь от способного вызвать повреждения тепла, испускаемого телом зародыша. Эти каналы являются слабым местом брюшной стенки, откуда и возникает опасность образования паховой грыжи. Такая грыжа представляет серьезную угрозу здоровью, она может вызвать кишечную непроходимость и иногда, если не будет произведено хирургическое вмешательство, приводит к смертельному исходу. Создавай нас божественный и разумный творец, разве он подстроил бы зародышу такую мучительную историю с опусканием яичек? Но нам никуда от нее не деться, потому что мы унаследовали свою программу развития яичек от рыбообразных предков, у которых гонады развивались и оставались внутри брюшной полости. Поэтому развитие яичек у нас начинается как у рыб, а опускание яичек развилось как неуклюжее добавление на более позднем этапе эволюции.

Как видите, естественный отбор не стремится к совершенству и идеалу, он лишь улучшает то, что уже было. Естественный отбор создает не «самое приспособленное», а «лучше приспособленное». И, хотя отбор может показаться сознательным и продуманным конструированием, конструкции его зачастую очень несовершенны. По иронии судьбы, именно эти несовершенства и оказываются важными доказательствами эволюции, как вы убедитесь в главе 3.

Тут мы плавно подходим к последней из шести составляющих эволюционной теории: *помимо естественного отбора есть другие процессы, которые могут вызвать эволюционные изменения – дрейф генов*. Самое важное здесь – простые случайные вариации в частоте встречаемости генов, вызванные тем фактом, что у разных семей разное количество потомков. Это ведет к эволюционным изменениям, которые, будучи случайными, не имеют ничего общего с адаптацией. Однако, похоже, этот процесс совсем незначительно влияет на важные эволюционные изменения, поскольку он лишен формирующей силы естественного отбора. Естественный отбор остается единственным процессом, способным породить адаптацию. Так или иначе, в главе 5 вы убедитесь, что дрейф генов способен сыграть эволюционную роль в небольших популяциях и, возможно, объясняет некоторые неадаптивные изменения в ДНК.

Итак, вот шесть частей эволюционной теории. Некоторые из них тесно связаны между собой. Например, если видообразование действительно существует, то наверняка существуют и общие предки. В то же время некоторые части

эволюционной теории независимы от других. Например, эволюция может иметь место, но ей не обязательно происходить постепенно. Мутационисты в начале XX в. полагали, что биологический вид может почти мгновенно породить совершенно иной вид за счет единичной чудовищной мутации. Так, известный зоолог-эволюционист Рихард Гольдшмидт некогда заявил, что первое пернатое существо – первая птица – должно было вылупиться из яйца, снесенного рептилией. Подобные утверждения можно проверить. Мутационизм утверждает, что из старых групп мгновенно возникают новые, без переходных форм, представленных в палеонтологических летописях. Однако по ископаемым останкам видно, что эволюция работает по-другому. Так или иначе, это показывает, что разные пласты дарвинизма могут подвергаться проверке независимо друг от друга.

Другой вариант: возможно, эволюция действительно существует, но причиной ее служит не естественный отбор, а нечто иное. Например, многие биологи некогда были уверены, что эволюцию вызвала таинственная телеологическая сила: считалось, что у живых организмов есть «внутренний импульс», который побудил биологические виды меняться в предопределенном направлении. Так, например, утверждалось, что подобный импульс привел к появлению больших клыков у саблезубых тигров. Клыки у них все увеличивались и увеличивались, независимо от их практической пользы; дело кончилось тем, что тигры утратили способность закрывать пасть и весь этот биологический вид вымер от голода. Сейчас мы уже знаем, что доказательства существования телеологических сил отсутствуют и саблезубые тигры на самом деле вовсе не вымерли от голода, но счастливо жили-поживали миллионы лет со своими неимоверно огромными клыками, прежде чем вымерли по совершенно иным причинам. Тем не менее тот факт, что эволюция может вызываться различными причинами, был одним из доводов, который заставил биологов принять эту идею за много десятилетий до того, как они признали существование естественного отбора.

Таковы основные положения эволюционной теории. Но есть некий немаловажный вопрос, который задается очень часто: «Но ведь эволюция *всего лишь* теория?» В 1980 г., выступая перед группой техасских евангелистов, кандидат в президенты Рональд Рейган охарактеризовал эволюцию следующим образом: «Да, это теория. Это всего лишь научная теория, и в последнее время в научных кругах ее активно оспаривают, и далеко не все ученые верят, что она настолько безупречна, как принято было верить раньше».

Ключевые слова в этой тираде – *всего лишь*. Подразумевается, что в теории есть нечто не совсем правильное: теория всего лишь рассуждение, допущение, и, по всей вероятности, ошибочное. И впрямь, расхожий, разговорный смысл слова «теория» – это «догадка», «предположение», как, например, во фразе: «У меня насчет них такая теория: Фред просто втюрился в Сьюзан» или «Ну, он просто теоретизирует, ничего серьезного». Но в науке слово «теория» означает нечто совершенно иное и подразумевает намного большую степень уверенности и твердости, чем представление о «просто догадке».

Согласно Оксфордскому словарю английского языка (Oxford English Dictionary), научная теория – это «утверждение, формулирующее общие законы, принципы или причины наблюдаемых или известных явлений». Таким образом, мы можем говорить о теории гравитации как об утверждении, что все объекты, имеющие массу, притягивают друг друга на основании строгого уравнения, включающего расстояние между ними. Или мы говорим о теории относительности, которая делает конкретные утверждения о скорости света и искривлении времени-пространства.

Здесь мне хотелось бы подчеркнуть два пункта. Во-первых, в науке теория – нечто неизмеримо большее, чем просто предположение об устройстве чего-либо: это продуманная и обоснованная группа утверждений, призванных объяснить факты реального мира. Атомная теория не просто утверждает, что атомы существуют; она объясняет, как атомы взаимодействуют друг с другом, образуют соединения и как они ведут себя в химических реакциях. Точно так же и теория эволюции являет собой нечто большее, чем просто утверждение «эволюция имела место»: это

развернутый и подробно аргументированный набор принципов (шесть главных я описал выше), объясняющих, *как и почему* происходит эволюция.

Это подводит нас ко второму важному пункту. Итак, во-вторых, чтобы теорию сочли научной, она должна *поддаваться проверке и делать достоверные прогнозы*. Иными словами, у нас должна быть возможность проводить какие-то наблюдения в реальном мире, которые или подтвердят, или опровергнут эту теорию. Бывшая поначалу умозрительной атомная теория приобретала все большую достоверность по мере накопления данных из области химии, подтверждавших реальность атомов. Хотя мы и не могли увидеть атомы до того, как в 1981 г. был изобретен сканирующий зондовый микроскоп (и под микроскопом они действительно были похожи на крошечные шарики, как мы и представляли), ученые были твердо уверены в существовании атомов задолго до изобретения такого микроскопа. Сходным образом хорошая теория прогнозирует то, что мы увидим, если пристальнее всмотримся в природу. И, если эти прогнозы сбываются, они придают нам уверенности в справедливости теории. Общая теория относительности Эйнштейна, выдвинутая в 1916 г., утверждала, что луч света будет отклоняться от своей траектории при прохождении вблизи крупного небесного тела. (Точнее сказать, гравитация такого тела искривляет пространство-время и таким образом изменяет траекторию пролетающих рядом фотонов.) И действительно, в 1919 г. Артур Эддингтон подтвердил это предположение, показав с помощью наблюдений, сделанных во время солнечного затмения, что лучи света, идущие от далеких звезд, отклоняются, проходя мимо Солнца, из-за чего изменяется видимое положение звезд. Только когда теория Эйнштейна получила практическое подтверждение, широкая публика приняла ее.

Поскольку теорию начинают воспринимать как «истину», только когда ее утверждения и прогнозы подкрепляются новыми и новыми доказательствами, то невозможно определить, в какой именно момент научная теория превращается в научный факт. Теория превращается в факт или в «истину», когда в ее пользу накапливается столько доказательств (и весомых контраргументов против нее нет), что практически все разумные люди принимают эту теорию. Сказанное вовсе не означает, будто «истинная» теория никогда не будет опровергнута. Любая научная теория носит предварительный характер и подвержена изменениям в свете новых доказательств. Нет какого-то звоночка, который сигнализирует ученым о том, что они наконец-то добрались до окончательной и неопровержимой истины, объясняющей природные явления. Как вы увидите в дальнейшем, есть вероятность, что со временем, несмотря на тысячи наблюдений, подтверждающих дарвинизм, новые данные вполне могут доказать его ошибочность. По-моему, такая вероятность крайне невелика, но ученые, в отличие от фанатиков, не могут позволить себе преисполниться спеси и самоуверенности насчет того, что считают истиной.

В процессе постепенного превращения в истину, или факт, научную теорию обычно проверяют *альтернативными* теориями. В конце концов, у любого явления обычно есть несколько объяснений. Ученые стараются сделать ключевые выводы или провести решающие эксперименты, которые позволят сравнить одно объяснение с другим и выяснить, какое ближе к истине. Долгое время считалось, что положение земных массивов суши на протяжении всей истории жизни оставалось неизменным. Но в 1912 г. немецкий геофизик Альфред Вегенер выдвинул альтернативную теорию дрейфа материков и предположил, что за время существования Земли происходило перемещение материков. Изначально на эту теорию его вдохновило наблюдение, что очертания таких континентов, как Южная Америка и Африка, совмещаются друг с другом, словно детали головоломки-пазла. Теория получала все более веские обоснования по мере того, как накапливались доказательства из числа ископаемых и палеонтологических находок. Как оказалось, распространение древних биологических видов позволяет говорить о том, что континенты некогда были объединены. Позже было выдвинуто предположение о тектонике литосферных плит, которая является механизмом движения материков точно так же, как естественный отбор является механизмом эволюции. Согласно этой идее, литосферные плиты «плавают» по поверхности

подстилающего их слоя пониженной вязкости в верхней мантии Земли. Несмотря на то, что теорию тектоники плит геологи встретили скептически, ее подвергли разносторонним и пристальным проверкам, в результате чего получили убедительные доказательства, что она верна. В наши дни благодаря системе глобального спутникового позиционирования (GPS) мы даже можем наблюдать, как континенты расходятся со скоростью 6–8 см в год, т. е. примерно со скоростью роста человеческих ногтей. (Кстати, в сочетании с неопровержимыми доказательствами того, что континенты когда-то были единым целым, это опровергает утверждения креационистов, заявлявших, будто бы Земля совсем молода и ей не больше 6000–10 000 лет. Если бы дело было именно так, мы могли бы стоять на западном побережье Испании и видеть вершушки нью-йоркских небоскребов, потому что расстояние между Европой и Америкой не превышало бы и 2 км!)

Когда Дарвин написал «Происхождение видов», большинство западных ученых и почти все остальные были креационистами. Возможно, далеко не все полностью принимали каждую подробность истории сотворения мира, изложенную в Книге Бытия, но большинство считало, что жизнь была создана всемогущим творцом более-менее в том виде, в котором она, не изменяясь, существует и поныне. В «Происхождении видов» Дарвин выдвинул альтернативную гипотезу о развитии, многообразии форм и конструктивных решениях в живой природе. В книге Дарвина многое не только служит доказательством эволюции, но к тому же одновременно опровергает креационизм. Во времена Дарвина доказательства его теории были вескими, но не совсем бесспорными. Таким образом, можно сказать, что, когда Дарвин впервые выдвинул идею эволюции, это была теория (хотя и имевшая прочные основания и подкрепленная доказательствами), но с 1859 г. успела созреть и обрести прочной броней фактов, поскольку с тех пор новые доказательства эволюции все накапливались и накапливались. Эволюцию до сих пор называют теорией точно так же, как и теорию гравитации, но эта теория одновременно является истиной.

Так как же проверить эволюционную теорию в сопоставлении со все еще не утратившим популярности альтернативным воззрением, утверждающим, что жизнь была сотворена и с тех пор не изменялась? В сущности, есть два вида доказательств. Первый можно получить, используя шесть основных идей дарвинизма для получения прогнозов, которые доступны для проверки. Под прогнозами я не подразумеваю, что дарвинизм способен предсказывать дальнейшее развитие форм жизни на Земле. Скорее, он предсказывает, какие особенности мы обнаружим у ныне живущих или вымерших биологических видов, когда будем их изучать. Вот несколько эволюционных предсказаний:

- Поскольку существуют ископаемые останки древних форм жизни, мы сможем отыскать некоторые доказательства эволюционных изменений в палеонтологической летописи. Самые глубокие и самые древние слои породы будут содержать окаменелые останки примитивных видов, а в более молодых слоях должны встречаться более высокоорганизованные виды, напоминающие современные, которые можно обнаружить в самых недавних отложениях. Мы сможем своими глазами убедиться, как менялись некоторые виды с течением времени, как формировались ветви, показывающие «общность происхождения, сопровождаемую модификацией» (адаптация).
- В палеонтологической летописи мы сможем найти некоторые случаи видообразования, в которых одна линия потомков будет делиться на две и более. Кроме того, мы сможем обнаружить, как в дикой природе формируются новые виды.
- Мы сможем отыскать примеры видов, соединяющих между собой крупные группы, относительно которых ранее уже выдвигались гипотезы об общих предках: например, как в случае с птицами и рептилиями или рыбами и амфибиями. Более того, эти недостающие звенья (точнее будет называть их переходными формами)

будут попадаться в тех слоях породы, которые относятся к временам, когда группы предположительно разделились.

- Следует ожидать, что биологические виды продемонстрируют генетическую изменчивость по многим признакам (иначе эволюция была бы невозможна).
- Несовершенство служит признаком эволюции, а не сознательного замысла творца. Следовательно, мы сможем найти такие примеры несовершенной адаптации, в которых эволюции не удалось достигнуть того же уровня совершенства, которого бы достиг божественный творец.
- Мы сможем увидеть естественный отбор в дикой природе.

Помимо этих прогнозов, в пользу дарвинизма свидетельствуют явления, которые я бы назвал *ретропрогнозами*: факты и данные, которые теория эволюции не обязательно предсказала, но они становятся понятными *только в свете теории эволюции*. Такие ретропрогнозы очень полезны как научный метод: например, некоторые доказательства в пользу тектоники плит появились уже после того, как ученые научились по образцам пород с морского дна узнавать, как в древности менялось магнитное поле Земли. Многие из таких ретропрогнозов, подтверждающих эволюцию (в противоположность теории сотворения мира), показывают характер распространения видов по поверхности Земли, особенности развития организмов из зародышей и существование рудиментарных черт, у которых как будто нет практического смысла. О них подробно рассказывается в главах 3 и 4.

Таким образом, эволюционная теория выдвигает четкие и смелые предсказания. Прежде чем опубликовать «Происхождение видов», Дарвин посвятил около двадцати лет тому, чтобы собрать доказательства своей теории. Было это больше 150 лет назад. С тех пор у ученых накопилось так много новых знаний! Было обнаружено множество ископаемых останков, описано огромное количество новых биологических видов, прослежено их распространение по всей планете; была проделана большая работа по определению эволюционной взаимосвязи между разными видами. Кроме того, возникли новые области науки, которые Дарвину и не снились, в том числе молекулярная биология и молекулярная систематика, изучение того, как связаны между собой разные организмы.

Как вы убедитесь, все доказательства – и старые, и новые – неизбежно ведут к тому, что эволюция действительно существует.

История жизни на Земле начертана на камнях. Да, эта книга изодрана и покороблена, и клочья отдельных ее страниц беспорядочно разбросаны, но она есть, и существенную часть текста все еще можно разобрать. Палеонтологи без устали трудятся, чтобы свести воедино осязаемые исторические доказательства эволюции – палеонтологическую летопись.

Когда мы восхищаемся поразительными ископаемыми, например гигантскими скелетами динозавров, украшающими наши музеи естественной истории, легче легкого забыть, сколько трудов потребовалось, чтобы обнаружить их, извлечь из земли, подготовить и дать им научное описание. Для этого зачастую приходится совершать долгие, дорогостоящие, опасные экспедиции в далекие и негостеприимные уголки земли. Например, мой чикагский коллега Пол Серено изучает африканских динозавров, а многие самые интересные ископаемые залегают в самом сердце пустыни Сахары. Пол и его коллеги не побоялись политических волнений, болезней, бандитов и, разумеется, сурового климата пустыни ради того, чтобы открыть замечательные новые виды, скажем, *Afrovenator abakensis* и *Jobaria tiguidensis*, которые помогли переписать эволюционную историю динозавров.

Подобные открытия требуют истинной преданности науке, многих лет упорного труда, настойчивости и мужества, но также и везения. Однако многие палеонтологи ради подобных находок готовы рискнуть даже жизнью. У биологов ископаемые окаменелости ценятся на вес золота. Без них в нашем распоряжении был бы лишь приблизительный абрис эволюции. Нам пришлось бы ограничиться изучением ныне существующих биологических видов и пытаться установить их эволюционные взаимоотношения, исходя из сходства их форм, развития и нуклеотидной последовательности ДНК. Например, мы бы знали, что млекопитающие состоят в более близком родстве с рептилиями, чем с амфибиями. Но мы бы понятия не имели, как выглядели их общие предки. Мы бы даже отдаленно не представляли себе гигантских динозавров, отдельные виды которых были размером с грузовик, или наших дальних предков-австралопитеков, обладателей крошечного мозга, однако уже прямоходящих. Значительная часть того, что нам хотелось бы знать об эволюции, оставалось бы неразрешимой загадкой. К счастью, прогресс в области физики, геологии и биохимии, а также отвага и упорство ученых-палеонтологов всего мира обеспечили нам прекрасную возможность заглянуть в далекое прошлое.

Создание палеонтологической летописи

Ископаемые известны людям еще с античных времен: о них писал Аристотель, а ископаемые останки динозавра *Protoceratops*, имевшего клюв, возможно, породили древнегреческий миф о грифоне. Однако подлинную значимость ископаемых человечество оценило значительно позже. Даже в начале XIX в., обнаружив окаменелости, их объясняли просто действием сверхъестественных сил, объявляли, что это животные, погибшие во время Потопа, или же ныне существующие, но дикий и редкие звери из неисследованных частей света.

Однако эти окаменелые останки хранят в себе историю жизни. Как нам расшифровать историю? Первым делом, конечно, нужны сами ископаемые, и побольше. Затем эти ископаемые нужно расположить в определенном порядке. А потом необходимо точно установить, когда именно они образовались. И каждая из этих стадий работы предъявляет исследователю свои задачи.

Процесс формирования ископаемых прост, но для него требуется особое сочетание обстоятельств и факторов. Во-первых, останки животного или растения должны каким-то образом оказаться в воде, опуститься на дно и затем быстро покрыться осадком, чтобы их не тронуло разложение или падальщики. Мертвые растения и животные, обитающие на суше, редко оказываются на дне озера или океана. Вот почему большая часть ископаемых, которые удается обнаружить, относится к морским организмам: они или живут на дне океана, или естественным путем опускаются на дно после смерти.

Как только ископаемое оказывается надежно покрыто осадочными отложениями, его твердые части пропитываются или заменяются растворенными минералами. В итоге остается слепок животного или растения, который вдавливаются в породу под тяжестью покрывающего его осадка. Поскольку мягкие части животных и растений плохо сохраняются в ископаемом состоянии, это обстоятельство сильно сужает нашу базу данных о вымерших видах. Ученые обнаруживают множество костей и зубов, а также раковин и панцирей насекомых и ракообразных. Но черви, медузы, бактерии и хрупкие создания наподобие птиц встречаются в ископаемом виде гораздо реже, точно так же как и сухопутные виды встречаются реже, чем водные. Более 80 % времени существования жизни на Земле все живые существа были мягкотелыми, поэтому о самых ранних и наиболее интересных этапах эволюции у нас есть лишь туманное представление, а о зарождении жизни – тем более.

После того как ископаемое сформировалось, ему предстоит выдержать бесконечные сдвиги, складкообразование, нагревы и разломы земной коры, и в ходе этих процессов большая часть ископаемых безвозвратно утрачивается. Затем ископаемое нужно обнаружить. Большая часть ископаемых таится так глубоко под поверхностью земли, что нам они недоступны. Только когда осадочные породы поднимаются на поверхность и подвергаются выветриванию под воздействием ветра и дождя, до них может добраться геологический молоток палеонтолога. Но тут палеонтологу важно не опоздать, поскольку, оказавшись на поверхности, ископаемое быстро разрушается под воздействием того же ветра, дождя и иных погодных факторов.

С учетом всех этих обстоятельств понятно, что палеонтологическая летопись наверняка далеко не полна. Но насколько неполна? По приблизительным подсчетам, общее число видов, когда-либо существовавших на Земле, составляет от 17 млн (возможно, это число сильно занижено, учитывая, что ныне здравствующих видов по меньшей мере 10 млн) до 4 млрд. Поскольку ученым удалось обнаружить около 250 000 разных видов ископаемых, можно предположить, что у нас есть ископаемые доказательства примерно для 0,1-1 % всех видов – вряд ли этого достаточно для изучения истории жизни! Множество поразительных существ, которые, возможно, когда-то существовали на Земле, для нас навек утрачены. Тем не менее в нашем распоряжении достаточно ископаемых останков, чтобы мы могли составить четкое представление о ходе эволюции и определить, как

основные группы отделялись одна от другой.

По иронии судьбы палеонтологическую летопись изначально начали составлять и упорядочивать вовсе не эволюционисты, а геологи, которые при этом были креационистами и считали, что жизнь зародилась так, как описано в Книге Бытия. Эти ранние геологи попросту упорядочили разные обнаруженные ими слои горной породы, исходя из принципов, основанных на здравом смысле. (Большая часть находок была сделана во время прокладки каналов, сопровождавшей индустриализацию Англии.) Поскольку ископаемые находили в осадочной горной породе, некогда бывшей илом в океанах, реках и озерах (реже находки обнаруживались в песчаных дюнах или в ледниковых отложениях), то более глубокие уровни, или «пласты», геологи по логике вещей считали старше, чем более поверхностные залегания. Более молодые пласты горной породы залегают поверх старых. Однако не все слои горных пород залегают одинаково во всех местах, иногда вода, при посредстве которой формируется осадок, отсутствует.

Следовательно, чтобы создать четкую иерархию пластов горной породы, нужно установить взаимную корреляцию пластов в разных точках света. Если слой одного типа горной породы, содержащий одно и то же ископаемое, встречается в двух разных местах, резонно предположить, что в обоих местах возраст этого слоя одинаков. Поэтому если, предположим, вы нашли четыре слоя горной породы в одном и том же месте (назовем их от поверхностного к самому глубокому ABDE), а потом обнаружили два из этих слоев в другом месте, где они перемежаются другим слоем, BCD, то вы вправе заключить, что эта геологическая летопись включает по меньшей мере пять слоев породы и порядок от недавнего к самому старому – ABCDE. Этот принцип суперпозиции был впервые выведен в XVII в. датским эрудитом Николасом Стено, который позже стал архиепископом, а в 1987 г. был беатифицирован папой Иоанном Павлом II, – наверняка единственный в истории случай, когда будущий святой сделал важный вклад в науку. Благодаря опоре на принцип Стено в течение XVIII и XIX вв. геологическая летопись была с великим трудом выстроена по порядку от самого кембрия до голоцена. Пока все идет нормально. Но такая летопись сообщает вам только относительный возраст горной породы (какая порода старше, какая моложе), а не точный их возраст.

Примерно с 1945 г. мы получили возможность установить точный возраст некоторых горных пород при помощи радиоизотопного метода. Некоторые радиоактивные элементы (радиоизотопы) включаются в горную породу вулканического происхождения, когда эта порода кристаллизуется из магмы. Затем изотопы постепенно распадаются с образованием других элементов с постоянной скоростью, которую обычно называют периодом полураспада – это время, в течение которого распадается половина данного количества ядер радиоактивного изотопа. Если нам известны период полураспада, то, какая часть изотопа была в горной породе, когда эта порода сформировалась (геологи способны точно вычислить этот показатель), и то, сколько осталось от изотопа к настоящему времени, то определить возраст горной породы будет сравнительно легко. Разные изотопы распадаются каждый со своей скоростью. Старые горные породы обычно датируют, используя уран-235, обнаруживаемый в обычном минерале цирконе. У урана-235 период полураспада составляет около 700 млн лет. Углерод-14, у которого период полураспада составляет 5730 лет, используют для определения возраста более молодых пород или даже рукотворных артефактов, таких как Кумранские рукописи (они же Свитки Мертвого моря). Несколько изотопов обычно встречаются в горной породе вместе, поэтому можно провести перекрестную проверку датировки, и она неизменно совпадает. Однако горные породы, в которых обнаруживаются ископаемые, – это породы не вулканического происхождения (магматические), а осадочные, и прямая их датировка невозможна. Но в наших силах определить возраст ископаемого, сопоставив осадочные слои с датировкой прилегающих вулканических слоев, содержащих изотопы.

Противники эволюции зачастую оспаривают эти датировки, утверждая, что уровни радиоактивного распада могли измениться или со временем, или вследствие физического воздействия на горную породу. Это возражение, как правило,

выдвигают креационисты, отстаивающие идею молодой Земли, которой, по их словам, якобы не более 6000–10 000 лет. Но эта аргументация неверна. Поскольку разные изотопы в горной породе распадаются с разной скоростью, то, если бы скорость распада изменилась, они бы не давали сопоставимой датировки. Более того, период полураспада изотопов не меняется под воздействием экстремальных температур и давления в лабораторных условиях. А когда радиоизотопную датировку можно сопоставить с датировкой по исторической летописи, например как в случае с радиоуглеродным методом, то они неизменно совпадают. Именно благодаря радиоизотопной датировке метеоритов мы знаем, что Земле и Солнечной системе 4,6 млрд лет. (Самые старые горные породы Земли чуточку моложе – образцы из Северной Канады насчитывают 4,3 млрд лет, потому что породы постарше были разрушены при сдвигах земной коры.)

Да, существуют и другие способы проверить точность радиоизотопной датировки. В одном из них применяется биологический метод, и построен он был на оригинальном исследовании ископаемых кораллов. Исследование провел Джон Уэллс из Корнеллского университета. Радиоизотопная датировка показала, что эти кораллы относятся к девонскому периоду, т. е. им 380 млн лет. Однако Уэллсу также удалось выяснить, когда жили эти кораллы, просто внимательно присмотревшись к ним. Уэллс учел тот факт, что трение, производимое океанскими приливами, со временем замедляет скорость вращения Земли. Каждые сутки – т. е. каждый оборот Земли вокруг своей оси – чуть длиннее предыдущих. Не настолько, чтобы вы это заметили: если быть точным, сутки удлиняются примерно на две секунды в 100 000 лет. Поскольку продолжительность года, т. е. период, за который Земля делает один оборот вокруг Солнца, с течением времени не изменяется, это означает, что количество дней в году со временем должно уменьшаться. Зная темп снижения скорости вращения, Уэллс заключил, что, когда жили исследуемые им кораллы (380 млн лет назад, если радиометрическая датировка была верна), каждый год состоял примерно из 396 суток и каждые сутки продолжались 22 часа. Если бы ископаемые каким-то образом могли сообщить, какова была продолжительность суток при их жизни, мы могли бы проверить, действительно ли она совпадает с 22 часами, спрогнозированными радиоизотопной датировкой.

Однако кораллы и впрямь могут поведать нам об этом, потому что в процессе роста ведут в своих телах летопись того, сколько дней проживают за каждый год. У живых кораллов имеются и годовые, и суточные кольца. У кораллов ископаемых можно увидеть, сколько суточных колец насчитывается между годовыми, т. е. сколько дней было в каждом году, прожитом кораллом. Зная скорость замедления вращения Земли, вызванную приливом, мы можем сравнить «приливной» возраст коралла с «радиоизотопным». Подсчитывая кольца у своих девонских кораллов, Уэллс обнаружил, что эти образцы проживали в год примерно по 400 дней, а это означает, что каждые сутки длились 21,9 часа. Совсем небольшое расхождение с предполагаемыми 22 часами. Эта хитроумная биологическая калибровка позволяет с уверенностью говорить о том, что радиометрическая датировка точна.

Теперь, когда мы знаем, о чем нам может поведать палеонтологическая летопись и чем она ограничена, давайте посмотрим, какие доказательства эволюции она приводит.

Факты

Что в палеонтологической летописи может служить доказательством эволюции? Таких доказательств несколько типов. Во-первых, наличие широкой эволюционной панорамы: обзор всей последовательности пластов горной породы должен показать, что ранние формы жизни очень просты, а более сложные виды возникли только по прошествии некоторого времени. Кроме того, самые молодые ископаемые, которые мы находим, должны быть ближе всего к ныне существующим биологическим видам.

Мы также должны суметь увидеть случаи эволюционных изменений в ряду поколений, т. е. то, как со временем меняется какое-нибудь растение или животное, превращаясь в нечто иное. Более поздние виды должны обладать чертами, которые делают их похожими на потомков более ранних видов. И, поскольку история жизни включает в себя разделение видов, происходящих от общих предков, мы должны увидеть это разделение в палеонтологической летописи и найти в ней этих предков. Например, анатомы XIX в., основываясь на физиологическом сходстве, выдвинули гипотезу, что млекопитающие произошли от рептилий. Поэтому мы должны найти ископаемые останки рептилий, у которых имеются признаки млекопитающих. Конечно, поскольку палеонтологическая летопись неполна, не стоит надеяться на то, что удастся документировать каждый переход между основными формами жизни. Но по крайней мере часть их мы должны обнаружить.

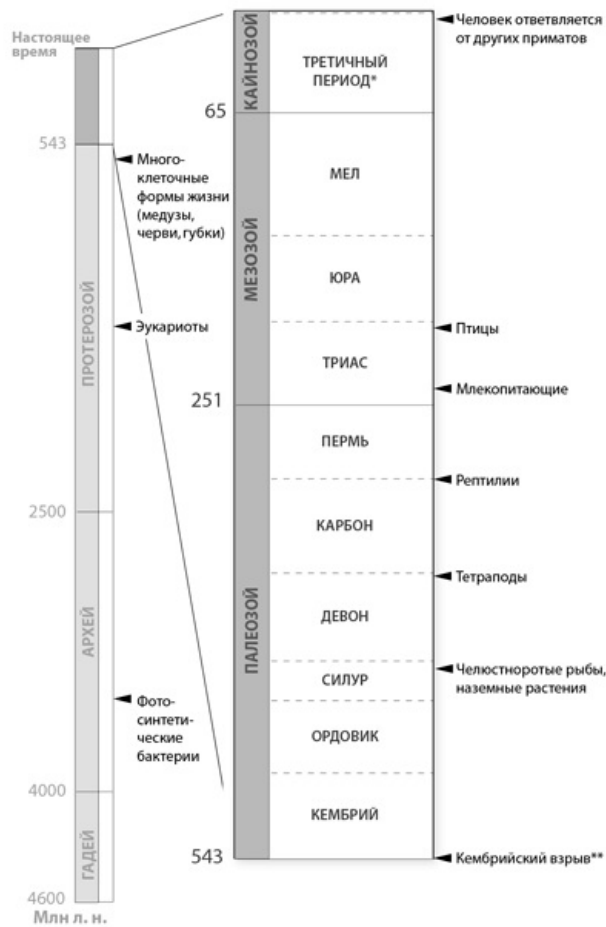
Когда Дарвин работал над «Происхождением видов», он жаловался на то, что палеонтологическая летопись крайне скудна. В те времена нам не хватало переходных форм ископаемых, недостающих звеньев между основными группами живых организмов, доказывающих существование эволюции. Некоторые группы, такие как киты, возникли в палеонтологической летописи из ниоткуда, и предки их были неизвестны. Но какие-то палеонтологические доказательства эволюции у Дарвина все-таки были. В их число входило наблюдение, согласно которому древние растения и животные разительно отличались от современных видов, и облик их приближался к современным по мере перехода к более поверхностно залегающим, т. е. более поздним пластам горной породы. Дарвин также отметил, что между ископаемыми в соседних пластах больше сходства, чем у тех, которые разделены множеством пластов, и это позволяет предположить, что в прошлом имел место постепенный и длительный процесс дивергенции. Более того, в любом месте ископаемые, найденные в поздних пластах, обнаруживали больше сходства именно с местными современными видами, а не с современными обитателями других краев. Например, ископаемых сумчатых в изобилии находили только в Австралии, а именно там в большинстве своем и обитают современные сумчатые. Это позволяло предположить, что современные виды произошли от ископаемых. (Среди ископаемых сумчатых встречаются самые невероятные млекопитающие, которые когда-либо жили на Земле: например, гигантский трехметровый кенгуру с плоской мордой, грозными когтями и единственным пальцем на каждой задней лапе.)

Чего Дарвину не хватало, так это достаточного количества ископаемых, чтобы предъявить четкое доказательство того, как постепенно менялся каждый биологический вид и какие у видов были общие предки. Но со времен Дарвина палеонтологи успели обнаружить множество ископаемых и подтвердили все прогнозы, которые были перечислены выше. В наши дни мы можем показать длительные процессы изменений в ряду поколений; нам хватает доказательств того, что у разных видов были общие предки и переходные формы (например, были обнаружены те самые недостающие звенья в родословной китов); и мы копнули достаточно глубоко, чтобы добраться до самого зарождения сложных форм жизни.

Теперь, когда мы расположили все пласты по порядку и провели их датировку, мы можем прочитать палеонтологическую летопись снизу доверху. На рис. 3 показана упрощенная временная шкала истории жизни. На ней отражены главные биологические и геологические события, которые произошли за последние

3,5 млрд лет. Эта шкала показывает четкую эволюционную картину перехода от простых форм к более сложным. Хотя на рисунке указаны моменты возникновения разных групп, например рептилий и млекопитающих, это не означает, что современные формы появились в палеонтологической летописи внезапно, как бы из ниоткуда. На самом деле мы видим, как начиная с ранних форм происходит постепенная эволюция в большинстве групп (скажем, птицы и млекопитающие миллионы лет назад произошли от рептилиеподобных предков). Существование постепенных переходов между основными группами живых существ, о которых я расскажу ниже, означает, что дата возникновения этих групп может быть представлена довольно-таки условно.

Первые организмы, простые фотосинтетические бактерии, появляются в осадочных породах, насчитывающих около 3,5 млрд лет, т. е. миллиард лет спустя после того, как сформировалась планета Земля. Эти одиночные клетки были единственными обитателями Земли на протяжении следующих двух миллиардов лет, по прошествии которых возникают первые простые эукариоты – организмы, у которых были настоящие клетки с ядром и хромосомами. Затем, примерно 600 млн лет спустя, появляется целый спектр относительно простых, но многоклеточных организмов, в том числе черви, медузы и губки. Эти группы в течение последующих нескольких миллионов лет эволюционируют, порождая многообразие форм живых существ, и 400 млн лет назад появляются земные растения и тетраподы (четвероногие животные, самыми первыми из которых были кистепёрые рыбы). Конечно, более ранние группы зачастую сохранялись: фотосинтетические бактерии, губки и черви появляются в самом начале палеонтологической летописи, и они до сих пор с нами.



* Третичный период — устаревшее название временного интервала геологической истории Земли, относящегося к кайнозойской эре и включающего периоды, которые в современной классификации называются палеоген, неоген и антропоген (третичный период включает часть последнего). Иногда используется в зарубежной научно-популярной литературе. — *Прим. ред.*

** Кембрийский взрыв, или взрыв скелетной фауны, — название явления, результатом которого стало внезапное (в геологическом смысле) резкое увеличение в раннекембрийских (около 540 млн лет назад) отложениях ископаемых остатков представителей многих крупных групп животного царства на фоне отсутствия ископаемых остатков или их предков в докембрийских отложениях. По мере накопления палеонтологических данных интерпретация кембрийского взрыва неоднократно изменялась. — *Прим. ред.*

РИС. 3. Палеонтологическая летопись, показывающая первое появление разных форм жизни, которые возникли с тех пор, как 4600 млн (4,6 млрд) лет назад (млн л. н.) сформировалась Земля. Обратите внимание, что многоклеточные формы жизни возникли и развивались только на протяжении последних 15% истории жизни. Группы появляются на сцене в эволюционном порядке, и многие возникают вслед за известными ископаемыми переходными формами

Спустя 50 млн лет мы уже видим первых настоящих амфибий, а по прошествии еще 50 млн лет появляются и рептилии. Первые млекопитающие выходят на сцену около 250 млн лет назад (как и прогнозировалось, они происходят от предков-рептилий), а первые птицы, которые также происходят от рептилий, появляются на 50 млн лет позже млекопитающих. После своего появления первые млекопитающие наряду с насекомыми и земными растениями становятся все более разнообразными, и, по мере того как мы приближаемся к верхним пластам породы, ископаемые все больше напоминают современные виды. Люди на этой сцене совсем новички: наша родословная ответвилась от других приматов всего 7 млн лет назад, и на шкале эволюции это узенькая полоска. Чтобы заострить внимание на этом моменте, проводились самые разные и изобретательные аналогии, но его нелишне будет подчеркнуть еще раз. Если весь ход эволюции представить себе как один год, то самые первые бактерии появятся в конце марта, но первых предков человека мы увидим только в 6 часов вечера 31 декабря. Золотой век античной Греции, около 500 г. до н. э., наступит лишь за 30 секунд до полуночи.

Хотя палеонтологическая летопись растений довольно скудна (ведь у них мало твердых частей, которые превращались бы в окаменелости), но характер эволюции в целом прослеживается сходный. Самые древние растения – это мхи и водоросли, следом появляются папоротники, потом хвойные, затем покрытосеменные (цветковые) растения.

Как показывает палеонтологическая летопись, появление биологических видов разворачивалось далеко не случайным образом. Сложным организмам предшествовало появление простых, предполагаемые предки появились раньше потомков, а самые недавние ископаемые больше всех похожи на современные виды. Многие крупные группы, как выяснилось, связаны между собой переходными формами. И никакой теорией особого сотворения – вообще никакой теорией, помимо эволюционной – эти закономерности не объяснишь.

Чтобы показать постепенные эволюционные изменения в ряде поколений, требуется хорошая последовательность осадочных пород, желательно таких, которые сменяли друг друга быстро (так что каждый период представлен толстым пластом породы, что позволяет отчетливее проследить перемены). Желательно также, чтобы в последовательности не было пропущенных слоев, поскольку если один из слоев в середине пропущен, то плавный эволюционный переход выглядит как внезапный «скачок».

Идеальным примером служат крошечные морские организмы, скажем, планктон. Таких организмов миллиарды, у многих есть твердый скелет, и они, что очень удобно для исследователя, опускаются после смерти прямо на дно океана, укладываясь в четкой последовательности слой за слоем. Собрать образцы таких организмов, не нарушая порядок слоев, проще простого: нужно лишь пробурить морское дно с помощью длинной трубы, вытянуть наверх цилиндрическую колонку породы (керна) и прочитать (и датировать) его снизу доверху.

Проследивая отдельный ископаемый вид с помощью керна, зачастую можно увидеть, как он развивался. На рис. 4 показан пример эволюции крошечного одноклеточного морского простейшего, которое строит спиральную раковину и по мере роста надстраивает новые ее камеры. Образцы взяты из керна длиной 200 м, добытого с морского дна неподалеку от Новой Зеландии, и представляют около 8 млн лет эволюции. Рисунок показывает изменения, которые со временем произошли с одним из отличительных признаков этого простейшего: изменилось количество камер в последнем витке раковины. Здесь с течением времени мы видим довольно плавную и постепенную перемену: в начале у одноклеточного приходится примерно 4,8 камеры на завиток, а к концу – около 3,3 камеры на завиток, т. е. уменьшение составляет около 30 %.

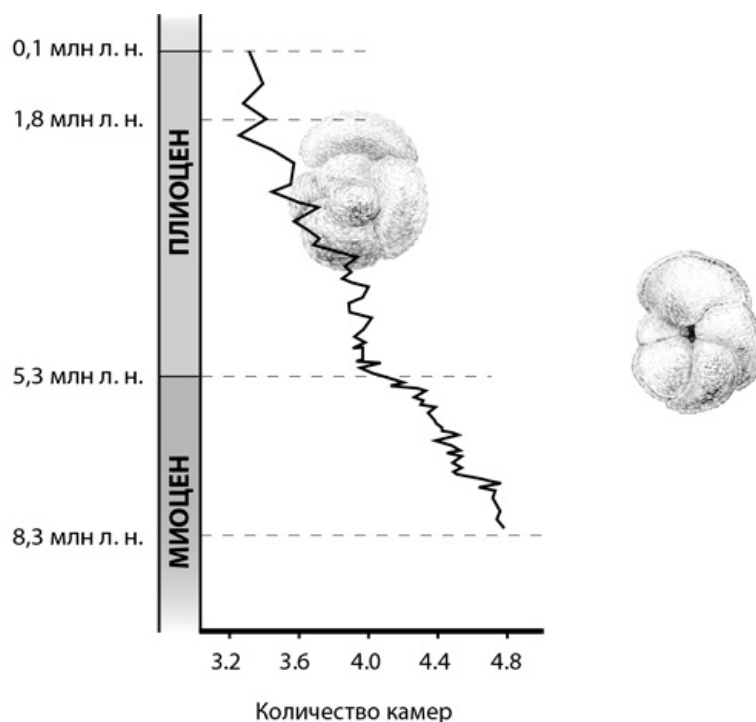


РИС. 4. Данные, полученные при изучении ископаемых останков, сохранившихся на морском дне, показывают эволюционные изменения, которые претерпевал вид *Globorotalia conoidea* — морское простейшее из класса фораминифер, произошедшие за период 8 млн лет. Шкала показывает количество камер в последнем витке раковины, средний показатель по всем экземплярам в каждом слое керна

Эволюции, даже постепенной, вовсе не обязательно всегда происходить плавно или равномерно. На рис. 5 показан более неравномерный вариант развития другого морского микроорганизма — радиолярии *Pseudocubus vema*. В этом случае геологи взяли образцы, располагавшиеся на равном расстоянии друг от друга, из восемнадцатиметрового керна, поднятого с морского дна неподалеку от Антарктиды и соответствующего временному промежутку приблизительно 2 млн лет. Признак, который был подвергнут исследованию, — ширина центральной части (так называемый «грудной отдел», торакс) цилиндрического скелета организма, разделенного пережимами на три отдела. Хотя с течением времени размер этого отдела увеличился примерно на 50 %, процесс шел неравномерно. Периоды, когда размер скелета радиолярии практически не менялся, чередовались с периодами более быстрых изменений. Такой тип эволюции часто встречается среди ископаемых останков, и было бы совершенно понятно, если бы подобные перемены были в свое время вызваны факторами окружающей среды, например колебаниями климата или солености. Сами по себе условия окружающей среды меняются нерегулярно и неравномерно, поэтому давление естественного отбора то усиливается, то ослабевает.

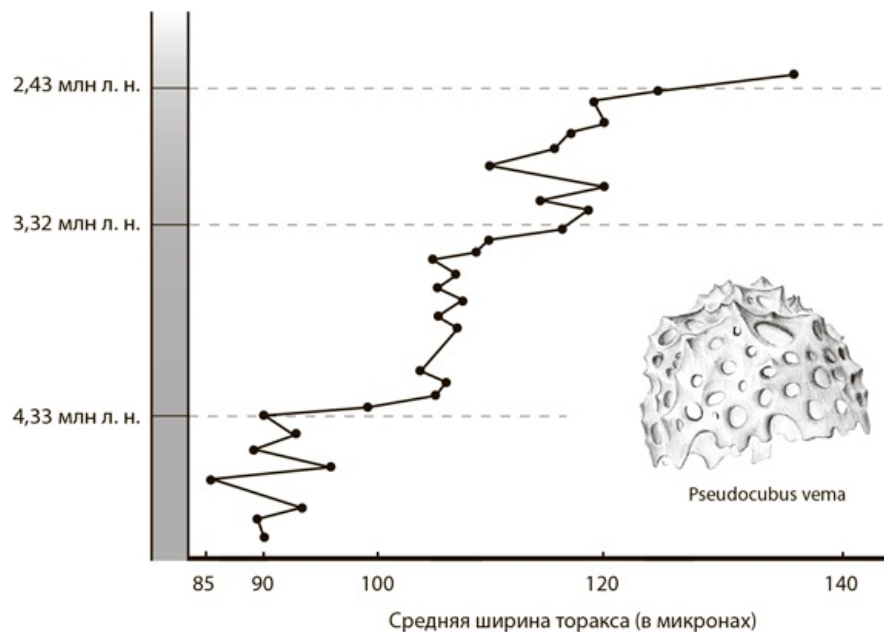


РИС. 5. Эволюционные изменения размеров торакса у радиолярии *Pseudocubus vema* за период 2 млн лет. Приведенные показатели — средние величины из каждой секции керна

Давайте рассмотрим эволюцию более сложного вида: трилобитов. Трилобиты были членистоногими и принадлежали к той же группе, что насекомые и пауки. Поскольку тело трилобита защищал прочный панцирь, эти ископаемые попадают в древних породах очень часто (не исключено, что вам удастся купить трилобита в сувенирном магазине при каком-нибудь зоологическом музее). Питер Шелдон, на тот момент работавший в дублинском Тринити-колледже, собирал ископаемых трилобитов в Уэльсе, в слое глинистых сланцев, охватывавшем около 3 млн лет. В этой породе он обнаружил восемь отчетливых линий трилобитов, и с течением времени в каждой из них происходили эволюционные изменения: менялось количество пигидиальных борозд, т. е. сегментов в задней части тела. На рис. 6 показаны изменения у нескольких таких линий. Хотя за весь период, который охватывали образцы, каждый вид в целом демонстрировал прирост количества сегментов, но, если сравнивать разные виды, изменения у каждого из них не только не соотносились с изменениями у другого, но иногда в течение одного и того же периода происходили в противоположных направлениях.

Увы, мы понятия не имеем, какие конкретные воздействия вызвали эволюционные изменения у этих планктонных организмов и трилобитов. Находить свидетельства эволюции в палеонтологической летописи всегда гораздо проще, чем понять, что именно ее вызвало, поскольку, хотя ископаемые и сохранились до наших дней, какова была их среда обитания, неизвестно. Мы можем лишь сказать, что эволюция у них имела место, она была постепенной и у нее менялись как темп, так и направление.

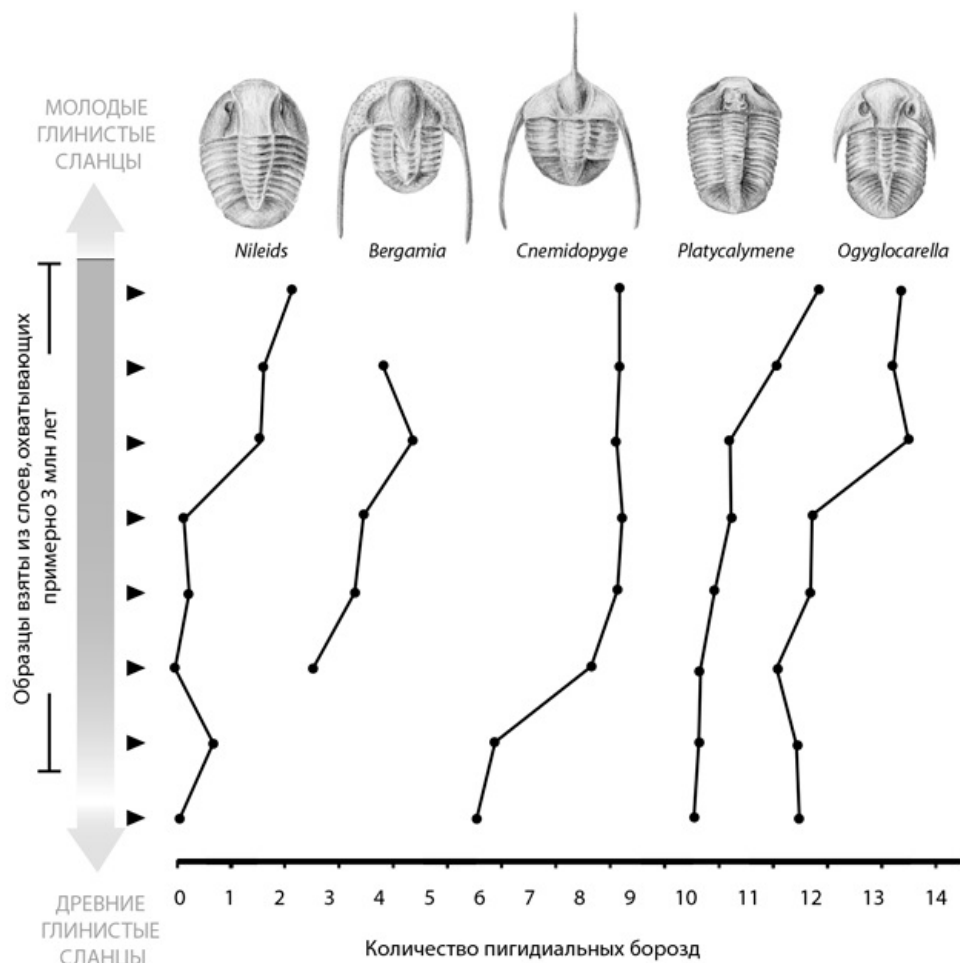


РИС. 6. Эволюционные изменения в количестве пигидиальных борозд (сегментов в задней части тела) у пяти групп ордовикских трилобитов. Приведенные цифры представляют собой средний показатель по каждой секции керна из слоя глинистых сланцев, охватывающего 3 млн лет. Все пять видов, как и три других, не показанных на рисунке, в целом демонстрируют общий прирост количества борозд за указанный период, тем самым доказывая, что в течение длительного времени действовал естественный отбор, однако изменения у разных видов трилобитов шли не параллельно, а в разном темпе

Морской планктон являет собой доказательство как разделения ветвей, так и эволюции в пределах одной ветви. На рис. 7 показано, как предковый вид планктонных радиолярий разветвляется на два других, которые различаются и по форме, и по размеру. Интересно, что новый вид - *Eucyrtidium matuyamai* сначала сформировался севернее того места, откуда были взяты керны, и лишь потом заселил район, где обитал его предок. Как мы увидим в главе 7, формирование новых видов обычно начинается, когда популяции географически изолированы друг от друга.

Существуют еще сотни доказательств эволюционных изменений в палеонтологической летописи - как постепенных и плавных, так и прерывистых, - причем у таких разных видов, как моллюски, грызуны и приматы. Кроме того, есть примеры видов, которые со временем практически не менялись. (Вспомним: эволюционная теория вовсе не утверждает, что должны изменяться все биологические виды!) Однако, даже если привести еще сотню примеров, мою главную мысль они не изменят: палеонтологическая летопись не дает никаких доказательств в пользу креационистского заявления, согласно которому все биологические виды появились одновременно и затем не менялись. Совсем

наоборот: разные формы жизни появляются в палеонтологической летописи в эволюционной последовательности, а затем развиваются и разделяются.

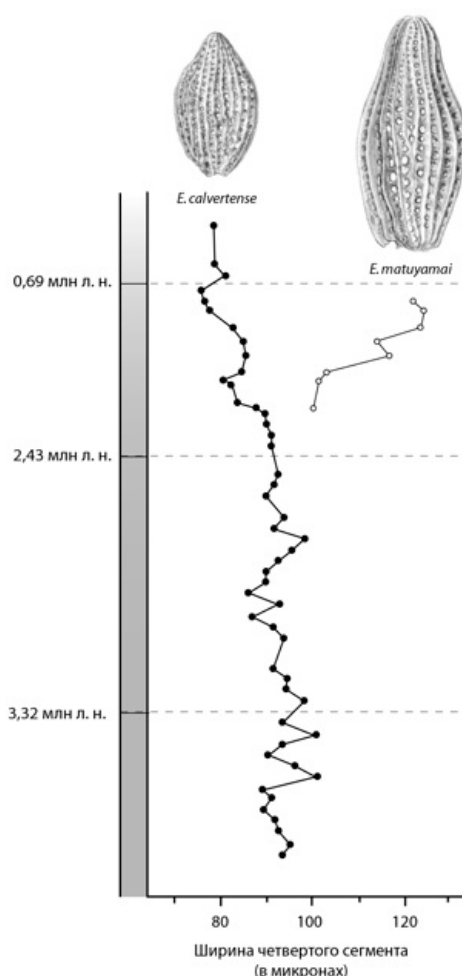


РИС. 7. Эволюция и видообразование у двух видов планктонных радиоларий *Eucyrtidium*, обнаруженных в керне из осадочных пород, охватывающем более 3,5 млн лет. Точки показывают среднюю ширину четвертого сегмента для каждого вида в каждой секции керна. В районах к северу от места взятия пробы популяция предкового вида *E. calvertense* увеличилась — постепенно, по мере увеличения размера самой радиоларии, получив название *E. matuyamai*. Затем, как показано на графике, *E. matuyamai* заново расселился по территории, которую занимал его предок, и оба вида, которые теперь обитали на одной территории, стали различаться по размеру. Это расхождение могло быть результатом естественного отбора, который действовал так, что конкуренция за пищу между двумя видами уменьшилась

Возможно, изменения у морских видов и служат доказательством эволюции, но это не единственный урок, который преподносит палеонтологическая летопись. Что действительно восхищает, в том числе биологов и палеонтологов, так это переходные формы: те ископаемые виды, которые заполняют промежуток между двумя совершенно разными классами живых организмов. Неужели птицы и впрямь произошли от рептилий, сухопутные животные — от рыб, а киты — от сухопутных животных? Если да, то где же подтверждение из числа ископаемых? Даже некоторые креационисты допускают, что с течением времени могут произойти небольшие изменения в размере и форме — этот процесс именуется *микроэволюцией*, — однако они отвергают идею, что от одного вида растения или животного может произойти совершенной иной вид (*макроэволюция*). Сторонники идеи разумного замысла утверждают, что такая значительная разница требует непосредственного вмешательства творца. Хотя в «Происхождении видов» Дарвин

не смог указать переходные формы, он бы восхитился тем, как его теорию в наши дни подкрепляют достижения современной палеонтологии. Среди них бесчисленные виды, существование которых было предсказано много лет назад, однако обнаружены и извлечены из земли они были лишь в последние несколько десятков лет.

Но что считать палеонтологическим доказательством для крупного эволюционного события? Согласно эволюционной теории, для каждого двух видов, как бы они ни отличались, когда-то существовал некий вид, который был их общим предком. Этот вид мы можем назвать недостающим звеном. Как мы уже убедились, шансы отыскать этот единственный предковый вид в палеонтологической летописи почти что равны нулю. Палеонтологическая летопись попросту слишком фрагментарна, чтобы мы могли на это рассчитывать.

Однако мы не должны сдаваться, потому что вполне можем отыскать в палеонтологической летописи другие виды, близких родственников нашего недостающего звена, которые не менее веско подтверждают общее происхождение потомков. Приведу один пример. Во времена Дарвина биологи, опираясь на анатомические доказательства, в частности на сходство строения черепа и сердца, заключили, что птицы – близкие родичи рептилий. Тогдашние биологи предположили, что у птиц и рептилий был некий общий предок, который в процессе видообразования породил две ветви потомства: из одной в конечном итоге появились все современные птицы, а из другой – все современные рептилии.

Как мог выглядеть этот общий предок? Интуиция подсказывает нам, что он должен был представлять собой нечто среднее между современной птицей и современной рептилией и обладать чертами, характерными и для тех, и для других. Однако это вовсе не обязательно, как отчетливо показал Дарвин в «Происхождении видов»:

Когда я рассматриваю какие-нибудь два вида, мне трудно преодолеть в себе желание создать в воображении формы, промежуточные непосредственно между этими двумя видами. Но это совершенно неправильная точка зрения; мы должны всегда ожидать формы, промежуточные между каждым данным видом и его общим, но неизвестным предком, а предок, конечно, должен был чем-нибудь отличаться от всех своих модифицированных потомков.

Поскольку рептилии появляются в палеонтологической летописи раньше, чем птицы, мы можем предположить, что общим предком птиц и рептилий была *древняя рептилия*, и начать искать таковую. В ее облике будут некоторые черты, которые будут свидетельствовать, что она и впрямь была недостающим звеном, давшим две ветви, одна из которых впоследствии положила начало всем современным птицам, а вторая породила динозавров. Подлинно птичьи черты, например крылья и крупная грудина, к которой крепятся летательные мышцы, разовьются лишь позже у той ветви, от которой произойдут птицы. По мере того как эта ветвь развивалась от рептилий к птицам, от нее ответвились несколько видов, которые сочетали в себе черты пернатых и рептилий. Часть этих видов вымерла, а другие продолжили развиваться, пока не превратились в современных птиц. Именно среди этих групп древних видов, родственников видов, находящихся близко к точке ветвления, нам и надлежит искать доказательства того, что у них был общий предок.

Таким образом, чтобы показать, что у двух групп был общий предок, нам не требуется отыскивать и предъявлять ископаемые останки именно того вида, который был их общим предком, или даже вида, находившегося на прямой линии наследования от этого предка к потомкам. Скорее, нам нужно лишь отыскать ископаемые, наделенные чертами, общими для двух групп, а также, что очень важно, нам необходимы хронологические доказательства, показывающие, что эти ископаемые появляются в палеонтологической летописи в нужное время. Переходный вид – это не то же самое, что предковый вид; это просто вид, который сочетает в себе черты организмов, живших до и после него. Учитывая фрагментарность палеонтологической летописи, отыскать эти формы в нужный хронологический период – цель логичная и реалистичная. Например, на переходе

от рептилий к птицам переходные формы должны выглядеть как ранние рептилии, но наделенные некоторыми чертами пернатых. Мы наверняка найдем эти переходные ископаемые в том периоде, когда рептилии уже появились, но современные птицы еще не успели возникнуть. Далее переходные формы не обязательно должны находиться на прямой линии наследования от предка к ныне живущему потомку: они могут быть сестринскими эволюционными ветвями, которые вымерли. Как мы увидим, у динозавров, от которых произошли птицы, имелись перья, но некоторые пернатые динозавры продолжали существовать долгое время после того, как появились другие животные, похожие на птиц. Эти поздние виды пернатых динозавров также служат доказательством эволюции, потому что сообщают нам нечто важное о происхождении птиц.

Получается, что датирование и до некоторой степени внешний облик переходных видов отчасти можно предсказать, исходя из эволюционной теории. Часть сравнительно недавних и очень важных прогнозов, которые удалось сделать, касаются нашей собственной группы – позвоночных.

Одним из крупнейших сбывшихся прогнозов в эволюционной биологии стало открытие переходной формы между рыбами и амфибиями, сделанное в 2004 г. Это ископаемый вид *Tiktaalik roseae*, который дает нам возможность понять, как позвоночные переселились на сушу. Открытие этого вида – потрясающее доказательство эволюционной теории.

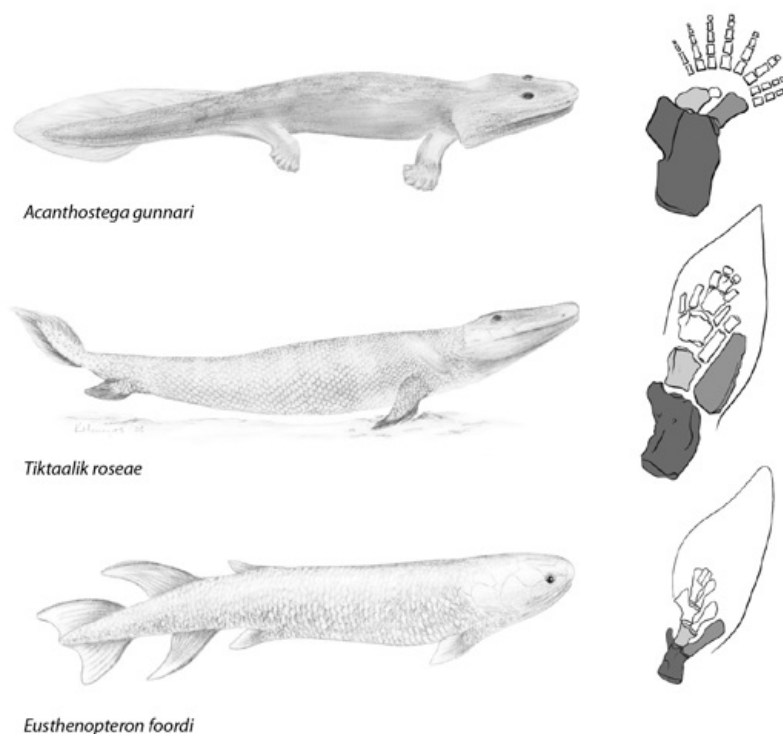


РИС. 8. Выход на сушу. Кистепёрая рыба (*Eusthenopteron foordi*), жившая примерно 385 млн лет назад; сухопутное четвероногое (*Acanthostega gunnari*) из Гренландии, примерно 365 млн лет назад; переходная форма — *Tiktaalik roseae* с острова Элсмир, примерно 375 млн лет назад. Промежуточная форма тела *Tiktaalik* соответствует промежуточной форме его конечностей, у которых наличествует костная структура, нечто среднее между прочными плавниками кистепёрой рыбы и еще более прочными конечностями, на которых ходили тетраподы. На рисунке штриховкой закрашены кости, которые развились в кости рук у современных млекопитающих: самым темным тоном отмечена кость, которая впоследствии развилась в нашу плечевую кость, а средним и светлым тоном закрашены кости, которые у млекопитающих развились соответственно в лучевую и локтевую кости

Примерно 390 млн лет назад единственными позвоночными были рыбы. Но 30 млн лет спустя мы уже видим явных животных – *tetrapod*: четвероногих позвоночных, которые передвигались по суше. Эти ранние четвероногие в некоторых отношениях напоминали современных амфибий: у них были плоские головы и тела, отчетливо выраженная шея, хорошо развитые лапы, а также плечевой и тазовый пояса. Тем не менее у них просматривается и прочная связь с предшественниками-рыбами, особенно с группой, известной как кистепёрые рыбы, названной так из-за крупных костистых плавников, которые позволяли представителям группы ползать по дну мелких озер и ручьев. Ранние тетраподы имели рыбоподобный облик: у них была чешуя, а также схожие с рыбами кости конечностей и головы (рис. 8).

Как эта ранняя рыба развивалась, чтобы получить способность жить на суше? Этим вопросом интересовался, точнее, был одержим мой коллега по Чикагскому университету Нил Шубин. Нил посвятил многие годы изучению того, как из плавников развились конечности, и страстно хотел разобраться в ранних стадиях этой эволюции.

Вот тут на сцену выходит тот самый прогноз. Если 390 млн лет назад существовали кистепёрые рыбы, но не было сухопутных позвоночных, а 360 млн лет назад сухопутные позвоночные уже точно появились, то где искать переходные формы? Где-то между этими этапами. Следуя этой логике, Шубин спрогнозировал, что, если переходные формы существовали, их надлежит искать в слое пород, которому

около 375 млн лет. Кроме того, следует искать ископаемые в слое, который образовался из пресноводных, а не из морских отложений, потому что и поздние кистепёрые рыбы, и ранние амфибии обитали в пресной воде.

Изучая карту открытых пресноводных отложений, относящихся к нужному периоду, Шубин и его коллеги методом исключения остановились на палеонтологически неизученном регионе Канадской Арктики – острове Элсмир, который находится в Северном Ледовитом океане, к северу от Канады. И после пяти лет дорогостоящих и бесплодных поисков исследователи наконец нашли то, что искали: группу ископаемых скелетов, покоившихся один на другом в осадочной горной породе на месте древнего пресноводного ручья. Когда Шубин впервые увидел ископаемые останки, показавшиеся из горной породы, он сразу понял, что нашел ту самую переходную форму. В честь местных жителей-эскимосов и благотворителя, который помогал финансировать экспедицию, ископаемое нарекли *Tiktaalik roseae* (*Tiktaalik* на эскимосском означает «большая пресноводная рыба», а *roseae* – зашифрованная отсылка к анонимному дарителю).

Tiktaalik roseae наделен чертами, которые позволяют говорить о том, что он – связующее звено между более ранними кистепёрыми рыбами и более поздними амфибиями (рис. 8). Обладавший жабрами, чешуей и плавниками, он, несомненно, был рыбой, которая жила в воде. Однако у него имеются и черты, присущие амфибиям. Во-первых, голова у него плоская, как у саламандры, а глаза и ноздри расположены скорее в верхней части, чем по бокам черепа. Это позволяет предположить, что *тиктаалик* обитал на мелководье, мог высовывать голову и, возможно, дышать над поверхностью воды. Плавники у него стали более твердыми и позволяли животному приподняться, чтобы оглядеться по сторонам. Кроме того, у тиктаалика, как и у ранних амфибий, была шея. У рыб шеи нет, их черепа непосредственно соединены с плечами.

Но важнее всего то, что у тиктаалика есть две новые по сравнению с предшественниками черты, которые впоследствии помогли его потомкам переселиться на сушу. Первая – это комплект прочных ребер, которые помогали животному набирать воздух в легкие и перегонять кислород из жабр (тиктаалик мог дышать двумя способами). Вторая – то, что вместо множества маленьких косточек, которые имелись в плавниках у кистепёрой рыбы, у тиктаалика в конечностях костей было меньше и они были прочнее, а по количеству и положению были такими же, как у всех сухопутных существ, возникших позже, в том числе и у человека. В сущности, эти конечности представляли собой наполовину плавник, наполовину лапу.

Ясно, что тиктаалик был хорошо приспособлен для обитания в мелководном пресном водоеме, для того чтобы ползать по дну, приподниматься, выглядывать над поверхностью воды и вдыхать воздух. Учитывая его строение, можно увидеть следующий, решающий шаг эволюции, который, возможно, включал в себя и иные, новые повадки. Некоторые потомки тиктаалика расхрабрились настолько, что выбрались из воды на своих крепких лапах-плавниках, возможно, чтобы перебраться по суше в другой ручей (именно так ведет себя современная необычная тропическая рыба илистый прыгун), спастись от хищников или, быть может, найти пищу среди множества уже возникших в процессе эволюции гигантских насекомых. Если передвижение по суше сулило какие-то преимущества, то естественный отбор мог превратить этих рыб-исследователей в амфибий. Этот первый маленький шаг на сушу оказался гигантским шагом для позвоночных в целом, потому что в конечном итоге он привел к появлению всех сухопутных позвоночных.

Сам тиктаалик не был готов к жизни на суше. Прежде всего у него еще не развились конечности, которые бы позволили ему ходить. Далее, у него все еще были внутренние жабры для дыхания под водой. Поэтому мы можем сделать другой прогноз. Где-то в отложениях пресноводных водоемов, в слое, насчитывающем 380 млн лет, мы найдем одного из первых обитателей суши, у которого были редуцированные жабры, а конечности чуть более прочные, чем у тиктаалика.

Находка ископаемых останков тиктаалика показывает, что наши предки были плоскоголовыми хищными рыбами, которые прятались в неглубоких пресноводных водоемах. Эта находка замечательно связывает рыб с амфибиями. Не менее замечательно то, что открытие этого ископаемого вида не только было ожидаемо, но и также предсказано его точное местонахождение в горной породе определенного типа и возраста.

Лучший способ прочувствовать драматичность эволюции заключается в том, чтобы лично увидеть ископаемые виды или, если есть возможность, поддержать их в руках. У моих студентов была такая возможность, когда Нил Шубин принес скелет тиктаалика на занятия, пустил его по рукам и показал, насколько он соответствует описанию подлинной переходной формы. Для студентов этот показ стал наиболее весомым и наглядным доказательством эволюции. Часто ли вам доводилось держать в руках кусочек эволюционного прошлого, тем более такой, который, возможно, был вашим дальним предком?

Какая польза в половине крыла? Еще со времен Дарвина этот вопрос задавали, чтобы поставить эволюцию и естественный отбор под сомнение. Биологи говорят нам, что птицы произошли от ранних рептилий, но как могло сухопутное животное развить в себе способность летать? Креационисты утверждают, что естественным отбором этот переход объяснить невозможно, потому что он потребовал бы промежуточных стадий, на которых у животных были бы лишь зачаточные крылья. Они скорее мешали бы живому существу двигаться, вместо того чтобы дать ему эволюционное преимущество.

Однако, если немного подумать, не так уж трудно понять, каковы были промежуточные стадии в эволюции полета, которые имели смысл и приносили пользу тем, кто их проходил. Первая и самая очевидная стадия – это планирование. Планирование возникало в процессе эволюции независимо несколько раз: у плацентарных млекопитающих, у сумчатых и даже у ящериц. Летучие белки очень ловко планируют, расправив складки кожи по бокам: это отличный способ перебраться с дерева на дерево в поисках орехов или спасаясь от хищников. Есть и еще более примечательный «летучий лемур», или кагуан, обитатель Юго-Восточной Азии, у которого есть впечатляющая перепонка, тянущаяся от головы до хвоста. Были случаи, когда удавалось наблюдать полет кагуана на расстояние 138 м, т. е. практически на длину шести теннисных кортов, и при этом в полете животное потеряло лишь 12 м высоты! Так что нетрудно представить следующий этап эволюции: животное, которое махало конечностями, снабженными перепонкой, как у летучего лемура, и благодаря этому совершало настоящий полет, какой мы наблюдаем у летучих мышей. Однако нам уже не нужно ограничиваться только воображением. В нашем распоряжении теперь есть ископаемые виды, которые отчетливо показывают, как появились летающие птицы.

Начиная с XIX в. сходство между скелетами птиц и некоторых динозавров заставило палеонтологов выдвинуть теорию, что у птиц и динозавров был некий общий предок, а именно *тероподы* – подвижные хищные динозавры, которые передвигались на двух ногах. В палеонтологической летописи примерно 200 млн лет назад встречается немало теропод, но ничего даже отдаленно похожего на птиц. А вот 70 млн лет назад мы уже видим ископаемых птиц, которые весьма напоминают современных. Если эволюция имела место, переходный от рептилий к птицам вид следует искать в промежутке 70–200 млн лет назад.

Там он и обнаруживается. Первое связующее звено между птицами и рептилиями было известно еще самому Дарвину, который, что любопытно, вкратце упомянул о нем лишь в поздних изданиях «Происхождения видов» и то лишь в качестве курьеза. Вероятно, это одна из самых известных переходных форм – *Archaeopteryx lithographica*, обнаруженный в 1860 г. в Германии, в каменоломне, где добывали известняк. (Название *Archaeopteryx* обозначает «древнее крыло», а слово *lithographica* происходит от зольнхофенского известняка, который был настолько мелкозернистым, что использовался для изготовления литографических пластин и сохранил даже отпечатки мягких перьев.) *Археоптерикс* характеризуется как раз таким сочетанием признаков, которые и следовало ожидать от переходной формы.

А возраст этого ископаемого вида, около 145 млн лет, помещает его именно в тот отрезок палеонтологической летописи, где и предполагалось его найти.

Археоптерикс был в большей степени рептилией, чем птицей. Его скелет почти идентичен скелету некоторых динозавров-теропод. Что интересно, некоторые биологи, которые недостаточно внимательно рассмотрели ископаемого археоптерикса, не заметили перья и по ошибке отнесли это животное к тероподам. (На рис. 9 показаны общие черты, свойственные этим двум классам.) Характерные признаки рептилий включают челюсть с зубами, длинный костистый хвост, когти, отдельные пальцы на крыле (у современных птиц эти кости слились, как вы можете заметить, если рассмотрите обглоданное куриное крылышко у себя на тарелке) и шею, прикрепленную к черепу сзади (как у динозавров), а не снизу (как у современных птиц). Птичьих черт у археоптерикса всего две: большие перья и противопоставленный большой палец, который, возможно, использовался, чтобы садиться на ветки. До сих пор непонятно, могло ли это существо летать, хотя у него и было оперение. Однако асимметричные перья (у каждого пера одна сторона была больше другой) позволяют предположить, что летать *Archaeopteryx* мог. Асимметричные перья, подобно крыльям самолета, создают профиль крыла, необходимый для полета. Однако даже если *Archaeopteryx* мог летать, все равно в основном он был динозавром. Это один из примеров того, что эволюционисты называют «мозаичными признаками»: нельзя сказать, что *Archaeopteryx* находится на полпути между птицами и рептилиями – с птицами его роднят лишь несколько черт, но большая часть черт у него от рептилий.

После открытия археоптерикса в течение долгого времени не удавалось обнаружить никаких промежуточных звеньев между рептилиями и птицами, и таким образом между современными птицами и их предками оставалась зияющая брешь. Затем, уже в середине 1990-х гг., брешь начала заполняться благодаря целой лавине поразительных находок, обнаруженных в Китае. Эти окаменелости, обнаруженные в озерных осадочных породах, сохранивших даже отпечатки мягких тканей, являют собой настоящий парад пернатых динозавров-теропод. У некоторых из них все тело покрывали очень мелкие нитевидные структуры – возможно, протоперья. У одного из этих примечательных существ, *Sinornithosaurus millenii* (*Sinornithosaurus* означает «китайская птица-ящер»), все тело было покрыто длинными тонкими перьями, такими мелкими, что они вряд ли помогали своему обладателю летать (рис. 10а). А его когти, зубы и костистый хвост отчетливо показывают, что это существо было еще очень далеко от современной птицы. У других динозавров из числа китайских ископаемых на головах и передних конечностях просматриваются перья среднего размера. Однако у других на передних конечностях и хвостах наблюдаются крупные перья, больше напоминающие оперение современных птиц. Самый поразительный из этой компании – «четырёхкрылый динозавр» *Microraptor gui*. В отличие от всех современных птиц это причудливое существо длиной 76 см обладало полностью оперенными передними и задними конечностями (рис. 10б), вытянув которые, по всей вероятности, оно умело планировать.

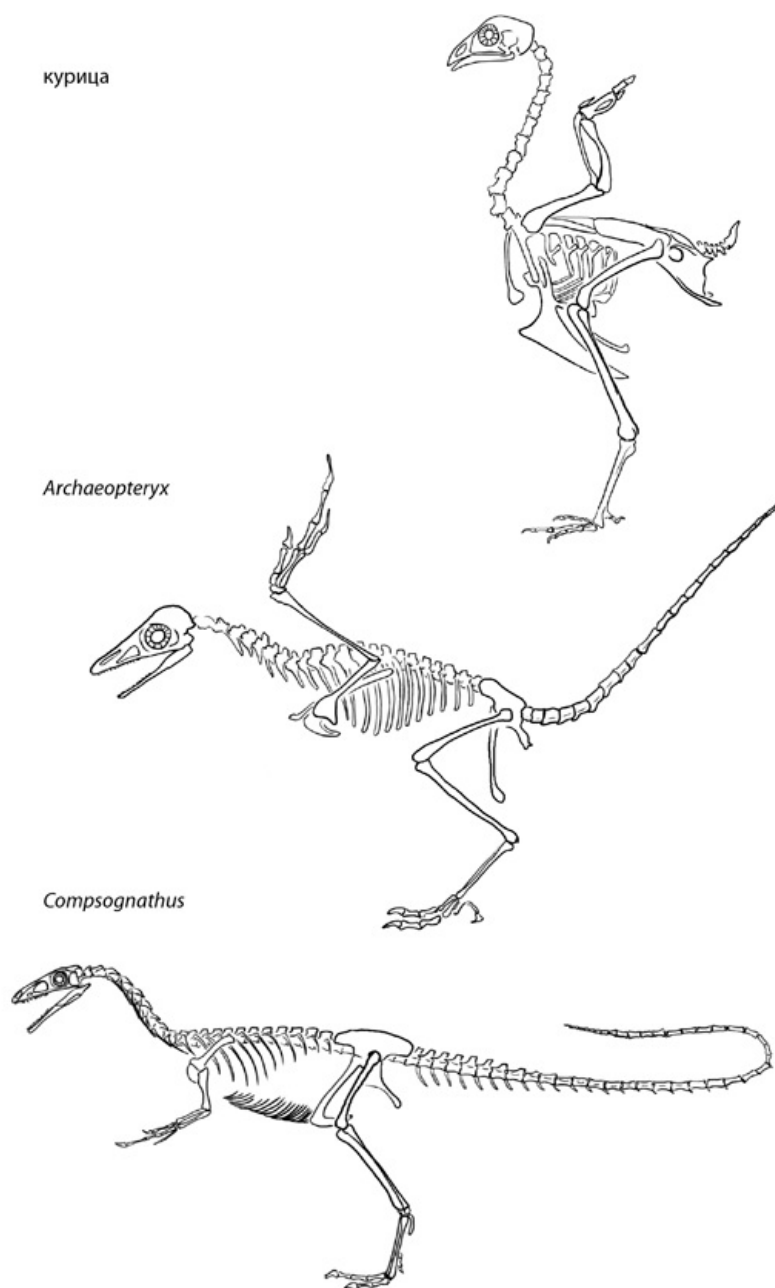


РИС. 9. Скелет современной птицы (курицы), переходной формы (*Archaeopteryx*) и маленького двуногого динозавра — хищного теропода (*Compsognathus*), похожего на одного из предков археоптерикса. У археоптерикса наблюдаются несколько особенностей, сближающих его с современными птицами (перья и противопоставленный палец на лапе), однако его скелет очень похож на скелет динозавра, включая зубы, рептилийный таз и длинный костистый хвост. *Archaeopteryx* был размером примерно с ворона, а *Compsognathus* — несколько крупнее

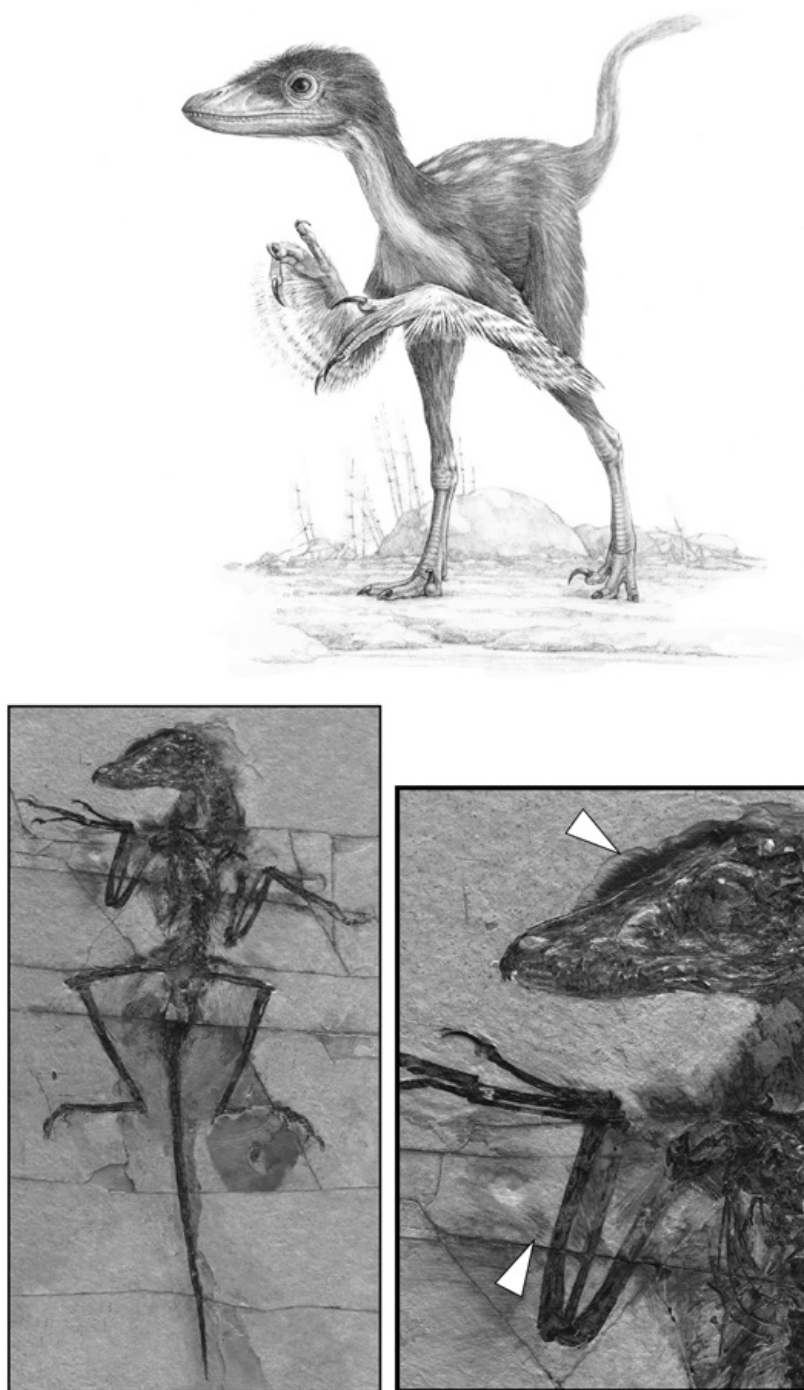


РИС. 10А. Пернатый динозавр *Sinornithosaurus millenii* — ископаемые останки, найденные в Китае (около 125 млн лет) и художественная реконструкция. В окаменелости отчетливо просматриваются отпечатки нитевидных перьев, особенно на голове и передних конечностях (показаны стрелками)

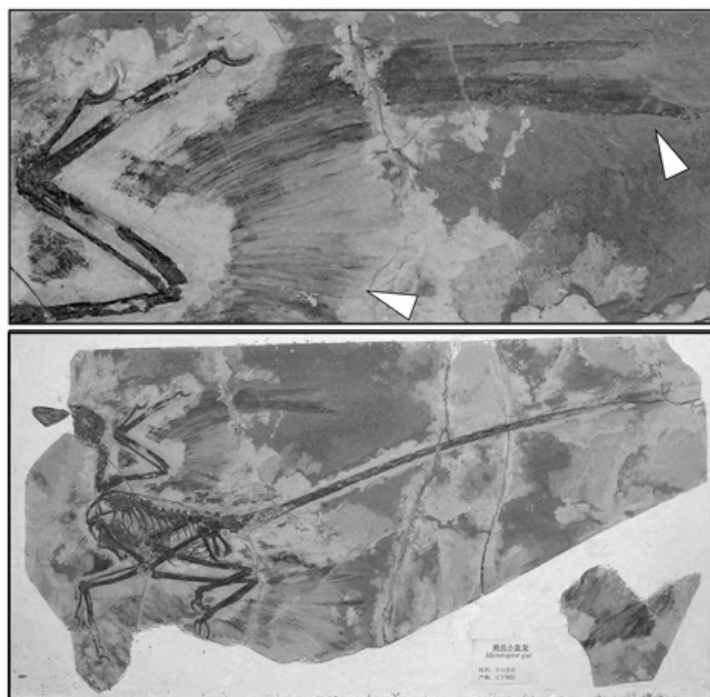


РИС. 10Б. Причудливый «четырёхкрылый» динозавр *Microraptor gui*, у которого длинными перьями были покрыты и передние, и задние конечности. Эти перья (показаны стрелками) отчетливо видны на ископаемых останках, которым около 120 млн лет. Не вполне понятно, умел ли этот динозавр летать или же только планировать, однако задние «крылья» почти наверняка помогали ему приземляться, как показано на рисунке

Динозавры-тероподы, похоже, были не только наделены примитивными птицеподобными чертами, но и некоторыми птичьими повадками. Американский палеонтолог Марк Норелл и группа его коллег описали две ископаемые находки, показывающие поведение динозавров, и если к ископаемым можно применить слово «трогательный», то эти динозавры вели себя именно трогательно. Первая – маленький пернатый динозавр, который спал, спрятав голову под сложенную переднюю конечность, напоминавшую крыло, именно так, как спят современные

птицы (рис. 11). Динозавр, получивший название *Mei long* (что по-китайски означает «крепко спящий дракон»), судя по всему, умер во сне. Вторая – самка хищного динозавра, которая встретила свою смерть, сидя на яйцах, т. е. очевидно, что она высиживала потомство точно так же, как современные птицы.

Все находки ископаемых пернатых динозавров датируются периодом 135–110 млн лет назад, т. е. они жили позже, чем археоптерикс, которому 145 млн лет. Это означает, что они не могли быть его прямыми предками, однако могли быть близкими родственниками. Возможно, пернатые динозавры продолжали существовать и после того, как от одной их эволюционной ветви произошли птицы. Поэтому мы наверняка можем отыскать еще более древних пернатых динозавров, которые были предками археоптерикса. Проблема в том, что перья сохраняются лишь в определенном типе осадочных пород, а именно в мелкозернистых илистых отложениях спокойных водоемов наподобие дна озера или лагуны. А такие условия встречаются очень редко. Однако мы можем выдвинуть еще один эволюционный прогноз, подлежащий проверке: когда-нибудь мы отыщем ископаемые останки пернатых динозавров, которые окажутся старше археоптерикса.

Мы не вполне уверены, что археоптерикс был единственным биологическим видом, от которого произошли все современные птицы. Не похоже на то, что он был недостающим звеном. Но безотносительно к этому археоптерикс представляет собой звено длинной цепочки ископаемых видов (часть которых была открыта неустрашимым Полом Серено), которая отчетливо показывает, как появились современные птицы. По мере того как эти ископаемые виды становятся все моложе, мы видим, как рептилийный хвост у них уменьшается, зубы исчезают, когти срастаются, а также появляется большая грудина, к которой крепятся летательные мышцы.

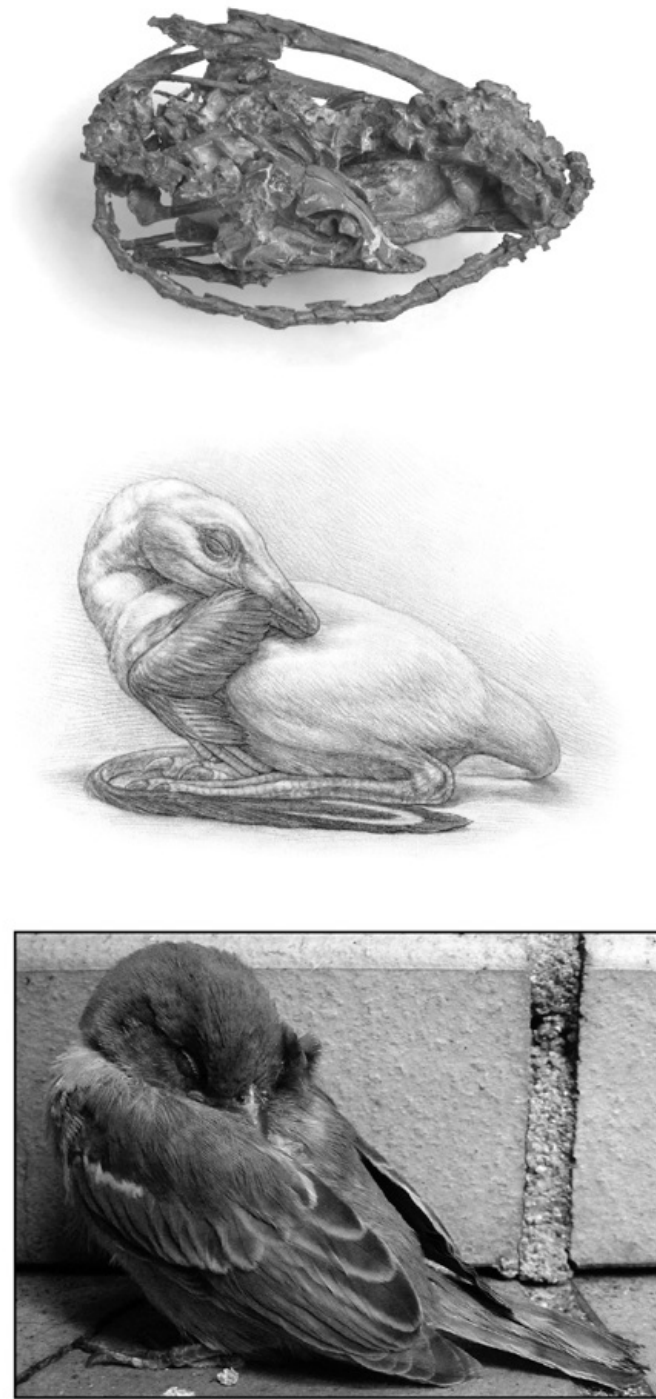


РИС. 11. Реконструкция поведения ископаемого вида: пернатый динозавр-теропод *Mei long* (вверху) фоссилизировался в позе, характерной для спящей птицы, спрятав голову под крыло. В середине: реконструкция *Mei long* по ископаемым останкам. Внизу: современная птица (птенец домового воробья), спящая в той же позе

В сумме эти ископаемые находки показывают, что основная схема скелета и оперение сформировались еще до того, как птицы научились летать. Существовало множество пернатых динозавров, и их оперение совершенно явно родственно оперению современных птиц. Однако если перья появились не как адаптация к полету, то зачем они вообще были нужны? Снова приходится сказать, что ответ на этот вопрос нам неведом. Возможно, у того древнего оперения была своя функция: оно служило для украшения или для демонстрации, чтобы привлечь брачного

партнера. Однако более правдоподобным кажется другой вариант: оперение могло служить в качестве теплоизоляции. В отличие от современных рептилий тероподы, вероятно, были отчасти теплокровными, а даже если и не были, то оперение помогало поддерживать температуру тела. Еще загадочнее, откуда и из чего развились перья. Наиболее вероятная версия состоит в том, что перья развились из тех же клеток, из которых у рептилий развивается чешуя, однако с этим предположением согласны далеко не все ученые.

Несмотря на лакуны, мы можем выдвинуть некоторые предположения о том, как с помощью естественного отбора сформировались современные птицы. У ранних плотоядных динозавров удлинлись передние конечности с лапами, которые, вероятно, помогали им хватать и держать добычу. Такие хватательные движения должны были способствовать развитию мышц, которые помогали бы передним конечностям быстро вытягиваться и сгибаться обратно, т. е. совершать движение, характерное для настоящего полета, а не планирования. Затем возникло оперение, возможно, для теплоизоляции. С учетом этих эволюционных новообразований можно представить себе по меньшей мере два пути, по которым могло пойти развитие полета. Первый – это так называемый сценарий «с деревьев вниз». Существуют свидетельства того, что некоторые тероподы, по крайней мере частично, обитали на деревьях. Передние конечности, снабженные оперением, помогали бы им планировать с дерева на дерево или с дерева на землю, что позволяло спасаться от хищников, облегчало поиск пищи и смягчало падение.

Второй из возможных и куда более вероятный сценарий называется «с земли вверх». Согласно этому сценарию, полет мог появиться как расширенное продолжение бега и скачков с распростертыми передними конечностями: именно так, скорее всего, двигались пернатые динозавры в погоне за добычей. Кроме того, крылья могли удлиниться, потому что это облегчало бег. Так, азиатский кеклик (или азиатская каменная куропатка), охотничье-промысловая птица, объект исследования Кеннета Диала из Университета штата Монтана, представляет собой ныне здравствующий пример этой стадии. Кеклики почти никогда не летают, а крыльями хлопают, только чтобы легче было взбегать в гору. Хлопанье крыльями не только придает им дополнительное ускорение, но и дополнительное сцепление с землей. Новорожденные птенцы кеклика способны взбегать вверх по склону с уклоном 45 градусов, а взрослые особи взбегают по уклону 105 градусов, т. е. даже не отвесному, а нависающему, и все это только за счет бега и хлопанья крыльями. Преимущество очевидно: умение взбегать на такой крутой склон позволяет кекликам спастись от хищников. Следующим шагом в развитии полета должны были стать короткие подскоки в воздух, какие совершают индейки и перепела, когда чувствуют опасность.

В обоих описанных сценариях естественный отбор мог начать благоприятствовать особям, которые не просто планировали, совершали броски и прыжки или короткие перелеты, а могли пролететь дальше. Затем могли возникнуть и другие эволюционные новообразования – черты, которые есть у современных птиц, в том числе полые кости, обеспечивающие легкость, и большая грудина.

Детали могут оставаться под вопросом, но существование переходных форм и происхождение птиц от рептилий – это неоспоримый факт. Ископаемые виды, подобные археоптериксу и его более поздним сородичам, демонстрируют сочетание птичьих черт и черт ранних рептилий, и в палеонтологической летописи они приходятся на нужное время. Ученые предсказали, что птицы произошли от динозавров-теропод, и действительно, мы нашли динозавров-теропод с перьями. Выстраивается последовательность во времени – от ранних теропод с телом, покрытым тонким нитевидным пухом, к более поздним, обладателям настоящего оперения, возможно, умевшим планировать. В эволюции птиц мы наблюдаем, как видоизменяются прежние черты (передние конечности с пальцами и тонкими филаментами на коже) и образуются новые (беспалые крылья и перья), как и предсказывает эволюционная теория.

Дуэйн Гиш, американский креационист, известен своими яркими и популярными (хотя и крайне ошибочными) лекциями, в которых он обрушивается на эволюцию.

Я как-то раз побывал на одной такой лекции, в ходе которой Гиш высмеивал теорию биологов, утверждавшую, что киты произошли от сухопутных животных, родичей коров. Как, вопрошал он, мог случиться подобный переход, если промежуточная форма была бы плохо приспособлена к обитанию и на суше, и в воде и, следовательно, не могла быть создана естественным отбором? (Это напоминает аргумент, связанный с промежуточным половинным крылом, который выдвигают против идеи об эволюции птиц.) В пояснение этого пункта Гиш показал слайд с карикатурой: нарисованным животным, напоминающим русалку, у которой верхняя часть тела была от пятнистой коровы, а нижняя – рыба. Явно озадаченное своей эволюционной участью, это очевидно неприспособленное животное стояло у самой кромки моря, а над головой у него красовался большой вопросительный знак. Карикатура произвела эффект, на который и рассчитывал лектор: слушатели разразились хохотом. «Какие же тупые эти эволюционисты», несомненно, подумали они.

В самом деле, «корова-русалка» – это нелепый пример переходной формы между сухопутными и водными млекопитающими, «мумудивительный провал», как нарек ее Гиш. Но давайте забудем о шутках, каламбурах и риторике и обратимся к самой природе. Получится ли у нас отыскать какое-нибудь млекопитающее, которое обитает и на суше, и в воде, такое существо, которое, как предполагают креационисты, появиться не могло?

Запросто. Отличным кандидатом станет гиппопотам, который хотя и представляет собой близкого сородича сухопутных млекопитающих, но в то же время настолько близок к жизни в воде, насколько это вообще возможно для наземных млекопитающих. (Есть два биологических вида, карликовый гиппопотам и обыкновенный гиппопотам, научное название которого очень ему подходит – *Hippopotamus amphibius*). Гиппопотамы проводят значительную часть времени, погружившись в тропическую реку или болото и наблюдая за своей территорией при помощи глаз, носа и высоко расположенных на голове ушей, и все эти органы чувств они умеют плотно закрывать, когда ныряют в воду. Спариваются гиппопотамы в воде, а их детеныши, которые плавать учатся раньше, чем ходить, рождаются под водой, и матери вскармливают их в воде. Поскольку гиппопотамы по преимуществу водные животные, они особым образом адаптированы к тому, чтобы выходить на сушу и пастись там: питаются гиппопотамы в основном в ночное время, и, поскольку они уязвимы для солнечных ожогов, их кожа выделяет особый секрет, маслянистую красную жидкость – гиппосудоровую кислоту. Эта маслянистая жидкость работает солнцезащитным кремом и, возможно, служит антибиотиком. Из-за нее возник миф, будто гиппопотамы потеют кровью. Гиппопотамы явно неплохо приспособлены к среде обитания, и легко увидеть, что если бы они находили достаточно пищи в воде, то в конечном итоге могли бы превратиться в полностью водных существ, напоминающих китов.

Однако нам нет необходимости напрягать воображение и пытаться представить эволюцию китов, сделав экстраполяцию на основе информации о современных биологических видах. Так сложилось, что родословная китов превосходно прослеживается по богатой палеонтологической летописи благодаря их обитанию в воде и прочным костям, которые хорошо сохраняются в ископаемом состоянии. При этом путь эволюционного развития китов был установлен лишь в последние двадцать лет. Это отличный пример эволюционного преобразования, поскольку в нашем распоряжении имеется череда ископаемых останков, расположенных в хронологическом порядке, возможно, ряд поколений предков и потомков, показывающих, как киты переселились с суши в воду.

Еще с XVII в. было признано, что киты и их сородичи – дельфины и морские свиньи – относятся к млекопитающим. Они теплокровные, живородящие, выкармливают потомство молоком, вокруг дышал у них растет шерсть. Анализ ДНК кита, а также наличие у некоторых китов таких рудиментарных органов, как тазовые кости и кости задних конечностей, показывают, что предки китов обитали на суше. Киты практически наверняка произошли от парнокопытных, отряда млекопитающих, у которых имеется четное количество пальцев (к ним относятся

такие животные, как верблюды и свиньи). Современные биологи считают, что ближайший современный родственник кита – это, как вы уже догадались, гиппопотам, поэтому, возможно, сценарий «из гиппопотамов в киты» не так уж и неправдоподобен.

Однако у китов есть свои уникальные черты, которые обособляют их от сухопутных сородичей. Среди этих черт – отсутствие задних ног, передние конечности в форме ласт, уплощенный хвостовой плавник, дыхало (ноздры в верхней части головы), короткая шея, простые конические зубы (в отличие от сложных больших коренных зубов сухопутных животных), особое строение ушей, позволяющее киту слышать под водой, и мощные выступы в верхней части позвоночника, к которым крепятся сильные мышцы хвоста, участвующие в плавании. Благодаря поразительной серии ископаемых, обнаруженных на Ближнем Востоке, мы имеем возможность проследить эволюцию каждой из этих характеристик (за вычетом бескостного хвоста, потому что он не подвергается процессу фоссилизации) от наземных до водных форм.

Шестьдесят миллионов лет назад было множество ископаемых млекопитающих, однако ископаемых китов не было. Существа, напоминающие современных китов, появляются 30 млн лет назад. Таким образом, мы наверняка должны найти переходные формы в пределах этого интервала. Прогноз снова сбывается, и они обнаруживаются именно на этом отрезке. На рис. 12 в хронологическом порядке показаны некоторые ископаемые виды – участники этого эволюционного преобразования, охватывающего период от 52 до 40 млн лет назад.

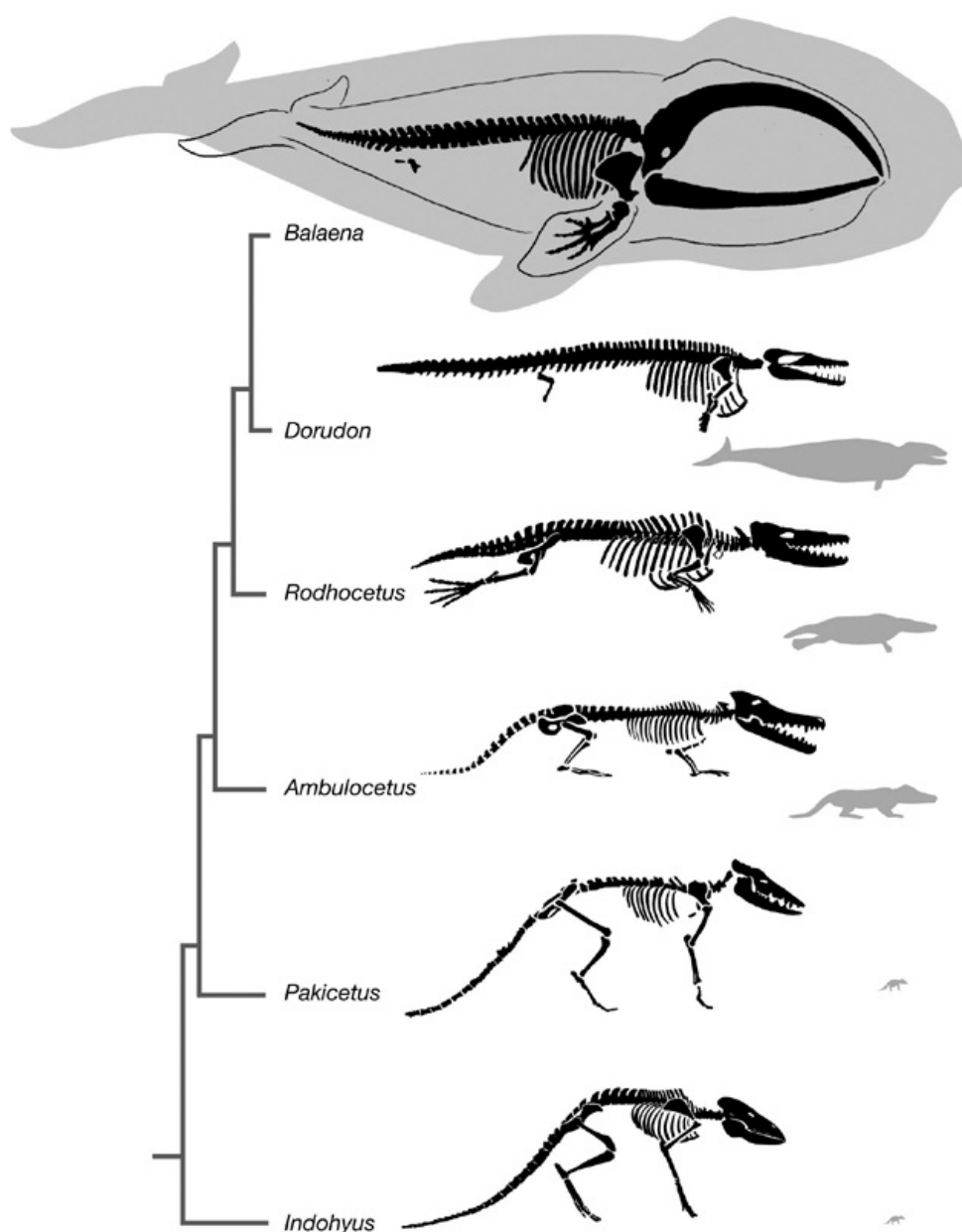


РИС. 12. Переходные формы в эволюции современных китов. (*Balaena* — это современный усатый кит с рудиментарными костями таза и задних конечностей; остальные виды — переходные ископаемые формы.) Относительные размеры животных показаны силуэтами в правой части рисунка. «Древо» показывает эволюционное родство этих видов

Описывать этот переход в подробностях необходимости нет, поскольку рисунки отчетливо говорят, если не кричат, о том, как наземное животное перебралось в воду. Ряд начинается с недавно обнаруженного ископаемого животного – ближнего родича кита под названием индохиус (*Indohyus*), которое было размером с енота. Индохиус жил 48 млн лет назад и был, как и предсказывалось, парнокопытным. Его близкое родство с китами несомненно, потому что у него имеются особенности в строении ушей и зубов, которыми наделены только современные киты и их водные предки. Хотя индохиус появляется несколько позже, чем большей частью

водные предки китов, он, весьма вероятно, по облику очень близок к тому, как выглядел предок кита. И индохиус был по меньшей мере частично водным обитателем. Нам это известно, поскольку кости индохиуса плотнее и тяжелее, чем кости полностью сухопутных млекопитающих, и это помогало животному держаться в воде не всплывая. Кроме того, изотопы, извлеченные из зубов индохиуса, показывают, что он потреблял много кислорода из воды. Возможно, индохиус плавал в мелководных ручьях или озерах в поисках растительной пищи или укрываясь от врагов, примерно так же, как похожее на него современное животное – африканский оленек. Это временное пребывание в воде, возможно, и привело предка китов на путь к превращению в полностью водное животное.

Индохиус не был предком китов, но практически наверняка был близким родственником этого предка. Однако если мы удалимся еще на 4 млн лет в прошлое, к отметке 52 млн лет назад, то увидим весьма вероятного кандидата в предки кита. Это ископаемый череп животного размером с волка, называемого *Pakicetus*, который несколько ближе к киту, чем индохиус: у него более простые зубы и уши наподобие китовых. Тем не менее *Pakicetus* мало напоминал современного кита, поэтому если бы вы оказались в том времени и увидели его, то не догадались бы, что это животное или его близкие сородичи положат начало такой значительной эволюционной радиации. Затем с небольшим интервалом идет серия ископаемых, у которых со временем появляется все больше особенностей строения, свойственных водным животным. На отметке 50 млн лет назад находим примечательного *Ambulocetus* (буквально «ходячий кит») – обладателя удлинненного черепа и редуцированных, но тем не менее крепких конечностей, которые все еще заканчиваются копытами, показывая, кто является предком этого вида. Это животное, по всей вероятности, большую часть жизни проводило на мелководье, а на суше, скорее всего, неуклюже ковыляло, примерно как тюлень. Еще в большей степени водным был родоцетус (*Rodhocetus*), живший 47 млн лет назад. Его ноздри сдвинулись к задней части головы, и у него был еще более удлинненный череп. На хребте у родоцетуса имелись толстые выступы, к которым крепились хвостовые мышцы, поэтому, судя по всему, животное хорошо плавало, однако по суше передвигалось с трудом: об этом говорят маленькие таз и задние конечности. Ясно, что родоцетус большую часть жизни проводил в море. Наконец, 40 млн лет назад существовали базилозавр (*Basilosaurus*) и дорудон (*Dorudon*) – явно полностью водные млекопитающие с короткими шеями и дышащими на макушке. Они вообще не могли находиться на суше, поскольку их таз и задние конечности полностью редуцировались (у пятнадцатиметрового дорудона длина ног составляла лишь 60 см) и не были соединены с остальным скелетом.

Эволюция китов от наземных животных проходила удивительно быстро: большая ее часть заняла всего 10 млн лет. Это лишь чуть дольше, чем временной отрезок, понадобившийся для эволюционного расхождения нашего вида и шимпанзе, произошедших от общего предка, причем это преобразование потребовало куда меньших изменений формы тела. Тем не менее адаптация к жизни в воде не потребовала появления каких-то совершенно новых черт, лишь модификации уже имевшихся.

Но почему некоторые животные вообще переселились с суши в воду? В конце концов, миллионы лет до этого их предки населяли сушу. Мы не знаем в точности, почему именно произошла обратная миграция, но есть несколько гипотез. Один из возможных ответов: исчезновение динозавров и их свирепых морских сородичей, питавшихся рыбой, – мозазавров, ихтиозавров и плезиозавров. Эти животные, не вымри они, не только соперничали бы с млекопитающими за пищу, но и, что весьма вероятно, пожирали самих млекопитающих. Когда соперники-рептилии вымерли, предки китов, возможно, обнаружили незанятую нишу, свободную от хищников и богатую пищей. Море было готово к их переселению, и до всех благ, которые оно сулило, оставался путь лишь в несколько мутаций.

О чем говорят ископаемые

Если к этому моменту у вас голова пошла кругом от обилия сведений об ископаемых, пусть вас утешает то, что я привел лишь отдельные примеры и опустил сотни других, также подтверждающих эволюцию. Например, существуют переходные формы между рептилиями и млекопитающими, которые описаны столь подробно, с промежуточным звеном «рептилии, похожие на млекопитающих», что о нем написаны горы книг. Кроме того, яркий пример – это лошади, эволюционная ветвь, которая привела от маленького пятипалого предка к современным величественным копытным. И, разумеется, есть еще палеонтологическая летопись нашего собственного вида, описанная в главе 8, – определенно самый лучший и красноречивый пример сбывшегося эволюционного прогноза.

Рискуя окончательно утомить читателя, я вкратце расскажу еще о нескольких переходных формах. Первая из них – насекомое. Исходя из анатомических сходных черт, энтомологи уже давно предположили, что муравьи произошли от одиночных ос. В 1967 г. Э. О. Уилсон и его коллеги обнаружили переходную форму – ископаемого муравья, сохранившегося в янтаре. Это насекомое оказалось практически в точности той комбинацией муравья и осы, которую и предсказали энтомологи (рис. 13).

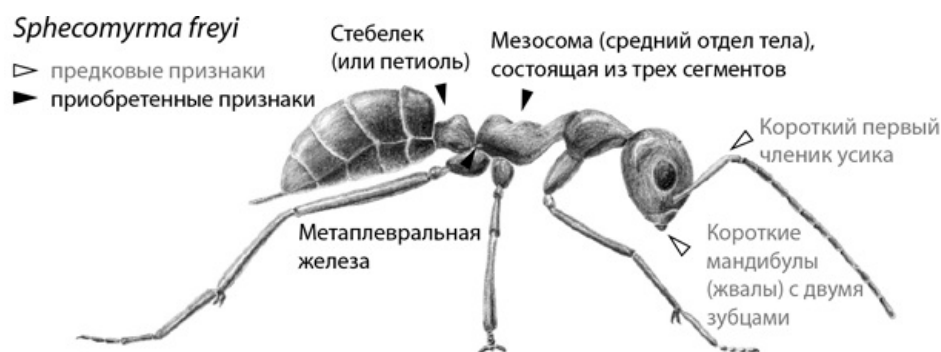


РИС. 13. Переходная форма насекомого: древний муравей, наделенный примитивными чертами ос (предсказанной предковой группы) и приобретенными чертами муравьев. Единственный найденный представитель этого вида, *Sphecomyrma freyi*, сохранился в янтаре. Возраст ископаемого насчитывает 92 млн лет

Также уже давно было выдвинуто предположение относительно происхождения змей: по мнению ученых, поскольку в палеонтологической летописи рептилии с конечностями появляются задолго до змей, то змеи произошли от ящероподобных рептилий, утративших конечности. В 2006 г. палеонтологи, проводившие раскопки в Патагонии, обнаружили ископаемые останки древнейшей известной змеи, возраст которых составлял 90 млн лет. Как и прогнозировалось, у этой змеи оказались тазовый пояс небольшого размера и редуцированные задние конечности. Но, возможно, самая потрясающая находка – это ископаемое возрастом 530 млн лет, обнаруженное в Китае и названное *Haikouella lanceolata*. Оно напоминает маленького угря с оборчатый спинным плавником. У него также были голова, мозг, сердце и хрящевой стержень вдоль спины – хорда. Наличие последней говорит о том, что данный ископаемый вид, вероятно, самый древний из известных хордовых – группы, от которой берут начало все позвоночные, включая человека. В этом сложноорганизованном существе длиной 2,5 см, возможно, таятся корни нашей собственной эволюции.

Палеонтологическая летопись учит нас трем вещам. Во-первых, она отчетливо и подробно рассказывает об эволюции. Окаменелости подтверждают некоторые прогнозы, сделанные эволюционной теорией: например, постепенное изменение внутри эволюционной ветви, разделение ветвей, существование переходных форм

между очень разными организмами. Свидетельства, которые дает палеонтологическая летопись, настолько вняты и весомы, что от них не отмахнешься. Эволюция имела место, и во многих случаях мы видим, как именно она происходила.

Во-вторых, когда обнаруживаются переходные формы, то в палеонтологической летописи они располагаются именно в той точке, где им и надлежит быть. Древнейшие птицы появляются после динозавров, но до современных птиц. Мы видим, что предковые формы китов заполняют промежуток между их сухопутными предшественниками и современными китами. Не будь эволюции, ископаемые не выстраивались бы в осмысленном эволюционном порядке. Говорят, когда ворчливого биолога Дж. Халдейна спросили, какое наблюдение, предположительно, могло бы опровергнуть эволюцию, он прорычал: «Ископаемые кролики в докембрийскую эпоху!» (Этот геологический период завершился 543 млн лет назад.) Нужно ли говорить, что никаких докембрийских кроликов или иных анахроничных ископаемых никто никогда не обнаруживал.

Наконец, эволюционные изменения, даже крупные, почти всегда включают превращение старого в новое. Конечности наземных животных – это измененные, хорошо развившиеся конечности их предка-рыбы. Крошечные кости среднего уха у млекопитающих представляют собой не что иное, как измененные эволюцией челюсти их предков-рептилий. Крылья птиц возникли из конечностей динозавров. А киты представляют собой потомков сухопутных животных с вытянутым длинным телом, чьи передние конечности превратились в ласты, а ноздри переместились на макушку.

Если бы и существовал божественный творец, создававший организмы с чистого листа, подобно архитектору, разрабатывающему здания по чертежам, то нет ни единой причины, которая могла бы побудить его выводить новые виды постепенно, перекраивая и переделывая черты уже имеющихся. Будь мир создан таким верховным творцом, каждый биологический вид был бы сотворен с нуля. Однако естественный отбор может действовать, только изменяя то, что уже существует. Он не порождает новые черты из ниоткуда. Таким образом, дарвинизм прогнозирует, что новые виды будут модифицированными вариантами старых. А палеонтологическая летопись в полной мере подтверждает этот прогноз.

До того, как в средневековой Европе появилась бумага, все рукописи писали на пергаменте и велене, т. е. на тонких полотнищах высушенной и особым образом выделанной кожи животных. Поскольку производство пергамента было предприятием сложным, то многие средневековые писатели просто соскребали предыдущий текст с выделанной кожи и писали новый на очищенных страницах. Эти многократно использованные листы с новым текстом называются палимпсестом, от греческого слова palimpsestos, что означает «соскобленный».

Однако зачастую незначительные остатки старого текста сохранялись на пергаменте. Этот факт существенно повлиял на то, как мы воспринимаем древний мир. Многие древние тексты известны нам лишь по следам, проступающим на пергаменте из-под слоя нового текста, перекрывшего старый. Вероятно, самый известный подобный документ – палимпсест Архимеда, первый слой которого был написан в Константинополе в X в., а второй слой текста начертал три века спустя некий монах, писавший молитвенник. В 1906 г. некий датский специалист по античной литературе идентифицировал исходный текст как работу Архимеда. После этого для расшифровки исходного, нижнего слоя текста применяли сочетание рентгеновских лучей, оптического распознавателя текста и других сложных методов. Трудоемкая работа позволила восстановить три математических трактата Архимеда, написанных на древнегреческом, два из которых ранее были неизвестны и сыграли колоссальную роль в истории науки. Вот такими таинственными путями мы обретаем и восстанавливаем прошлое.

Подобно древним текстам, живые существа тоже являют собой палимпсесты истории – истории эволюции. В телах животных и растений таятся ключи к их происхождению, которые и служат свидетельством эволюции. И таких ключей множество. В организмах спрятаны рудименты, имеющие смысл лишь как останки некогда функциональных органов, которыми в давние времена были наделены наши предки. Иногда мы обнаруживаем атавизмы, т. е. регрессивные черты, вызванные случайным пробуждением генов предков, долгое время не подававших голоса. Теперь, когда в наших силах напрямую установить последовательность нуклеотидов ДНК, мы обнаруживаем, что биологические виды тоже представляют собой палимпсесты, но *молекулярные*: в их геномах записана значительная часть их эволюционной истории, в том числе остатки генов, которые некогда были функциональны. Более того, в своем развитии из эмбрионов многие виды проходят через очень причудливые изменения формы: органы и другие черты появляются, затем кардинально меняются или вовсе исчезают еще до рождения. Кроме того, далеко не все виды сконструированы идеально: у многих из них просматриваются несовершенства, которые явственно говорят не о божественном творении, но об эволюции.

Стивен Гулд назвал эти биологические палимпсесты «бессмысленные знаки истории». Но на самом деле они вовсе не бессмысленны, потому что представляют собой одно из самых веских доказательств эволюции.

Рудименты

Еще в бытность свою аспирантом в Бостоне я был привлечен в помощь старшему коллеге, который написал статью по биологии. Он исследовал вопрос о том, что более эффективно для теплокровных животных: передвигаться на двух ногах или на четырех. Коллега планировал отослать свою статью в журнал *Nature*, один из самых престижных научных журналов, и попросил меня помочь ему сделать фотографию, которая годилась бы на обложку журнала и привлекла бы внимание к его статье. Я был так рад на время выбраться из лаборатории, что охотно провел целый день в загоне, преследуя лошадь и страуса и надеясь поймать кадр, где они бежали бы бок о бок и тем самым демонстрировали бы одновременно оба типа бега. Стоит ли говорить, что страус и лошадь не желали слушаться и сотрудничать со мной, и, когда все биологические виды выдохлись, мы оставили эту затею. Хотя фотография у нас так и не получилась, но благодаря самому опыту я усвоил важный биологический урок: страусы не умеют летать, но тем не менее пользуются крыльями. На бегу страус использует крылья, чтобы поддерживать равновесие: распростертые крылья не дают ему опрокинуться вперед. Когда же страус приходит в возбуждение, а этого не миновать, если вы носитесь за ним по всему загону, то он бежит прямо на вас, растопырив крылья и тем самым демонстрируя угрозу. Это знак, что лучше убраться с дороги, потому что разъяренный страус запросто может выпустить вам кишки одним могучим ударом лапы. Кроме того, страус использует крылья во время брачных танцев и для защиты птенцов от жгучего африканского солнца.

Однако этот урок еще более поучителен, чем кажется. Страусиные крылья – это *рудимент*, т. е. черта, присущая биологическому виду, которая у предков данного вида была адаптивной, но со временем или утратила свой смысл и функцию полностью, или, как у страуса, оказалась приспособлена к новым функциям. Как и все нелетающие птицы, страусы произошли от летающих предков. Этому есть доказательства и в палеонтологической летописи, и в свидетельствах происхождения, которые присутствуют в ДНК нелетающих птиц. Но хотя крылья у страуса все еще сохраняются, однако они уже не помогают птице взлетать, чтобы добывать пищу или спастись от хищников и докучливых аспирантов. Тем не менее крылья у страуса не совсем бесполезны: у них развились новые функции. Они помогают птице сохранять равновесие, находить брачного партнера и угрожать врагам.

Африканский страус – не единственная нелетающая птица. Помимо подкласса бескилевых, крупных нелетающих птиц, к которым относятся и южноафриканский нанду, австралийский эму и новозеландский киви, десятки других видов птиц независимо утратили способность летать. Среди них нелетающие пастушковые, поганковые, утки и, конечно, пингвины. Возможно, самый причудливый пример являет собой новозеландский какапо – крупный нелетающий попугай, который обитает в основном на земле, но умеет карабкаться по деревьям и мягко «парашютировать» в подлесок. Какапо находится на грани вымирания: сейчас в дикой природе существует меньше ста особей. Поскольку какапо не умеют летать, они становятся легкой добычей для интродуцированных хищников, например кошек или крыс.

У всех нелетающих птиц есть крылья. У некоторых, скажем у киви, крылья настолько малы – лишь сантиметров десять длиной и спрятаны под оперением, – что, похоже, они совсем нефункциональны и представляют собой просто рудименты. У других птиц, как мы видели на примере страуса, крылья приобрели новые функции. У пингвинов крылья преобразовались в ласты, что позволяет птицам плавать под водой с поразительной скоростью. Тем не менее у всех этих птиц строение скелета крыльев такое же, как и у летающих птиц. Объясняется это тем, что крылья нелетающих птиц не были плодом намеренного творения (зачем бы божественному творцу использовать одну и ту же конструкцию и у летающих, и у нелетающих птиц, в том числе у водоплавающих пингвинов?), а результатом происхождения нелетающих птиц от летающих предков.

Когда речь заходит о рудиментарных чертах как доказательстве эволюции, противники эволюции всегда приводят один и тот же аргумент. «Эти черты не бесполезны, – утверждают они. – Они или для чего-то нужны, или мы еще не установили, в чем их функция». Иными словами, противники эволюции заявляют, что тот или иной орган не может быть рудиментарным, если у него все еще сохраняется какая-то функция или эту функцию еще предстоит установить.

Однако это возражение неточно. Эволюционная теория не утверждает, что рудименты лишены функций. Тот или иной орган может быть одновременно и рудиментарным, и в то же время функционировать. Он рудиментарен не потому, что нефункционален, но потому, что *перестал выполнять функцию, для которой развился в процессе эволюции*. Крылья страуса функциональны, но это не означает, что они ничего не сообщают нам об эволюционном процессе. Не странно ли было бы, если бы божественный создатель помог страусу удерживать равновесие, снабдив того придатками, которые почему-то похожи на редуцированные крылья и сконструированы точно так же, как крылья, используемые для полета?

В самом деле, мы *ожидаем*, что предковые органы приобретут новые функции; именно это и происходит, когда эволюция создает новые органы из старых. Сам Дарвин заметил, что «орган, сделавшийся вследствие перемен в образе жизни бесполезным или вредным для одной цели, может быть модифицирован и использован для другого назначения». Но, даже если удалось установить, что та или иная черта рудиментарна, на этом вопросы не кончаются. У каких предков данного вида она была функциональной? Для чего она служила? Почему утратила свою функцию? Почему она сохранилась, а не исчезла полностью? И какие новые функции у нее возникли, если они есть?

Давайте снова возьмем для примера крылья. Очевидно, что наличие крыльев дает немалые преимущества, которыми обладали летающие предки нелетающих птиц. Но почему некоторые виды утратили способность летать? Мы не вполне уверены, но кое-какие убедительные ключи к разгадке имеются. Большинство птиц, которые со временем стали нелетающими, обитали на островах: например, вымерший додо на острове Маврикий, гавайский пастушок, какапо и киви в Новой Зеландии и многие нелетающие птицы, нареченные по названиям островов, где они водятся (самоанская камышница, камышница острова Гоф, оклендский чирок и т. п.). Как мы увидим в следующей главе, одна из характерных черт далеких островов – это отсутствие млекопитающих и рептилий, т. е. видов, которые охотятся на птиц. Но как же представители бескилевых, обитающие на континентах, например страусы? Все они появились в Южном полушарии, где гораздо меньше хищных млекопитающих, чем в Северном.

Суть в том, что полет требует от организма крупных метаболических затрат, расхода энергии, которую при других условиях можно было бы потратить на продолжение рода. Если птица летает, в основном чтобы спастись от хищников, но хищников на островах зачастую просто не водится, или если пищу легко добыть и на земле, что тоже характерно для островов (там обычно растет мало деревьев), то зачем птице полноценные функционирующие крылья? В такой ситуации птицы – обладатели редуцированных крыльев получают репродуктивное преимущество, а естественный отбор поощряет неспособность летать. Кроме того, крылья представляют собой крупные придатки, которые легко поранить. Если необходимость в крыльях отпадает, то избежать травм можно, избавившись от крыльев. В обеих ситуациях естественный отбор будет напрямую поощрять те мутации, которые ведут к постепенному уменьшению крыльев и в итоге влекут за собой неспособность летать.

Так почему же крылья не исчезли полностью? В некоторых случаях они почти исчезли: у киви крылья представляют собой бесполезные выросты. Но в случаях, когда крылья приобрели новые функции, как, например, у страуса, естественный отбор сохраняет их, хотя и в форме, которая не позволяет птице летать. У других видов крылья, возможно, находятся в процессе полного исчезновения, а мы застали середину этого процесса.

Часто встречаются и рудиментарные глаза. Многие животные, в том числе роющие и пещерные, живут в полной темноте, однако, выстроив эволюционное древо, мы обнаружили, что эти животные произошли от видов, которые жили на поверхности земли и были снабжены функционирующими глазами. Подобно крыльям, глаза, когда они не нужны, превращаются в лишнюю нагрузку. Чтобы их вырастить, требуется энергия, и их легко повредить. Поэтому в случае, когда животное обитает в полной темноте и видеть в ней невозможно, любые мутации, которые способствуют утрате глаз, будут преимуществом. Возможен и другой вариант объяснения: в случае, если они не помогали, но и не мешали животному, мутации, которые ухудшали зрение, могли просто накопиться со временем.

Именно такая эволюционная утрата глаз произошла у предка палестинского слепыша. Это грызун с короткими лапами, удлинённым цилиндрическим туловищем, напоминающий меховую колбаску с маленькой пастью. Всю свою жизнь зверек проводит под землей, но, несмотря на это, у него сохранились рудиментарные глаза – крошечные органы лишь один миллиметр диаметром, полностью скрытые защитным слоем кожи. Эти рудиментарные глаза не способны воспринимать зрительные образы. Молекулярные данные говорят о том, что примерно 25 млн лет назад слепыши произошли от зрячих грызунов и их незрячие глаза достались им в наследство от этих предков. Но почему такой рудимент вообще сохранился? Недавние исследования показали, что эти органы содержат зрительный пигмент, чувствительный к низким уровням освещённости, который помогает животному регулировать суточный ритм активности. Такая остаточная функция, которую приводит в действие тусклое подземное освещение, вполне может объяснять то, что рудиментарные глаза сохраняются.

Настоящие кроты, которые относятся не к грызунам, а к насекомоядным, утратили свои глаза независимо, сохранив лишь рудиментарный, покрытый кожей орган, который можно увидеть, если раздвинуть мех на голове у крота. Сходным образом у некоторых роющих змей глаза полностью спрятаны под чешуей. У многих пещерных животных глаза также или редуцированы, или отсутствуют. В их число входят рыбы (скажем, слепые пещерные рыбки, которых можно купить в зоомагазине), пауки, саламандры, креветки и жуки. В природе существует даже слепой пещерный рак, у которого сохранились глазные стебельки, но глаз на них нет!

Настоящие сокровищницы рудиментарных органов представляют собой киты. У многих современных видов сохранились рудиментарные таз и кости конечностей, тем самым подтверждая, как мы уже знаем из предыдущей главы, что киты произошли от четвероногих наземных предков. Если вы посмотрите на целый скелет кита в зоологическом музее, то увидите крошечные кости задних конечностей и таза, свисающие с остального костяка на проволоке. В природе у живых китов эти кости не соединены со скелетом, а просто встроены в ткани. Когда-то они были частью скелета, но со временем отсоединились и редуцировались, поскольку необходимость в них отпала. Перечень рудиментарных органов у животных так велик, что из него мог бы получиться обширный каталог. Сам Дарвин, который в молодости увлеченно коллекционировал жуков, отмечал, что у некоторых нелетающих жуков под сросшимися надкрыльями (панцирем) до сих пор сохраняются рудименты крыльев.

У нас, людей, немало рудиментарных черт, которые доказывают наше эволюционное происхождение. Самая известная из них – аппендикс (в медицине его называют «червеобразным отростком»). Этот тонкий цилиндрический отросток размером с карандаш находится на конце слепой кишки в месте перехода тонкого кишечника в толстый. Как и у многих других рудиментарных черт, его размер и степень развитости сильно варьируют: у человека аппендикс достигает в длину от 2,5 до почти 30,5 см. В редких случаях человек рождается без аппендикса.

У травоядных животных, таких как коалы, кролики и кенгуру, слепая кишка и ее придаток аппендикс гораздо больше, чем у людей. То же самое относится к приматам, питающимся листьями, т. е. к лемурам, лори, паукообразным обезьянам. У них увеличенный аппендикс, карман кишечника, служит вместилищем для

ферментирования пищи (подобно «дополнительному желудку» у коров): в нем содержатся бактерии, которые помогают животным расщеплять целлюлозу с образованием легкоусвояемых сахаров. У приматов, в чьем рационе листьев меньше, например у орангутанов и макаков, слепая кишка и аппендикс редуцированы. У людей, которые не питаются листьями и не способны переваривать целлюлозу, аппендикс почти исчез. Очевидно, что чем меньше растительной пищи входит в рацион животного, тем меньше у него слепая кишка и аппендикс. Иными словами, наш аппендикс представляет собой лишь остаток органа, который был принципиально важен для наших травоядных предков, но для нас подлинной ценности не имеет.

Аппендикс для нас вообще чем-то полезен? Если и да, то это неочевидно. Удаление аппендикса не вызывает никаких отрицательных побочных эффектов и не увеличивает смертность (по сути дела удаление аппендикса, наоборот, уменьшает вероятность колита). Палеонтолог Альфред Ромер в своем знаменитом руководстве «Анатомия позвоночных» (The Vertebrate Body), анализируя функции аппендикса, сухо замечает: «Судя по всему, основной его смысл состоит в том, чтобы обеспечивать финансовую поддержку врачам-хирургам». Но, говоря по справедливости, от аппендикса, возможно, все-таки есть некоторая скромная польза. В аппендиксе есть участки ткани, которые, возможно, функционируют как часть иммунной системы. Кроме того, существует предположение, что аппендикс предоставляет убежище для полезных кишечных бактерий в тех случаях, когда инфекция изгоняет их из остальной пищеварительной системы.

Однако эти небольшие преимущества определенно меркнут на фоне серьезных проблем, которые доставляет человеку аппендикс. Из-за своей узости он легко забивается, что может привести к инфекциям и воспалению, известному как аппендицит. Без своевременного медицинского вмешательства воспаление аппендикса может привести к смерти. Шанс заполучить аппендицит в течение жизни равен примерно одному к пятнадцати. К счастью, благодаря тому, что в ходе развития хирургии удаление аппендикса стало обычным делом, шанс умереть от аппендицита составляет лишь 1 %. Но до того, как в конце XIX в. врачи научились удалять воспаленный аппендикс, смертность от аппендицита превышала 20 %. Иными словами, пока операции по удалению аппендикса не вошли в обиход, от аппендицита умирало более одного человека из сотни. Это весьма суровый естественный отбор.

В течение длительного периода эволюции человека, на протяжении более 99 % истории человечества, хирургов не было, и мы жили с заложенной в наш кишечник тикающей бомбой. Если взвесить мизерные плюсы аппендикса в сравнении с его серьезными минусами, становится понятно, что в целом аппендикс просто-напросто скверная штука. Но, если отвлечься от оценок, аппендикс в любом случае рудиментарный орган, потому что он перестал выполнять ту функцию, ради которой появился.

Так почему же аппендикс у нас до сих пор сохраняется? Ответ пока что неизвестен. Возможно, он бы окончательно исчез, но хирургия практически свела на нет естественный отбор среди людей с аппендиксами. Возможно также, что естественный отбор просто не может ужимать аппендикс дальше без того, чтобы этот придаток не стал еще более вредным: если бы аппендикс уменьшился, то риск его засорения возрос бы. Вероятно, это преграда, которую эволюция поставила полному исчезновению аппендикса.

Наши тела изобилуют другими следами происхождения от приматов. Так, у нас есть рудиментарный хвост: копчик, или треугольный кончик позвоночника, который образовался из нескольких сросшихся позвонков, выступающих вниз, за пределы таза. Это все, что осталось от длинного хвоста наших предков, имеющего практическое применение (см. рис. 14). Копчик не утратил смысла (к нему крепятся некоторые важные мышцы), но давайте не будем забывать, что рудиментарность определяется не по отсутствию функциональности, а по тому, что орган перестал выполнять функцию, для которой изначально появился. Показательно, что у некоторых людей есть рудиментарная хвостовая мышца

(«разгибатель копчика»), идентичная той, которая обеспечивает движение хвоста у обезьян и других млекопитающих. Она крепится к копчику, но поскольку его кости двигаться не могут, то мышца бесполезна. Возможно, у вас она есть, а вы даже о ней не знаете.

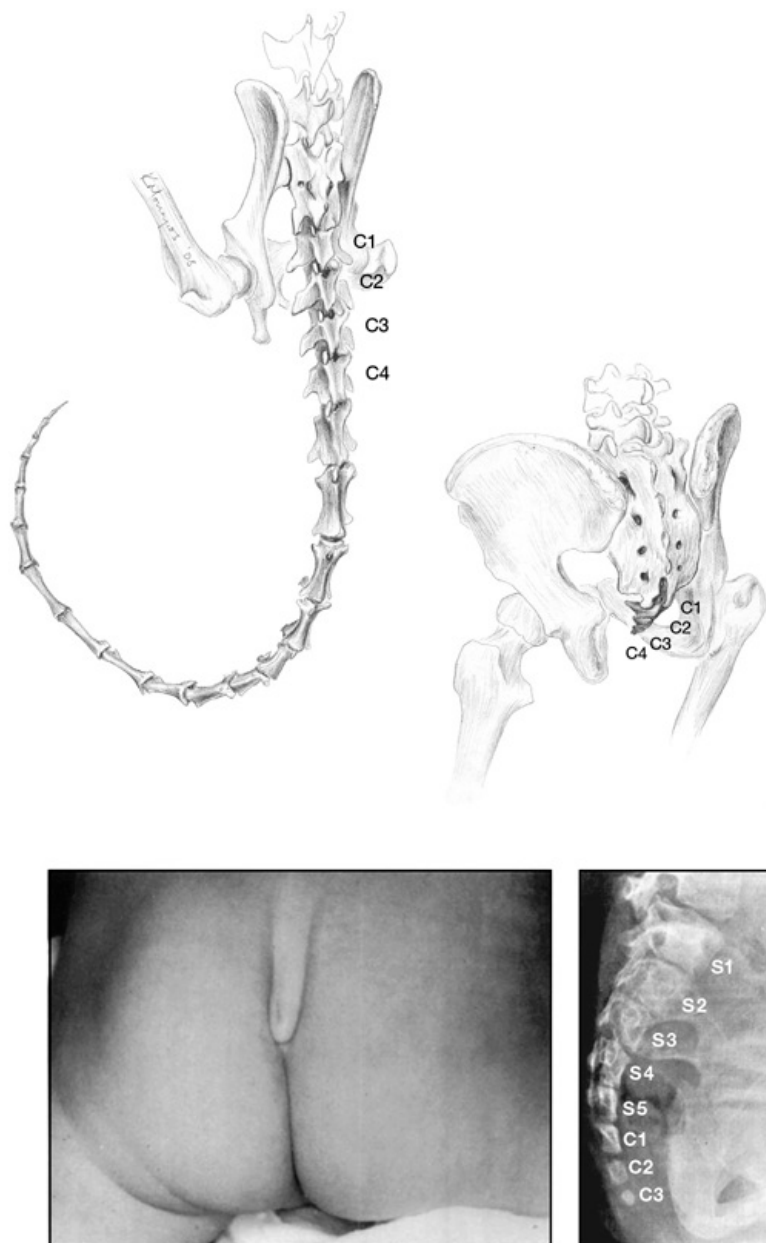


РИС. 14. Рудимент хвоста и атавистический хвост. Вверху слева: у наших сородичей, имеющих хвосты, например у лемуров вари (*Varecia variegates*), хвостовые позвонки не срослись воедино (первые четыре обозначены C1–C4). Но у человеческого «хвоста», или копчика (вверху справа), хвостовые позвонки срослись воедино и образуют рудиментарную структуру. Внизу: атавистический хвост трехлетнего ребенка из Израиля. Рентгеновский снимок хвоста (внизу справа) показывает, что три хвостовых позвонка гораздо крупнее нормы и более развиты, не срослись воедино и по размеру приближаются к крестцовым позвонкам (S1–S5). Впоследствии хвост удалили хирургическим путем

Другие рудиментарные мышцы проявляют себя зимой или когда смотришь фильм ужасов. Это *arrector pili* – крошечные мышцы, которые крепятся к основанию каждого волоска на теле. Когда они сокращаются, то волосы встают дыбом и у нас возникают мурашки, или «гусиная кожа», названная так потому, что напоминает кожу ошипанного гуся. Мурашки и мышцы, которые обеспечивают их появление, не несут никакой осмысленной функциональной нагрузки, по крайней мере у людей. Однако у других млекопитающих они поднимают шерсть дыбом для термоизоляции, если холодно и чтобы животное выглядело крупнее, если оно угрожает кому-то или кто-то угрожает ему. Вспомните, как распушается кошка, когда ей холодно или она сердится. Наши рудиментарные мурашки возникают точно из-за такого же стимула – холода или выброса адреналина.

И последний пример. Если вам по силам пошевелить ушами, вы демонстрируете доказательство эволюции. Под скальпом у человека имеются три мышцы, которые крепятся к ушам. У большинства людей они бесполезны, но кое-кто умеет использовать их, чтобы шевелить ушами. (Я один из таких счастливчиков и каждый год демонстрирую эту способность своим студентам на лекции по эволюции, чем привожу их в изумление и восторг.) Это те же мышцы, которыми другие животные, например лошади и кошки, пользуются, чтобы двигать ушами и определять источник звуков. У этих видов умение двигать ушами помогает заранее услышать хищников, определить местонахождение детенышей и т. п. Но у людей эти мышцы служат только для развлечения.

Перефразируя высказывание генетика Феодосия Добжанского, которое служит эпиграфом к этой главе, можно сказать, что рудиментарные черты обретают смысл, только если рассматривать их в свете эволюции. Изредка полезные, зачастую бесполезные, они именно таковы, как и следовало ожидать, если естественный отбор постепенно уничтожал бесполезные черты или преобразовывал их в новые, более адаптивные. Крошечные нефункциональные крылья, опасный аппендикс, незрячие глаза и нелепые ушные мышцы – все это кажется бессмысленным, если считать, что биологические виды были созданы актом божественного творения.

Атавизмы

Иногда у особи возникает аномалия, которая выглядит как возврат предкового признака. Например, жеребенок может родиться с лишними пальцами, а ребенок – с хвостом. Эти временами встречающиеся предковые черты называют атавизмами, от латинского *atavus*, т. е. «предок». От рудиментарных черт атавизмы отличаются тем, что возникают единично, в редких случаях, а не у всех особей.

Настоящий атавизм должен повторять предковый признак и достаточно точно. Атавизмы представляют собой не просто уродство. Например, человек, родившийся с лишней ногой, – это не атавизм, потому что ни у кого из наших предков не было пяти конечностей. Пожалуй, самый известный подлинный атавизм – ноги у кита. Вы уже знаете, что у некоторых видов китов сохраняются рудиментарные таз и кости задних конечностей, но примерно один кит из пятисот рождается с задними конечностями, которые выступают за стенки тела. Такие атавистические конечности бывают развиты в разной степени, и у многих из них отчетливо наличествуют основные кости конечностей сухопутных млекопитающих – бедренная, большая берцовая и малоберцовая кости. У некоторых даже имеются стопы и пальцы!

Почему подобные атавизмы вообще проявляются? Наиболее правдоподобна гипотеза, что они возникают из-за реэкспрессии (пробуждения) генов, которые у предков функционировали, но затем, когда потребность в них отпала, естественный отбор заставил их «замолчать». Однако эти дремлющие гены в отдельных случаях могут пробуждаться, если в развитии происходит какое-то нарушение. У китов до сих пор сохраняется какая-то генетическая информация, позволяющая отращивать ноги, правда, не совсем полноценные, потому что за миллионы лет, которые эта информация хранилась в геноме не востребованной, в ней успели накопиться ошибки, но тем не менее ноги. А сохранилась эта информация в геноме кита потому, что киты произошли от четвероногих предков. Редко встречающиеся атавистические ноги, как и неизменно наличествующий в организме кита таз, служат доказательством эволюции.

У современных лошадей, которые произошли от пятипалых предков меньшего размера, иногда встречаются такие же атавизмы. В палеонтологической летописи отражено то, как эти предки со временем утрачивали пальцы, так что у современных лошадей остался только один средний палец, собственно копыто. Как выяснилось, в начале развития у зародыша лошади три пальца, которые растут с одинаковой скоростью. Однако впоследствии средний палец принимается расти быстрее остальных двух, которые при рождении жеребенка сохраняются в виде тонких грифельных костей по бокам ноги. (Грифельные кости представляют собой подлинно рудиментарную черту. Если они воспаляются, то это серьезное заболевание под названием сплент (перифрит грифельных костей).) Однако в редких случаях эти дополнительные пальцы продолжают развиваться, пока не превращаются в настоящие лишние пальцы, снабженные маленькими копытцами. Зачастую эти лишние пальцы касаются земли, только когда лошадь бежит. Именно так и выглядела древняя лошадь *Merychippus* 15 млн лет назад. Когда-то лошади с такими анатомическими особенностями считались чем-то сверхъестественным: по слухам, на таких ездили Юлий Цезарь и Александр Македонский. Такие лошади и в самом деле чудо, чудо эволюции, потому что отчетливо демонстрируют генетическое родство между древними и современными лошадьми.

Самым поразительным из атавизмов, присущих нашему биологическому виду, является «копчиковый вырост», более известный как человеческий хвост. Как вы вскоре узнаете, на ранней стадии развития у человеческого эмбриона есть хвост порядочного размера, который начинает исчезать примерно на седьмой неделе развития зародыша (кости и ткани хвоста просто резорбируются, т. е. рассасываются). Однако в редких случаях он не исчезает полностью, и ребенок рождается с хвостом, растущим из основания позвоночника (см. рис. 14). Подобные хвосты бывают очень разными: некоторые «мягкие», бескостные, а в некоторых есть позвонки – те самые позвонки, которые в норме сливаются, образуя копчик.

Встречаются хвосты 2,5 см длиной, а иногда длина доходит до 30,5 см. Хвосты представляют собой не просто складку кожи, у них бывают волосы, мышцы, кровеносные сосуды и нервы. Они могут даже вилять! К счастью, эти неудобные отростки легко удалить хирургическим путем.

Что бы это могло значить, кроме того, что мы до сих пор храним в геноме информацию о том, как отращивать хвосты? В самом деле, недавние генетические исследования показали, что мы несем в точности те же гены, которые отвечают за выращивание хвостов у животных, наподобие мышей, но у человеческого эмбриона эти гены в норме не активны. Хвосты представляют собой подлинный атавизм.

Некоторые атавизмы можно получить в лаборатории. Самый удивительный из них – редкость из редкостей – это зубы у курицы. В 1980 г. Э. Коллар и К. Фишер из Университета штата Коннектикут скомбинировали ткани двух видов, наложив ткань, выстилающую внутренность рта эмбриона курицы, поверх ткани, взятой с челюсти эмбриона мыши. Удивительно, но в ткани курицы в конечном итоге появились образования, напоминающие зубы, у некоторых были отчетливые корни и коронки. Поскольку ткань мыши, составлявшая нижний слой, сама по себе не могла произвести зубы, Коллар и Фишер пришли к выводу, что молекулы, содержащиеся в тканях мыши, пробудили в тканях курицы спавшую программу по выращиванию зубов. Это означает, что у курицы есть все гены, необходимые для выращивания зубов, но ей не хватало толчка, который, судя по всему, и обеспечила ткань мыши. Двадцать лет спустя ученые разобрались в молекулярных основах этого процесса и показали, что предположение Коллара и Фишера было верным: у птиц и в самом деле есть генетические программы для выращивания зубов, но зубы у них не появляются, потому что им недостает одного ключевого белка, без которого это невозможно. Если добавить этот белок, то на клюве появляются структуры, напоминающие зубы. Вспомните, что птицы произошли от имеющих зубы рептилий. Они утратили эти зубы более 60 млн лет назад, но, очевидно, до сих пор сохранили часть генов, отвечающих за их рост, – генов, свидетельствующих о родстве с рептилиями.

«Мертвые» гены

Существование атавизмов и рудиментов показывает, что, когда тот или иной орган перестает использоваться или редуцируется, гены, которые отвечают за его развитие, не исчезают из генома мгновенно: эволюция прекращает их работу, инактивируя, но не выбрасывая их из ДНК. Опираясь на это, мы можем предсказать: следует ожидать, что в геномах многих видов обнаружатся молчащие, или «мертвые», гены, те, что когда-то выполняли некую функцию, но теперь неработоспособны или не экспрессируются. Иными словами, в геномах должны обнаружиться рудиментарные гены. И, наоборот, идея, согласно которой все виды были сотворены с нуля, утверждает, что подобных генов существовать не может, поскольку нет общих предков, у которых эти гены были активны.

Тридцать лет назад мы не могли проверить этот прогноз, потому что у нас не было способа прочесть код ДНК. Однако теперь секвенировать полный геном того или иного вида достаточно легко, и эту процедуру уже неоднократно проделывали применительно ко многим видам, включая человека. Мы узнали, что нормальная функция гена состоит в том, чтобы кодировать синтез белка, последовательность аминокислот которого определяется последовательностью нуклеотидных оснований ДНК. Это дает нам отличный инструмент для изучения эволюции. Когда известна последовательность нуклеотидов ДНК изучаемого гена, обычно сразу можно определить, нормально ли он экспрессируется, т. е. синтезируется ли функционально активный белок, или же это молчащий, неработающий ген. Например, мы можем установить, изменили ли мутации ген так, что нормально функционирующий белок больше не может вырабатываться, или же регуляторные участки гена, ответственные за его включение, инактивированы. Ген, который не функционирует, называется *псевдогеном*.

Эволюционный прогноз, предсказавший обнаружение псевдогенов, сбылся, причем неоднократно. Практически у каждого вида выявились «мертвые» гены, многие из которых все еще активны у родственных видов. Это позволяет утверждать, что те же гены были активны и у общего предка, а впоследствии у одних потомков оказались подавлены, а у других нет. Например, из 30 000 генов человеческого генома около двух тысяч оказались псевдогенами. Наш геном, как и геномы других биологических видов, воистину представляет собой обширное кладбище «мертвых» генов.

Самый известный из псевдогенов человека – *GLO*, названный так потому, что в ДНК других видов он кодирует фермент под названием L-гулонолактонооксидаза. Этот фермент участвует в выработке витамина С (аскорбиновой кислоты) из простого сахара глюкозы. Витамин С жизненно важен для нормального метаболизма, и практически все млекопитающие способны его вырабатывать, за исключением приматов, летучих лисиц и морских свинок. Эти виды получают витамин С напрямую из пищи, и при полноценном рационе потребность в витамине у них удовлетворяется. Если мы не получаем достаточно витамина С, то заболеваем: в прошлые века среди моряков, долгое время лишенных фруктов в длительных морских плаваниях, была распространена цинга. Причина, по которой приматы и некоторые другие млекопитающие не вырабатывают витамин С самостоятельно, заключается в том, что они в этом не нуждаются. Тем не менее при расшифровке генома видно, что у приматов до сих пор сохранилась большая часть генетической информации, необходимой для выработки этого витамина.

Оказывается, путь синтеза витамина С из глюкозы включает в себя последовательность из четырех этапов, причем каждый из них катализируется ферментом, являющимся продуктом отдельного гена. У приматов и морских свинок до сих пор имеются активные гены, необходимые для первых трех этапов, но последний этап, для которого необходим фермент L-гулонолактонооксидаза, у них не осуществляется: ген *GLO* инактивирован мутацией. Он превратился в псевдоген, который называется ψGLO (ψ – это греческая буква «пси», которая означает «псевдо-»). Ген ψGLO не работает, потому что в этом участке ДНК недостает одного нуклеотида. И это *тот же самый* нуклеотид, который отсутствует у других

приматов. Это показывает, что мутация, подавившая нашу способность самостоятельно вырабатывать витамин С, имела уже у предка всех приматов и была передана по наследству его потомкам. Инактивация гена *GLO* у морских свинок произошла независимо, поскольку в ней участвовали другие мутации. Весьма вероятно, что поскольку у крыланов, морских свинок и приматов в рационе много витамина С, то негативных последствий из-за блокировки его синтеза не было. Возможно, в этой мутации даже были свои преимущества, потому что она избавила от необходимости синтеза белка, вырабатывать который было слишком накладно для организма.

То, что у некоего вида есть «мертвый» ген, который у его сородичей активен, само по себе служит доказательством эволюции, но это еще не все. Если вы посмотрите на ген ψGLO у современных приматов, то обнаружите, что последовательность нуклеотидов этого гена у близких родственников имеет гораздо большее сходство, чем у более дальних. Например, ген ψGLO у человека и шимпанзе очень похожи между собой, однако существенно отличаются от ψGLO у орангутана, который состоит и с человеком, и с шимпанзе в более отдаленном родстве. Более того, ген ψGLO у морских свинок очень отличается от всех приматов.

Эти факты могут объяснить только эволюция и наличие общего происхождения. Все млекопитающие унаследовали функционально активный вариант гена *GLO*. Около 40 млн лет назад у общего предка всех приматов ген, потребность в котором отпала, был инактивирован мутацией. Приматы унаследовали эту мутацию. После того как *GLO* превратился в псевдоген, в нем продолжался мутационный процесс. Со временем мутации накапливались (такие мутации безвредны, если происходят в молчащих генах) и передавались по наследству видам-потомкам. Так как гены меняются постепенно и изменения накапливаются, а у близкородственных видов общий предок менее далеко отстоит во времени, чем у видов, находящихся в дальнем родстве, то это приводит к тому, что у более близких родичей последовательность нуклеотидов ДНК схожа в большей степени, чем у дальних. Процесс этот происходит в любом случае, «мертв» ген или нет. Ген ψGLO у морских свинок так сильно отличается от приматов потому, что в ветви, которая успела отделиться уже давно, он перестал работать совершенно независимо. Ген ψGLO не уникален, не только он подвержен таким закономерностям, псевдогенов существует множество.

Однако если вы верите, что приматы и морские свинки были созданы нарочно, то все эти факты кажутся бессмыслицей. Зачем бы божественному творцу создавать у всех этих видов путь синтеза витамина С, а затем отключать его? Не легче ли было бы просто убрать весь этот путь с самого начала? Почему у всех приматов существует одна и та же инактивирующая ген мутация, а у морских свинок – совсем другая? Почему «мертвые» гены того или иного вида имеют ту же последовательность нуклеотидов, что и у предковых видов, причем предсказанную заранее, исходя из уже известного происхождения этого вида? И прежде всего зачем людям тысячи псевдогенов?

У нас также есть «мертвые» гены, которые перешли к нам от других видов, а именно от вирусов. Некоторые из них, так называемые ретровирусы, способны создавать копии своего генома и интегрировать их в ДНК того вида, который они заражают. Например, ВИЧ – это ретровирус. Если вирус заражает клетки, из которых развиваются сперматозоиды и яйцеклетки, то он может быть передан последующим поколениям. Геном человека содержит сотни таких вирусов (их называют эндогенными ретровирусами), и почти все они были обезврежены мутациями. Это следы древних инфекций. Однако остатки наследственного материала некоторых ретровирусов в хромосомах человека и шимпанзе занимают совершенно одинаковое положение. Эти вирусы наверняка инфицировали нашего общего предка и были переданы обоим видам-потомкам. Поскольку крайне маловероятно, что у двух разных видов вирус может интегрироваться в хромосомы в точности на одно и то же место, этот факт служит весомым доказательством общего происхождения человека и шимпанзе.

Еще одна занимательная история о «мертвых» генах вплотную связана с нашим

обонянием, точнее, нашим слабым обонянием, потому что на фоне остальных наземных млекопитающих человек определенно обладает очень слабым нюхом. Тем не менее мы все равно способны распознать более десяти тысяч различных запахов. Как нам удастся достичь таких высот? До недавнего времени это было полной загадкой. Но ответ лежит в нашей ДНК – в многочисленных генах, кодирующих обонятельные рецепторные белки.

Загадку обонятельных рецепторов раскрыли Линда Бак и Ричард Эксел, которые в 2004 г. удостоились за это достижение Нобелевской премии. Давайте посмотрим, как устроены гены обонятельных рецепторов у обладательницы острейшего чутья – у мыши.

В жизни мышей обоняние имеет огромное значение, оно не только помогает им отыскивать пищу и избегать хищников, но и различать феромоны друг друга. Сенсорный мир мышей существенно отличается от нашего, в котором основная роль отведена зрению. Для мышей обоняние гораздо важнее зрения, у них около тысячи активных генов обонятельных рецепторов. Все эти гены произошли от единственного предкового гена, который возник миллионы лет назад и воспроизводился множество раз, поэтому каждый ген слегка отличается от другого. Каждый такой ген вырабатывает свой обонятельный рецепторный белок, который распознает свою, отдельную молекулу, переносимую по воздуху. Каждый обонятельный рецепторный белок экспрессируется в определенном типе рецепторных клеток слизистой оболочки носа. Разные запахи содержат разные комбинации молекул, и каждая комбинация стимулирует свою группу клеток. Затем клетки посылают сигналы в мозг, который группирует и расшифровывает различные сигналы. Таким образом мыши отличают запах кошек от запаха сыра. Интегрируя сигналы от разных рецепторов, мыши (и другие млекопитающие) способны различить гораздо больше запахов, чем у них имеется генов обонятельных рецепторов.

Способность распознавать различные запахи очень полезна: она позволяет отличить сородича от чужого, найти партнера для спаривания, отыскать пищу, распознать хищника, понять, кто вторгся на твою территорию. Она дает огромные плюсы для выживания. Как их поощряет естественный отбор? Во-первых, предковый ген дублируется несколько раз. Такое дублирование случайно происходит время от времени в ходе деления клеток. Постепенно воспроизведенные копии приобрели отличия, причем каждый рецепторный белок, кодируемый отдельным геном, связывался с молекулой определенного запаха. Таким образом для каждого из сотни генов обонятельных рецепторов развился отдельный тип клетки. В то же время мозг перенастроился и научился комбинировать сигналы от различных типов клеток, чтобы создавать ощущения разных запахов. Это поистине потрясающее достижение эволюции, обусловленное лишь тем значением, которое острое обоняние и распознавание запахов имеют для выживания!

Нам, людям, в смысле обоняния до мышей далеко. Одна из причин этого – то, что экспрессированных генов обонятельных рецепторов у нас гораздо меньше, всего около четырехсот. Однако общее число этих генов у нас все равно около 800, что составляет примерно 3 % всего генома. Половина этих генов представляет собой псевдогены, необратимо инактивированные мутациями. То же самое касается и большинства остальных приматов. Почему это произошло? Возможно, потому, что мы, приматы, ведем дневной образ жизни и, следовательно, больше полагаемся на зрение, а не на обоняние, и поэтому нам не нужно распознавать такое великое множество запахов. «Ненужные» гены в конечном итоге были выведены из строя мутациями. Как и следовало ожидать, у приматов с их цветовым зрением и способностью лучше распознавать окружающую среду, «мертвых» генов обонятельных рецепторов больше.

Если вы рассмотрите нуклеотидные последовательности генов обонятельных рецепторов человека, как активных, так и инактивированных, то увидите, что они очень схожи с таковыми же у приматов, менее похожи на гены «примитивных» млекопитающих, таких как утконос, и еще менее похожи на гены дальних

сородичей, таких как рептилии. Откуда бы у «мертвых» генов такое сходство, если не благодаря эволюции? То, что в нашем геноме таится такое множество неактивных генов, служит еще одним доказательством эволюции: мы несем этот генетический багаж, потому что когда-то он был нужен нашим дальним предкам, которым для выживания требовалось острое чутье.

Однако самый поразительный пример эволюции (или инволюции) генов обонятельных рецепторов представляет собой дельфин. Дельфинам не требуется различать запахи в воздухе, поскольку все самое важное они делают под водой, и у них совершенно иной набор генов, отвечающих за распознавание растворенных в воде веществ. Как и следовало ожидать, гены обонятельных рецепторов у дельфинов инактивированы. По сути дела, у них неактивны *80 % таких генов*. Сотни этих молчащих генов до сих пор присутствуют в геноме дельфина как немое доказательство эволюции. Если посмотреть на ДНК «мертвых» генов дельфина, обнаружится, что они очень похожи на ДНК наземных млекопитающих. Это сходство получает объяснение, если вспомнить, что дельфины произошли от наземных млекопитающих, чьи гены обонятельных рецепторов стали не нужны, когда их владельцы переселились в воду. Если же верить, что дельфины были созданы божественным верховным творцом, это сходство теряет всякий смысл.

Рудиментарные гены могут быть неразрывно связаны с рудиментарными органами. Мы, млекопитающие, произошли от предков-рептилий, которые откладывали яйца. За исключением однопроходных млекопитающих (т. е. отряда, в который входят австралийская ехидна и утконос), млекопитающие перестали быть яйцекладущими, и питание зародыша происходит напрямую через плаценту, а не с помощью запаса желтка. У млекопитающих есть три гена, которые у рептилий и птиц кодируют синтез высококалорийного белка вителлогенина, который наполняет желточный мешок зародыша. Но практически у всех млекопитающих эти гены неактивны и полностью инактивированы мутациями. Лишь у представителей отряда однопроходных все еще вырабатывается вителлогенин, и поэтому у них есть один активный и два «мертвых» гена. Более того, у млекопитающих, подобных нам, все еще образуется желточный мешок, но он носит рудиментарный характер, лишен желтка и представляет собой большой, наполненный жидкостью пузырь, прикрепленный к кишечнику зародыша (рис. 15). На второй месяц беременности желточный мешок отсоединяется от зародыша и редуцируется.

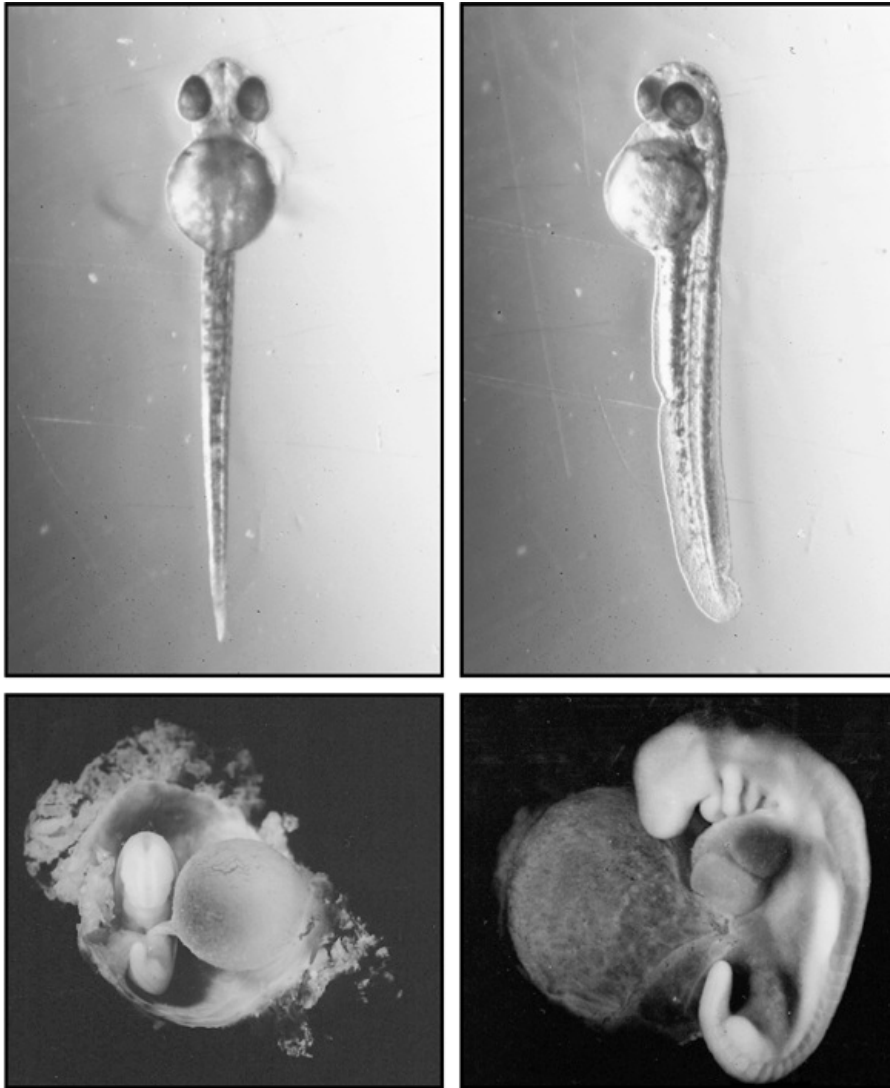


РИС. 15. Нормальный и рудиментарный желточные мешки. Вверху: полноценно развитый желточный мешок полосатого данио, *Danio rerio*, извлеченного из защитной оболочки яйца за два дня до вылупления. Внизу: пустой рудиментарный желточный мешок эмбриона человека примерно на четвертой неделе развития. У эмбриона человека на фото справа видны жаберные дуги, зачатки задних конечностей и «хвост» под задними конечностями

Австралийский утконос во многих отношениях необычен: у него клюв, как у утки, толстый хвост, на задних ногах самцов ядовитые роговые шпоры, а самки утконоса откладывают яйца. Если уж поискать неразумно сотворенное существо – или, возможно, созданное верховным творцом для забавы, то этой диковиной точно будет утконос. Однако у утконоса есть еще одна удивительная особенность: у него отсутствует желудок. В отличие от абсолютного большинства млекопитающих, у которых желудок представляет собой мешок, где вырабатываются пищеварительные ферменты, расщепляющие пищу, у утконоса желудок похож на небольшое расширение пищевода в том месте, где он соединяется с кишечником. В желудке утконоса полностью отсутствуют железы, вырабатывающие у других позвоночных пищеварительные ферменты. Не беремся утверждать, почему эволюция лишила утконоса желудка – возможно, причиной тому его рацион из мягких насекомых, которые не нуждаются в значительной обработке, – однако мы знаем, что произошел утконос от предка, у которого желудок был. Один из доводов – то, что геном утконоса содержит два псевдогена, кодирующих

пищеварительные ферменты. Поскольку надобность в них отпала, они инактивировались мутацией, но все еще служат доказательством эволюции у этого диковинного животного.

Палимпсесты у зародышей

Задолго до эпохи Дарвина биологи увлеченно изучали и эмбриологию (эмбриональное развитие животных) и сравнительную анатомию (сходство и различие в строении разных животных). Их исследования помогли выявить множество особенностей, объяснения которым на тот момент не находилось. Например, удалось установить, что все позвоночные на начальной стадии развития выглядят похоже и напоминают зародыш рыбы. В дальнейшем у каждого вида развитие идет своим путем, но путем очень причудливым. Некоторые кровеносные сосуды, нервы и органы, на начальной стадии развития присутствующие у эмбрионов всех видов, впоследствии у некоторых из них внезапно исчезают, в то время как у других они странным образом изменяют форму или перемещаются. В конечном итоге эти линии развития приводят к тому, что взрослые рыбы, рептилии, птицы, амфибии и млекопитающие расходятся друг от друга очень далеко. Тем не менее в начальный период эмбрионального развития они очень похожи между собой. Дарвин рассказывает, как великий немецкий эмбриолог Карл Эрнст фон Бэр был сбит с толку сходством зародышей позвоночных. Фон Бэр написал Дарвину:

В моем распоряжении имеются два маленьких заспиртованных эмбриона, и я забыл наклеить этикетки на склянки, так что теперь совершенно не могу определить, к какому классу они принадлежат. Возможно, это ящерицы, или маленькие птицы, или очень молодые млекопитающие; сходство в особенностях формирования головы и туловища у них полнейшее.

Опять-таки именно Дарвин увязал между собой разрозненные эмбриологические данные, которые заполняли научные пособия тех времен, и показал, что загадочные особенности развития зародышей, будучи рассмотрены в свете объединяющей идеи эволюции, обретают смысл:

Интерес эмбриологии значительно повысится, если мы будем видеть в зародыше более или менее затененный образ общего прародителя, во взрослом или личиночном его состоянии, всех членов одного и того же большого класса.

Давайте начнем с того самого рыбообразного зародыша, одинакового у всех позвоночных, – зародыша, лишённого конечностей, но наделённого хвостом наподобие рыбьего. Вероятно, самая примечательная черта, роднящая его с рыбой, – это 5–7 валикообразных возвышений, расположенных в ряд и отделённых друг от друга бороздками, по бокам зародыша рядом с той частью тела, которая впоследствии станет его головой. Эти валикообразные возвышения называются жаберными или висцеральными дугами, а мы будем для краткости называть их просто «дугами» (рис. 16). Каждая такая дуга содержит ткани, которые позже превращаются в нервы, кровеносные сосуды, мышцы, кости и хрящи. У зародышей рыб, в том числе акул, по мере развития первая дуга превращается в челюсть, а все остальные – в жабры: бороздки между валиками прорываются и превращаются в жаберные щели, в жаберных дугах развиваются нервы, контролирующие движение жабр, кровеносные сосуды, помогающие извлекать кислород из воды, и костяная или хрящевая решетка, которая поддерживает структуру с жабрами. Следовательно, у рыб жабры из эмбриональных жаберных дуг развиваются более-менее напрямую: эти зародышевые органы просто увеличиваются, не особенно изменяясь, и формируют дыхательный аппарат взрослой особи.

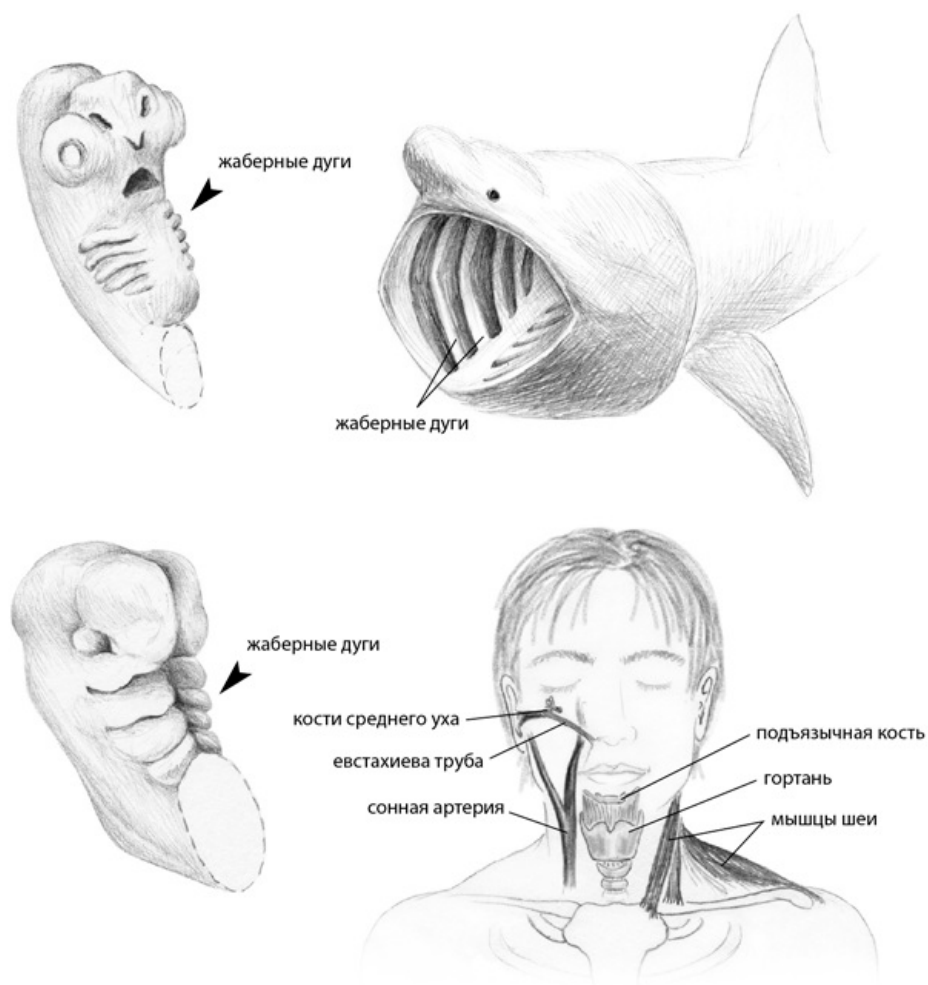


РИС. 16. Жаберные дуги зародыша акулы (слева сверху) и человеческого эмбриона (слева внизу). У акул и рыб (таких как гигантская акула *Cetorhinus maximus*, см. справа сверху) дуги развиваются непосредственно в дыхательный аппарат взрослой особи, в то время как у человека и других млекопитающих (справа внизу) они превращаются в другие структуры головы и верхней части тела

Однако у других позвоночных, у которых во взрослом состоянии жабр нет, эти дуги превращаются в совершенно иные структуры – те, из которых состоит голова. Например, у млекопитающих дуги преобразуются в три крошечные кости среднего уха, в евстахиеву трубу, в сонную артерию, миндалевидные железы, гортань и черепно-мозговые нервы. В отдельных случаях у эмбрионов человека жаберная щель не зарастает, поэтому младенец появляется на свет с кистой на шее. Эту патологию – атавизм, доставшийся в наследство от рыбообразных предков, – легко исправить хирургическим путем.

Особенно причудливые превращения происходят в течение развития эмбриона с нашими кровеносными сосудами. У рыб (акул в том числе) сердечно-сосудистая система эмбриона без особых изменений развивается в кровеносную систему взрослого животного. Но у других позвоночных в процессе развития сосуды перемещаются, а некоторые исчезают. У млекопитающих, подобных нам, от изначальных шести сосудов остается лишь три. Но самое любопытное, что эмбрион в процессе индивидуального развития повторяет стадии зародышевого развития предковых форм. Система кровообращения, поначалу напоминающая таковую у рыб, превращается в кровеносную систему эмбрионов амфибий. У амфибий

эмбриональные сосуды напрямую превращаются в кровеносную систему взрослой особи, но у нас они продолжают меняться и преобразуются в кровеносную систему, напоминающую систему зародышей рептилий. Эмбриональная система кровообращения у рептилий непосредственно развивается во взрослую. Но у человека эмбриональная система продолжает меняться и после нескольких превращений становится настоящей кровеносной системой млекопитающего, укомплектованной сонной, легочной и спинной артериями (рис. 17).

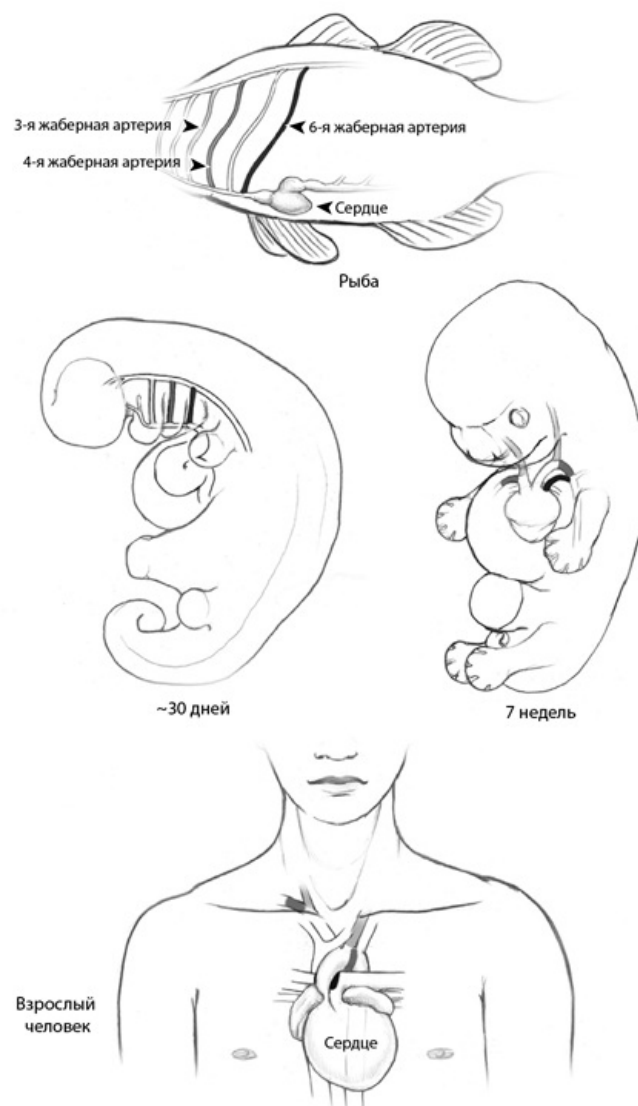


РИС. 17. Кровеносные сосуды эмбриона человека в начале развития напоминают сосуды зародыша рыбы: верхний и нижний соединены с каждой стороны параллельными сосудами (дугами аорты). У рыб эти боковые сосуды несут кровь в жабры и от них. У зародыша рыб и у взрослой особи шесть пар таких дуг; это базовый план строения, который появляется в начале развития у всех позвоночных. У человеческого эмбриона первая, вторая и пятая дуги ненадолго формируются на ранней стадии развития, но к возрасту четырех недель уже исчезают, когда формируются третья, четвертая и шестая дуги (на рисунке они закрашены разными оттенками серого). К семи неделям эмбриональные дуги перестраиваются и приобретают отчетливое сходство с эмбриональными сосудами рептилий. На заключительной, взрослой стадии сосуды изменяются еще больше, некоторые исчезают, а некоторые превращаются в другие сосуды. У зародыша рыб дуги аорты подобных трансформаций не проходят

Такие сценарии развития вызывают немало вопросов. Во-первых, почему разные позвоночные, которые в конечном итоге развиваются в очень несхожие существа, все, как один, начинают свое развитие с эмбриона, напоминающего рыбу? Почему голова и лицевой отдел черепа млекопитающих формируются из тех же эмбриональных структур, которые у рыбы становятся жабрами? Почему кровеносная система у зародышей позвоночных проходит целую череду резких превращений и изменений? Почему зародыши человека или ящерицы не начинают

развиваться с уже сложившейся, готовой кровеносной системой, вместо того чтобы многократно преобразовывать систему, которая развилась раньше? И почему процесс нашего развития повторяет те стадии, которые проходили наши предки? (От рыбы к амфибии и далее к рептилии и от нее к млекопитающему.) Как указал в «Происхождении видов» Дарвин, это происходит не потому, что человеческий эмбрион в ходе развития сталкивается с разной внешней средой, к которой он должен успешно приспособиться, – сначала средой, характерной для рыб, затем для рептилий и т. д.:

Особенности организации, по которым зародыши весьма различных животных одного и того же класса сходны между собой, часто не имеют прямого отношения к условиям существования. Мы не можем, например, думать, что образование у зародышей позвоночных животных артериальных дуг в области жаберных щелей связано со сходными условиями и у млекопитающего, питающегося в утробе матери, и в яйце птицы, насиживаемом в гнезде, и в икре лягушки в воде.

Краткое повторение стадий эволюционного развития (так называемая рекапитуляция) можно увидеть, наблюдая за превращениями, которые проходят наши органы, например почки. В ходе развития у зародыша человека, по сути, последовательно формируются три разных типа почек, и первые два исчезают до того, как появляется третий – окончательный. Эти первичные эмбриональные почки похожи на те, которыми снабжены виды, появившиеся, согласно палеонтологической летописи, раньше нас: бесчелюстные и рептилии. Что это означает?

Самый поверхностный ответ может звучать так: каждое позвоночное в своем развитии проходит ряд этапов, и эти этапы повторяют стадии эволюции наших предков. Поэтому, например, в начале развития ящерица напоминает зародыш рыбы, затем, несколько позже, зародыш амфибии и, наконец, становится зародышем рептилии. Млекопитающие проходят через те же этапы, но в финале добавляется последний этап – зародыша млекопитающего.

Ответ правильный, но он лишь вызывает еще больше вопросов. Почему развитие проходит именно по такому пути? Почему естественный отбор не уничтожил стадию «зародыша рыбы» в развитии эмбриона человека, ведь сочетание хвоста, жаберных дуг и кровеносной системы рыб человеческому зародышу вроде бы не требуется? Почему наше развитие не начинается просто с крошечных человечков (именно так, по представлениям биологов XVII в., выглядел зародыш человека), которые растут и растут, пока не родятся на свет? Зачем все эти превращения, трансформации и перестановки?

Возможный ответ – при этом неплохой – заключается в признании того, что по мере развития одного биологического вида из другого потомок наследует программу развития своего предка, т. е. все те гены, которые кодируют предковые органы. Развитие – процесс очень консервативный. Многим органам, которые по ходу развития формируются позже, требуются биохимические «сигналы» от органов, появляющихся раньше. Например, если вы попытаетесь подправить кровеносную систему и переделать ее в самом начале развития, то, возможно, результатом станут разнообразные побочные эффекты, которые затронут формирование других структур, скажем костей, которые нельзя менять. Чтобы избежать этих пагубных эффектов, обычно проще внести менее радикальные изменения в уже существующий основной план развития. Безопаснее и лучше, чтобы развитие тех органов эмбриона, которые в ходе эволюции появились позже, было запрограммировано на более позднюю стадию.

Этот принцип «добавления нового к старому» также объясняет, почему последовательность стадий развития зародыша копирует последовательность возникновения видов в процессе эволюции. По мере того как одна группа развивается из другой, она зачастую добавляет свою программу развития к более старой программе.

Приняв во внимание этот принцип, Эрнст Геккель, немецкий эволюционист,

современник Дарвина, в 1886 г. сформулировал знаменитый биогенетический закон, который наиболее известен в виде формулировки «Каждое живое существо в своем индивидуальном развитии (онтогенез) повторяет в известной степени формы, пройденные его предками или его видом (филогенез)». Это означает, что развитие любого организма попросту проигрывает заново всю его эволюционную историю. Однако эта идея верна только частично. Стадии развития зародыша похожи не на взрослые формы его предков, как утверждал Геккель, но на формы *зародышей* его предков. Например, человеческий эмбрион никогда, ни на одной стадии не напоминает взрослых рыб или рептилий, но в некоторых аспектах напоминает их зародыши. Кроме того, рекапитуляция проявляется не всегда обязательно и не всегда точно: не каждая черта, присущая зародышу предка, обнаруживается у его потомков, и не все стадии развития повторяются в строгом эволюционном порядке. Кроме того, некоторые виды, например растения, утратили в своем развитии почти все признаки предковых форм. Закон Геккеля был признан сомнительным не только потому, что он, строго говоря, оказался неверен, но и потому, что Геккеля обвинили в том (во многом незаслуженно), что он фальсифицировал рисунки, изображавшие ранние стадии развития эмбрионов, чтобы придать им больше сходства между собой, чем было на самом деле. Однако не стоит вместе с водой выплескивать и ребенка. Эмбрионы все-таки демонстрируют некую форму рекапитуляции: черты, которые в процессе эволюции появились раньше, у эмбрионов зачастую появляются на более ранних стадиях развития. Этому есть разумное объяснение только при условии, что у биологических видов имеется эволюционная история.

Мы не вполне уверены, почему некоторые виды в ходе развития сохраняют такую значительную часть собственной эволюционной истории. Принцип «добавления нового к старому» – не более чем гипотеза, которая могла бы объяснить факты эмбриологии. Сложно доказать, что для программы развития было бы легче эволюционировать одним путем, а не другим. Однако эмбриологические факты остаются фактами, и они обретают смысл, только будучи рассмотрены в свете эволюции. Все позвоночные в начале своего развития выглядят как зародыш рыбы, потому что мы все произошли от рыбообразного предка, у которого был рыбообразный зародыш. Мы наблюдаем странные преобразования и исчезновения органов, кровеносных сосудов и жаберных щелей, потому что у потомков все еще сохраняются гены и программы развития предков. Последовательность изменений в ходе развития зародыша также объяснима: на одной стадии развития кровеносная система млекопитающих такая же, как у рептилий; однако обратной ситуации мы не наблюдаем. Почему? Потому что млекопитающие произошли от древних рептилий, а не наоборот.

Во времена работы над «Происхождением видов» Дарвин считал эмбриологию своим самым веским доказательством эволюции. В наши дни он, возможно, присвоил бы это звание палеонтологической летописи. Так или иначе, наука продолжает накапливать любопытные факты из области эмбриологии, подтверждающие эволюцию. Так, у зародышей китов и дельфинов формируются зачатки конечностей – тканевые выросты, которые у четвероногих млекопитающих превращаются в задние ноги. Но у морских млекопитающих они, сформировавшись, вскоре резорбируются. На рис. 18 показана эта регрессия в развитии зародыша протодельфина. Усатые киты лишены зубов, но поскольку у их предков-китов зубы были, то у зародышей усатых китов зубы развиваются и исчезают до рождения.

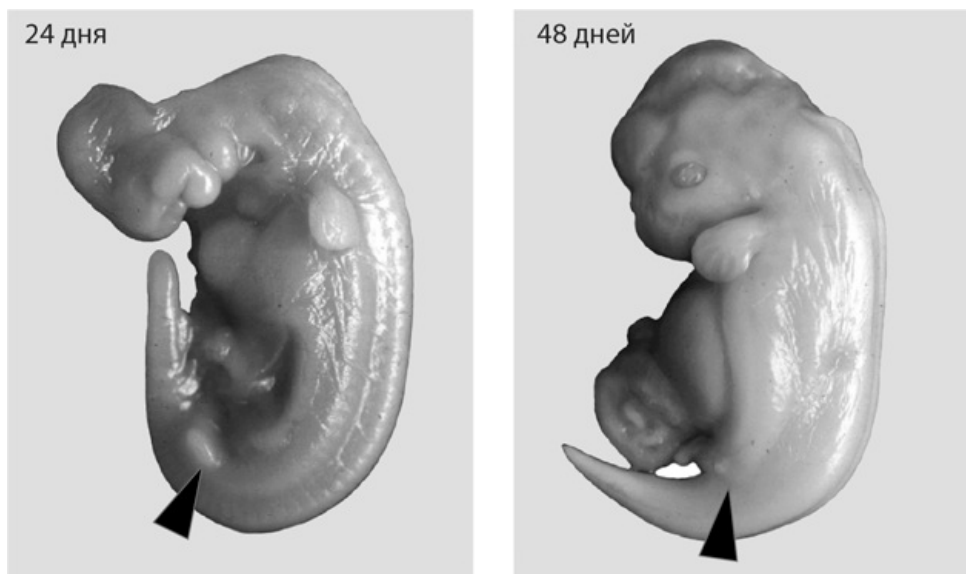


РИС. 18. Исчезновение зачаточных ног у зародыша узкорылого продельфина (*Stenella attenuata*) — эволюционного «пережитка», доставшегося от четвероногого предка. У двадцатичетырехдневного зародыша (слева) зачатки задних конечностей хорошо развиты (на рисунке указано стрелкой) и лишь немногим меньше зачатков передних конечностей. К сорок восьмому дню развития (справа) зачатки задних конечностей почти полностью исчезают, в то время как зачатки передних продолжают развиваться в будущие лапы

Один из моих любимейших примеров доказательства эволюции – это покрытый шерстью человеческий эмбрион. Человек как биологический вид широко известен под названием голый обезьяны, потому что, в отличие от других приматов, у нас нет плотного волосяного покрова. Однако на самом деле такой покров у нас появляется, но лишь ненадолго в ходе внутриутробного развития. Примерно на шестом месяце после зачатия мы полностью покрываемся тонкими пушковыми волосами, которые называются лануго, или первичным волосяным покровом. Как правило, зародыш расстаётся с этим покровом примерно за месяц до рождения, когда лануго сменяется более редкими волосками, с которыми ребенок и появляется на свет. (Однако недоношенные младенцы иногда рождаются с первичным волосяным покровом, который вскоре выпадает.) Вообще говоря, человеческому зародышу временный волосяной покров совсем ни к чему. В конце концов, в матке царит приятная температура 37 °С. Первичный волосяной покров можно объяснить лишь тем, что это наследие, доставшееся нам от наших предков-приматов: у зародышей обезьян на той же стадии развития тоже появляется такой пух, однако у них он не выпадает, а сохраняется и превращается в шерсть. А у зародышей китов, как и у человека, тоже есть первичный волосяной покров – напоминание о тех временах, когда их предки жили на суше.

Последний пример из сферы развития человека увлекает нас в область догадок, но очень уж он хорош, поэтому опустить его было бы жалко. Речь о так называемом хватательном рефлексе новорожденных. Если у вас есть такая возможность, попробуйте легонько погладить ладонь младенца. Тот проявит хватательный рефлекс, сомкнув пальцы в кулак вокруг вашего пальца. Вообще-то хватка у младенца настолько крепкая, что, удерживаясь двумя руками, он способен несколько минут провисеть на палке от швабры. (Внимание! Не вздумайте проводить подобный эксперимент!) Хватательный рефлекс, который исчезает через несколько месяцев после рождения, возможно, представляет собой пример атавистического поведения. Такой же рефлекс проявляют новорожденные обезьяны, но у них он сохраняется на протяжении всего младенчества, позволяя детенышу цепляться за шерсть матери, пока та носит его на себе.

Печально, что, хотя эмбриология представляет собой настоящий клад доказательств эволюции, но учебники по эмбриологии зачастую не уделяют внимания этому аспекту. Например, мне случалось встречать акушеров, которые знали о первичном волосяном покрове все, кроме того, почему он вообще появляется.

Как и в развитии зародыша, в строении животных найдется немало особенностей, которые можно объяснить только в свете эволюции. Это случаи так называемых несовершенных конструкций.

Несовершенные конструкции

В довольно заурядном фильме «Человек года» (Man of the Year) комик Робин Уильямс играет ведущего телепередачи, который благодаря цепочке странных обстоятельств становится президентом Соединенных Штатов. Во время предвыборных дебатов героя Уильямса спрашивают, что он думает о креационистской теории разумного замысла. Он отвечает: «Раз говорят о разумном замысле – надо преподавать идею разумного замысла. Посмотрите только на человеческое тело: разве оно сконструировано разумно? Это же надо: завод по переработке отходов расположен рядом с зоной отдыха!»

Хорошо подмечено. Хотя может показаться, будто организмы сконструированы так, чтобы вписываться в среду обитания, но не будем тешить себя мыслью, что эта конструкция совершенна. Каждый биологический вид по-своему несовершенен. У киви есть бесполезные крылья, у китов – рудиментарный таз, а наш аппендикс вообще коварный орган.

Под несовершенной конструкцией я подразумеваю идею, что, если бы все организмы были созданы с нуля неким творцом (строительным биологическим материалом которому послужили нервы, мышцы, кости и т. п.), то они не страдали бы такими несовершенствами. Безупречная конструкция была бы верным знаком того, что организмы создал опытный и разумный творец. *Несовершенные* конструкции – признак эволюции; по сути, именно их мы и *ожидаем* от эволюции. Мы уже знаем, что эволюция не начинается с нуля. Новые части возникают из старых и должны слаженно функционировать вместе с теми, которые уже успели появиться в ходе эволюции. Поэтому следует рассчитывать на компромиссы: некоторые органы работают неплохо, но не так хорошо, как могли бы, а некоторые, подобно крыльям киви, не работают вообще, но все это «пережитки» эволюции.

Хорошим примером несовершенной конструкции служит камбала, популярность которой в кулинарии (например, дуврская камбала) отчасти объясняется ее плоской формой, ведь такую рыбу легче разделывать. Вообще же существует около пятисот видов плоских рыб: палтус, тюрбо, камбала и их сородичи, все они относятся к отряду камбалообразных. Латинское название отряда, *Pleuronectiformes*, означает «плавающие на боку», и это описание – ключ к неудачной конструкции плоских рыб. Они появляются на свет как обычные рыбы, плавающие вертикально, и глаза у них расположены по бокам тела, имеющего форму блинчика. Но через месяц после рождения с рыбами происходит нечто странное: один глаз начинает перемещаться вверх. Он двигается по черепу, пока не доберется до второго глаза, и получается рыба, у которой оба глаза расположены на одном боку, левом или правом, в зависимости от конкретного биологического вида. Череп также меняет форму, способствуя этому перемещению, кроме того, меняются окрас и плавники. Благодаря всему этому рыба опирается на тот бок, который остался без глаза, чтобы оба глаза были сверху. Она превращается в плоского замаскированного обитателя морского дна, который охотится на других рыб. Если нужно плавать, рыба плавает на боку. Камбалообразные считаются самыми асимметричными из позвоночных в мире; в следующий раз, когда пойдете покупать рыбу, рассмотрите одну из представительниц этого отряда.

Если бы вы захотели разработать конструкцию камбалы с нуля, вы бы действовали совсем иначе. Вы разработали бы рыбу наподобие ската, который имеет плоскую форму с самого рождения и лежит на животе. Вы не стали бы тратить силы на то, чтобы создать рыбу, которой придется приобретать плоскую форму после рождения, лежа на боку, перемещая собственный глаз по черепу на другой бок и деформируя череп. Камбалообразные сконструированы неудачно. Однако такая несовершенная конструкция объясняется их эволюционным наследием. Из родословного древа камбалообразных нам известно, что камбалы, как и все представители отряда, развились из «нормальных» симметричных рыб. Несомненно, они обнаружили некие преимущества в том, чтобы опираться на один бок и обитать на морском дне, прячась и от хищников, и от добычи. Конечно, это

породило проблему: нижний глаз, обращенный ко дну, стал бы бесполезным и уязвимым. Чтобы это исправить, естественный отбор пошел мучительным, но доступным путем: переместил глаз рыбы и деформировал ее тело.

Один из образчиков худшей природной конструкции – это возвратный гортанный нерв у млекопитающих. Он идет от мозга к гортани и помогает нам говорить и глотать. Любопытно то, что он гораздо длиннее, чем нужно. Вместо того чтобы идти от мозга в гортань напрямую, а в организме человека это расстояние в тридцать с половиной сантиметров, нерв следует окружным путем: спускается в грудную клетку, заворачивается вокруг аорты и артериальной связки, и только затем возвращается обратно вверх (поэтому он и возвратный) к гортани (рис. 19). В итоге длина возвратного гортанного нерва составляет 90 см. У жирафов нерв проходит таким же маршрутом, но при этом спускается сверху донизу длинной шеи жирафа и затем возвращается вверх: расстояние получается на 4,5 м длиннее, чем если бы нерв шел прямым путем! Когда я впервые услышал об этом странном нерве, то с трудом поверил. Желая лично убедиться, что это правда, я собрался с духом, отправился в анатомический театр и впервые увидел вскрытие. Любезный профессор показал мне возвратный гортанный нерв и проследил его маршрут, проводя карандашом вниз к грудной клетке и обратно по шее.

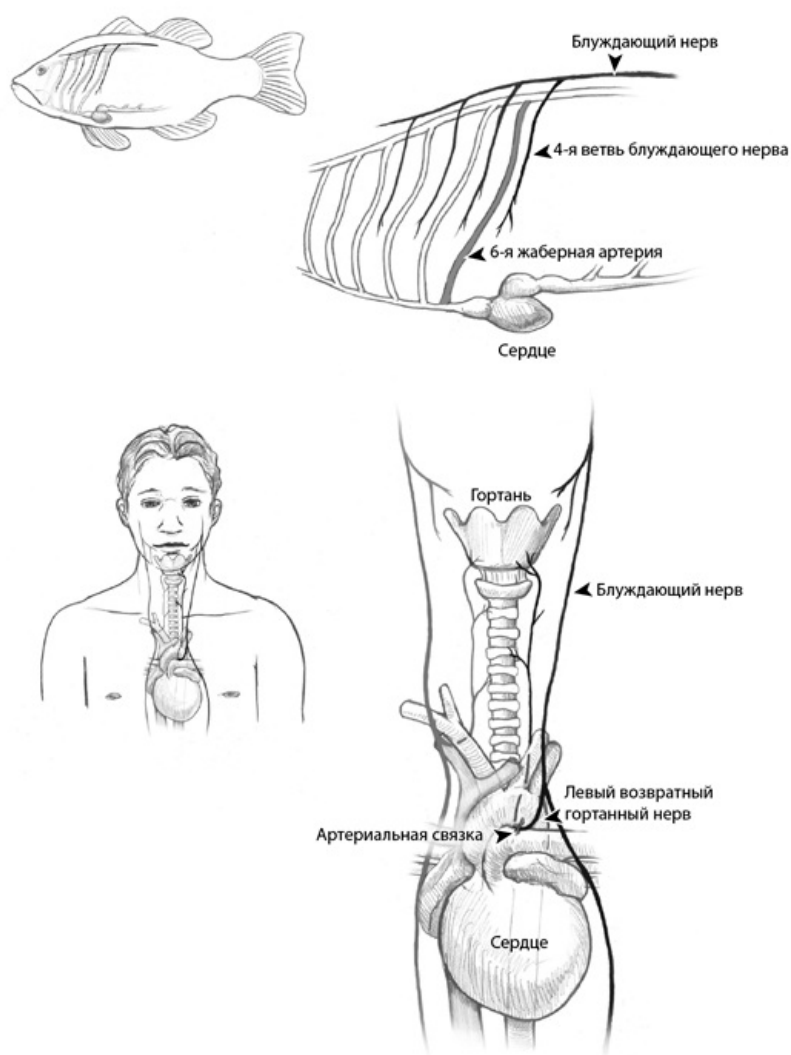


РИС. 19. Обходной путь левого возвратного гортанного нерва у человека служит доказательством происхождения от рыбоподобного предка. У рыб шестая жаберная дуга, которая позже становится жабрами, обслуживается шестой дугой аорты. Четвертая ветвь блуждающего нерва проходит за этой дугой. У взрослой рыбы эти структуры остаются частью жаберного аппарата, принося кровь из жабр и осуществляя иннервацию. Однако у млекопитающих часть жаберной дуги развилась в гортань. В ходе этого процесса гортань и гортанный нерв остались соединенными, но шестая жаберная дуга в левой части тела сместилась вниз, в грудную клетку, чтобы превратиться в нефункционирующий рудимент — *ligamentum arteriosum*, артериальную связку. Поскольку нерв остался за этой дугой, но сохранил соединение с шейей, у него вынужденно развился путь, при котором он спускается в грудную клетку, обвивает аорту и остаток шестой аортальной дуги и затем возвращается вверх в гортань. Окружной путь этого нерва не походит на свидетельство разумного творения, но становится объяснимым только как плод эволюции, происхождения от предков с совсем другим строением тела

Окружной маршрут возвратного гортанного нерва представляет собой не только пример несовершенной конструкции, но также может быть мальадаптивным (вредным) признаком. Избыток длины делает нерв более уязвимым. Например, его можно повредить при ударе в грудь: могут возникнуть затруднения с речью или глотанием. Однако окружной путь возвратного гортанного нерва обретает смысл, если понять, как появился этот нерв. Как и сама аорта у млекопитающих, он происходит из жаберных дуг наших рыбообразных предков. На начальной стадии

внутриутробного развития, когда зародыш у всех позвоночных похож на рыбу, нерв спускается сверху вниз вместе с кровеносным сосудом шестой жаберной дуги; это ответвление более крупного блуждающего нерва, который спускается по спине из мозга. У взрослой рыбы нерв остается в этом же положении, соединяя мозг с жабрами и помогая им качать воду.

В ходе эволюции человека кровеносный сосуд из пятой жаберной дуги исчез, а сосуды из четвертой и шестой дуг передвинулись вниз, в будущее туловище, чтобы впоследствии стать аортой и связкой, соединяющей аорту с легочной артерией. Но гортанный нерв, все еще остававшийся за шестой жаберной дугой, должен был сохранять соединение с эмбриональными структурами, которые стали гортанью и остались поблизости к мозгу. По мере того как будущая аорта перемещалась кзади, по направлению к сердцу, гортанный нерв был вынужден тоже перемещаться вместе с ней. Эффективнее для нерва было бы обогнуть аорту, разъединившись и соединившись заново и тем самым следуя более прямым курсом. Но естественный отбор этого не позволил, потому что разъединение и восстановление нерва – шаг, снижающий приспособленность организма. Чтобы угнаться за перемещением аорты кзади, гортанный нерв был вынужден удлиниться и стать возвратным. Этот эволюционный маршрут повторяется и в процессе внутриутробного развития, потому что схема устройства нервов и кровеносных сосудов у зародыша человека поначалу такая же, как и у рыбообразного предка. В конечном итоге неудачная конструкция остается при нас.

Благодаря эволюции воспроизведение рода у человека тоже изобилует конструкторскими недочетами. Вы уже знаете, что опускание мужских яичек, в результате их происхождения от гонад рыбы, приводит к появлению слабых мест в брюшной стенке, которые могут привести к грыжам. У мужчин есть и другие уязвимые места, в частности у них неудачно сконструирован мочеиспускательный канал: так сложилось, что он проходит точно посередине предстательной железы, которая вырабатывает часть спермы. Перефразируя шутку Робина Уильямса, сточная труба проходит напрямую через зону отдыха. У значительной части мужчин в зрелом возрасте развивается аденома предстательной железы, сдавливающая мочеиспускательный канал и превращающая процесс мочеиспускания в пытку. (По-видимому, на протяжении большей части человеческой эволюции эта проблема не стояла так остро, потому что мало кто из мужчин пересекал тридцатилетний рубеж.) Умный конструктор не стал бы пропускать гибкую, подверженную деформациям трубку через предрасположенный к инфекциям и образованию опухолей орган. В ходе эволюции эти органы сформировались именно так потому, что простата у млекопитающих развилась из тканей стенки мочеиспускательного канала.

Женщинам в смысле несовершенств конструкции тоже не слишком повезло. В процессе родов ребенок проходит через таз, и до появления современной медицины этот болезненный и трудоемкий процесс убил огромное количество матерей и младенцев. Проблема в том, что, поскольку у нас развился большой мозг, череп младенца стал очень крупным относительно входа в таз, который должен оставаться узким, чтобы человек мог эффективно передвигаться на двух ногах. Такой компромисс приводит к трудности и невероятной болезненности родов. Если бы вы конструировали самку человека, разве вы не изменили бы строение ее половых путей, чтобы родовый канал открывался в нижней части живота, а не проходил через кости таза? Только представьте, насколько легче было бы рожать! Однако люди ведут начало от яйцекладущих или живородящих существ, которые производили потомство через таз и куда менее болезненно, чем мы. Так что мы – заложники собственной эволюционной истории.

И разве разумный творец создал бы маленький промежуток между яичником и фаллопиевой трубой, так что яйцо непременно должно преодолеть это расстояние, прежде чем совершить путешествие по трубе и имплантироваться в матке? Временами оплодотворенному яйцу не удается проделать этот путь благополучно, и оно прикрепляется в брюшной полости. В результате возникает внематочная беременность, которая практически всегда фатальна для ребенка, а без

хирургического вмешательства – и для матери. Этот промежуток – наше наследство, полученное от рыбообразных и рептилиеобразных предков, которые откладывали яйца напрямую из яичника во внешнюю среду. Фаллопиева труба представляет собой несовершенный соединительный элемент, потому что развилась позже у млекопитающих как некая дополнительная структура.

Некоторые креационисты возражают, что несовершенная конструкция не может служить аргументом в пользу эволюции. По их мнению, сверхъестественный божественный творец мог, несмотря на свою божественность, создать несовершенные черты. В своей книге «Черный ящик Дарвина» (Darwin's Black Box) Майкл Бехе, поборник идеи разумного замысла, заявляет, что «черты в строении живых существ, которые поражают нас странностью, Творец мог создать по каким-то своим причинам, например из эстетических соображений или ради разнообразия, чтобы показать свое могущество, или с какими-то практическими целями, которые мы пока не поняли, или по каким-то непостижимым причинам. Или, возможно, без каких-либо причин». Ответ неточный. Да, высший творец вполне мог руководствоваться непостижимыми для нас мотивами. Но особенно неудачные конструкции, которые мы наблюдаем в природе, получают объяснение, *только если они произошли от предковых форм*. Если божественный творец, создавая биологические виды, все-таки руководствовался какими-то постижимыми причинами, то одна из них наверняка сводилась к тому, чтобы обмануть биологов и придать организмам такой вид, будто они сформировались в ходе эволюции.

Изолированные вулканические острова южных океанов входят в число самых уединенных мест на Земле. На одном из них, острове Святой Елены, расположенном на полпути между Африкой и Южной Америкой, провел последние пять лет своего английского плена Наполеон, высланный из Европы. Но еще больше прославились своей изолированностью острова архипелага Хуан-Фернандес: это четыре крошечных клочка суши, общая площадь которых составляет всего 64 кв. км. Архипелаг находится в 650 км к западу от Чили. Именно на одном из этих островов когда-то в полном одиночестве жил высаженный на сушу моряк Александр Селкирк, прообраз Робинзона Крузо.

Шотландец Александр Селкрейг (таково изначальное написание его фамилии) родился в 1676 г. и отличался вспыльчивым нравом. В 1703 г. он ушел в море штурманом на британском капере *Cinque Ports*, отправленным грабить испанские и португальские суда. Встревоженный безрассудством капитана, которому был 21 год, и ветхим состоянием самого корабля, Селкирк потребовал, чтобы его высадили на сушу, когда судно остановилось, чтобы пополнить запасы воды и продовольствия у берега острова Мас-а-Тьерра, входившего в архипелаг Хуан-Фернандес. Селкирк рассчитывал, что с острова его вскоре подберет какое-нибудь другое судно. Капитан согласился, и Селкирк добровольно остался на острове, взяв с собой лишь одежду, одеяла, кое-какие инструменты, кремь, табак, чайник и Библию. Так началось его отшельничество, которое затянулось на четыре с половиной года.

Мас-а-Тьерра был необитаемым островом, и, кроме Селкирка, из млекопитающих там жили только козы, крысы и кошки, да и то всех их завезли туда моряки, побывавшие на острове ранее. Однако, проведя некоторое время в одиночестве и депрессии, Селкирк приспособился к новым обстоятельствам. Он охотился на коз, собирал моллюсков, питался фруктами и овощами, выращенными его предшественниками, разводил огонь, добывая его трением кусков дерева друг о друга, шил себе одежду из козьих шкур, а крыс отлавливал, приручив котят от диких кошек и поселив в своем жилище.

В 1709 г. Селкирка наконец спасло английское судно, которым, как ни странно, управлял моряк, некогда служивший на *Cinque Ports* шкипером. Экипаж был поражен видом дикаря в козьих шкурах, так долго прожившего в одиночестве, что он почти разучился членораздельно изъясняться. Селкирк помог нагрузить корабль козлятиной и фруктами и отправился в обратное плавание в Англию. По возвращении домой он рассказал о своих приключениях литератору Ричарду Стилу, и тот написал очерк для журнала «Англичанин». Эта история получила известность и, по слухам, вдохновила Даниэля Дефо на создание «Робинзона Крузо». Однако Селкирк так и не сумел привыкнуть к спокойной жизни на суше. В 1720 г. он снова вышел в море и через год скончался от лихорадки неподалеку от побережья Африки.

История Селкирка была вызвана непредвиденным стечением обстоятельств, времени и темперамента. Однако непредвиденные обстоятельства повлияли и на более масштабную историю: на флору и фауну архипелага Хуан-Фернандес и других подобных островов. Ибо, хотя Селкирк этого и не знал, Мас-а-Тьерра (теперь носящий название острова Александра Селкирка) был населен потомками предыдущих изгнанников, робинзонами из числа птиц, растений и насекомых, которые случайно отыскивали путь на остров за тысячи лет до Селкирка. Сам того не ведая, он жил в лаборатории эволюционных изменений.

В наши дни три острова архипелага Хуан-Фернандес представляют собой живой музей редких и экзотических растений и животных, многие из которых *эндемичны*, т. е. свойственны только данной местности и больше нигде в мире не встречаются. В их числе пять видов птиц (включая находящегося на грани исчезновения гигантского 12-сантиметрового ржаво-коричневого, эффектного фернандесского огненношапочного колибри (*Sephanoides fernandensis*), 126 видов растений (в том числе многие причудливые виды семейства подсолнечниковых), морской котик и целая компания уникальных насекомых. Ни в одной похожей местности в мире не

собралось столько эндемиков сразу. Однако остров примечателен и тем, чего на нем *нет*: на нем не водится *ни единого местного вида амфибий, рептилий или млекопитающих*, групп, которые повсеместно встречаются на всех континентах мира. Подобные особенности фауны океанических островов – наличие причудливых и процветающих видов-эндемиков, в которой главные группы поразительным образом отсутствуют, на океанических островах повторяется снова и снова. И, как мы убедимся, такие особенности представляют собой весомое доказательство эволюции.

Первым пристальное внимание на подобные особенности островной фауны обратил сам Дарвин. В юности, в ходе путешествий на корабле «Бигль» и обширной переписки с учеными и натуралистами, он понял, что эволюция необходима, чтобы объяснить не только происхождение и формы растений и животных, но и их распространение по земному шару. Это распространение вызывало множество вопросов. Почему на океанических островах такие странные и обедненные флора и фауна в сравнении с материковой? Почему почти все местные млекопитающие в Австралии – сумчатые, в то время как в остальном мире преобладают плацентарные? И, если все эти виды были созданы, почему творец заполнил отдаленные края со схожим климатом и местностью биологическими видами, которые по форме похожи между собой, но на поверку различаются более фундаментальными особенностями?

В попытках ответить на этот вопрос предшественники Дарвина заложили основу для его собственных умопостроений, которым Дарвин придавал такое значение, что в «Происхождении видов» отвел им целые две главы. Эти главы зачастую считают основополагающим документом в области *биогеографии*, т. е. науки о распространении видов на Земле. Эволюционное объяснение, которое в этих главах было предложено для географии жизни, изначально было по большей части правильным, а великое множество позднейших исследований лишь уточнило и подтвердило его. Это биогеографическое доказательство эволюции в наши дни уже настолько весомо, что мне ни разу не попадалась креационистская книга, статья или лекция, которая бы пыталась его опровергнуть. Креационисты просто притворяются, будто этого доказательства не существует.

Смешно, но своими корнями биогеография уходит в глубины религии. Самые первые «натуралисты-теологи» пытались показать, как можно объяснить распространение организмов библейской историей о Ноевом ковчеге. Они считали всех живых существ потомками тех, кого Ной взял в ковчег по принципу «каждой твари по паре» и которые высадились на сушу, когда потоп закончился (традиционно было принято считать, что ковчег пристал к берегу возле горы Арарат в восточной Турции). Однако это объяснение сразу же вызывает резонные вопросы. Как кенгуру и гигантские земляные черви добрались через океан до своего нынешнего места обитания в Австралии? Неужели пара львов не слопала бы сразу же пару антилоп? По мере того как натуралисты открывали все новые и новые виды растений и животных, даже наиболее истово верующий убеждался, что никакое судно не смогло бы вместить столько живых существ, не говоря уже о запасе пищи и воды для полуторамесячного плавания.

Так появилась другая теория – теория множественных актов творения, рассредоточенных по всей поверхности Земли. В середине 1800-х гг. знаменитый швейцарский зоолог Луи Агассис, тогда работавший в Гарварде, предположил: «Неизменны и статичны были не только биологические виды, но и их распространение: каждый вид оставался там, где был сотворен, или поблизости». Однако новые открытия быстро показали несостоятельность этой идеи, особенно все возрастающее количество ископаемых находок, которые опровергали утверждение, будто биологические виды «неизменны и статичны». Такие геологи, как Чарльз Лайелл, друг и наставник Дарвина, начали находить доказательства, что Земля не только очень стара, но и изменчива. Во время плавания на «Бигле» Дарвин сам обнаружил раковины ископаемых морских моллюсков высоко в Андах, доказывавшие, что когда-то эти горы находились под водой. Вероятно, суша поднималась или опускалась, а континенты, которые мы видим сейчас, в прошлом,

возможно, были меньше или больше. Кроме того, возникали вопросы о распространении видов, требовавшие ответа. Почему флора Южной Африки была так похожа на флору южной части Южной Америки? Некоторые биологи предположили, что все континенты некогда соединялись огромными сухопутными перемычками (Дарвин недовольно сообщал Лайеллу, что эти перемычки были придуманы с легкостью, с которой повар печет пирожки), однако доказательства их существования так и не были обнаружены.

Чтобы разобраться с этими сложностями, Дарвин выдвинул собственную теорию. Он заявил, что распространение видов объясняется не творением, но эволюцией. Если растения и животные каким-то образом распространялись на большие расстояния и могли эволюционировать и порождать новые виды после распространения, то это вместе с происходившими в древности изменениями на поверхности Земли, например ледниковыми периодами, могло бы объяснить многие особенности биогеографии, которые ставили предшественников Дарвина в тупик.

Как выяснилось со временем, Дарвин был прав, но не совсем. Да, действительно, многие факты из области биогеографии становились понятны, только если поверить в эволюцию, расселение видов и изменения земной коры. Многие, но далеко не все. Крупные нелетающие птицы, такие как африканские страусы, нанду и эму, встречаются соответственно в Африке, Южной Америке и Австралии. Если у них всех был общий нелетающий предок, как они могли так широко распространиться? И почему на востоке Китая и на востоке Северной Америки, так далеко отстоящих друг от друга, встречаются одни и те же растения, например тюльпанное дерево и симплокарпус вонючий, которые не попадают на промежуточных территориях?

Сейчас мы получили ответы на многие вопросы, на которые когда-то не удалось ответить Дарвину, и этим мы обязаны развитию двух областей, которые он и вообразить не мог: теории дрейфа континентов и молекулярной систематике. Дарвин принимал идею о том, что Земля со временем менялась, но даже представить не мог, насколько сильны были эти перемены. С 1960-х гг. ученые знают, что в прошлом география мира сильно отличалась от современной, поскольку гигантские суперконтиненты перемещались, соединялись и вновь расходились.

Примерно сорок лет назад мы начали накапливать сведения, полученные путем секвенирования ДНК и белков, которые рассказывают не только об эволюционных взаимоотношениях между видами, но и сообщают примерное время, когда эти виды отделились от общих предков. Эволюционная теория прогнозирует, а полученные данные подтверждают, что, по мере того как виды ответвлялись от общих предков, их ДНК менялись во времени в общем и целом равномерно. Мы можем использовать эти «молекулярные часы», сверяя их по ископаемым предкам современных видов, чтобы установить время отделения тех видов, которые плохо представлены в палеонтологической летописи.

При помощи «молекулярных часов» мы можем сопоставить эволюционные соотношения между видами с известными нам перемещениями континентов точно так же, как с движениями ледников и формированием настоящих сухопутных перемычек, таких как Панамский перешеек. Таким образом мы сможем узнать, совпадает ли по времени возникновение видов с появлением новых континентов и мест распространения. Эти новшества превратили биогеографию в масштабный детектив: при помощи разнообразных инструментов и как будто бы не связанных между собой фактов биологи могут вычислить, почему виды живут в определенных местах. Например, теперь мы знаем, что сходство между африканской и южноамериканской растительностью неудивительно, потому что их предки некогда населяли суперконтинент Гондвану, который разделился на несколько частей (нынешние Африку, Южную Америку, Индию, Мадагаскар и Антарктиду), и разделение это началось примерно 170 млн лет назад.

Каждый очередной шаг дедуктивного биогеографического расследования

подтверждает эволюцию. Если бы виды не появились эволюционным путем, то их географическое распространение, как ископаемых, так и современных, не могло бы получить объяснения. Давайте сначала рассмотрим виды, которые обитают на континентах, а затем – обитателей островов, поскольку эти столь непохожие места обитания обеспечивают нам совершенно разные доказательства эволюции.

Континенты

Начнем с наблюдения, которое бросается в глаза каждому, кто много путешествует по миру. Если вы посетите две разные местности с похожими климатом и почвами, вы увидите там разные типы жизни. Возьмем, к примеру, пустыни. Многие растения пустынь относятся к суккулентам: у них наблюдается сочетание адаптивных признаков, таких как крупные мясистые стебли, позволяющие сохранять влагу, шипы, чтобы отваживать хищников, и маленькие листья или полное их отсутствие, что помогает предотвратить потерю влаги. Однако в разных пустынях произрастают разные типы суккулентов. Суккуленты Северной и Южной Америки относятся к семейству кактусовых. Однако в пустынях Азии, Австралии и Африки кактусовые не произрастают, и суккуленты принадлежат к совершенно другому семейству, а именно молочайных. Различие между двумя типами суккулентов легко заметить, потому что они по-разному цветут и у них разный сок: у кактусовых сок прозрачный и водянистый, а у молочайных – молочно-белый и горький. Но, несмотря на эти фундаментальные различия, кактусовые и молочайные могут быть очень похожи. У меня дома на подоконнике растут представители обоих семейств, и, если бы не таблички, гости бы их не различали.

Зачем бы верховному творцу помещать столь различные между собой растения с похожим обликом в разные части света, которые кажутся экологически одинаковыми? Не разумнее было бы поместить одинаковые виды растений в районы с одинаковым типом почвы и климата?

Возможно, вы возразите, что хотя пустыни и кажутся похожими, однако условия в них различаются незаметными, но существенными чертами, так что семейства кактусовых и молочайных были сотворены так, чтобы каждое было максимально приспособленным к своей среде обитания. Однако это объяснение не работает: когда кактусы завезли в пустыни Старого Света, где они изначально не произрастали, они там прекрасно прижились. Например, североамериканскую опунцию завезли в Австралию в начале 1800-х гг. первопоселенцы, планировавшие с ее помощью добывать красный краситель из насекомого под названием кошениль, который питается опунцией (краситель также называется кошениль и именно он придает персидским коврам глубокие оттенки темно-красного цвета). К XX в. опунция распространилась так широко, что стала настоящим бедствием: этот сорняк заполонил тысячи акров сельскохозяйственных угодий, а меры, принимаемые для борьбы с опунцией, были жестокими, но тщетными. Обуздать распространение опунции удалось лишь в 1926 г. с помощью кактусовой огневки: гусеницы этих бабочек живут и питаются на опунциях, эффективно ограничивая их численность. Это один из первых и наиболее успешных примеров биологического контроля. Так что опунции совершенно точно способны жить в австралийских пустынях, хотя природные суккуленты в этих краях принадлежат к молочайным.

Самый известный пример разных видов, которые играют одинаковые роли, – сумчатые млекопитающие, в наши дни обитающие в основном в Австралии (виргинский опоссум – хорошо известное исключение), и плацентарные млекопитающие, которые преобладают в остальных частях света. У двух групп наблюдаются существенные анатомические различия, в первую очередь касающиеся репродуктивной системы: практически у всех сумчатых есть сумки, а детеныши появляются на свет очень недоразвитыми, в то время как у плацентарных млекопитающих есть плацента, позволяющая потомству родиться более развитым. Тем не менее в остальном некоторые сумчатые и плацентарные удивительно похожи между собой. Существуют, например, сумчатые кроты, по облику и повадкам очень похожие на плацентарных кротов; сумчатые мыши, напоминающие плацентарных мышей; сахарные сумчатые летяги, которые перелетают с дерева на дерева точно так же, как плацентарные летяги, и сумчатые муравьеды, повадками полностью схожие с южноамериканскими плацентарными муравьедами (рис. 20).

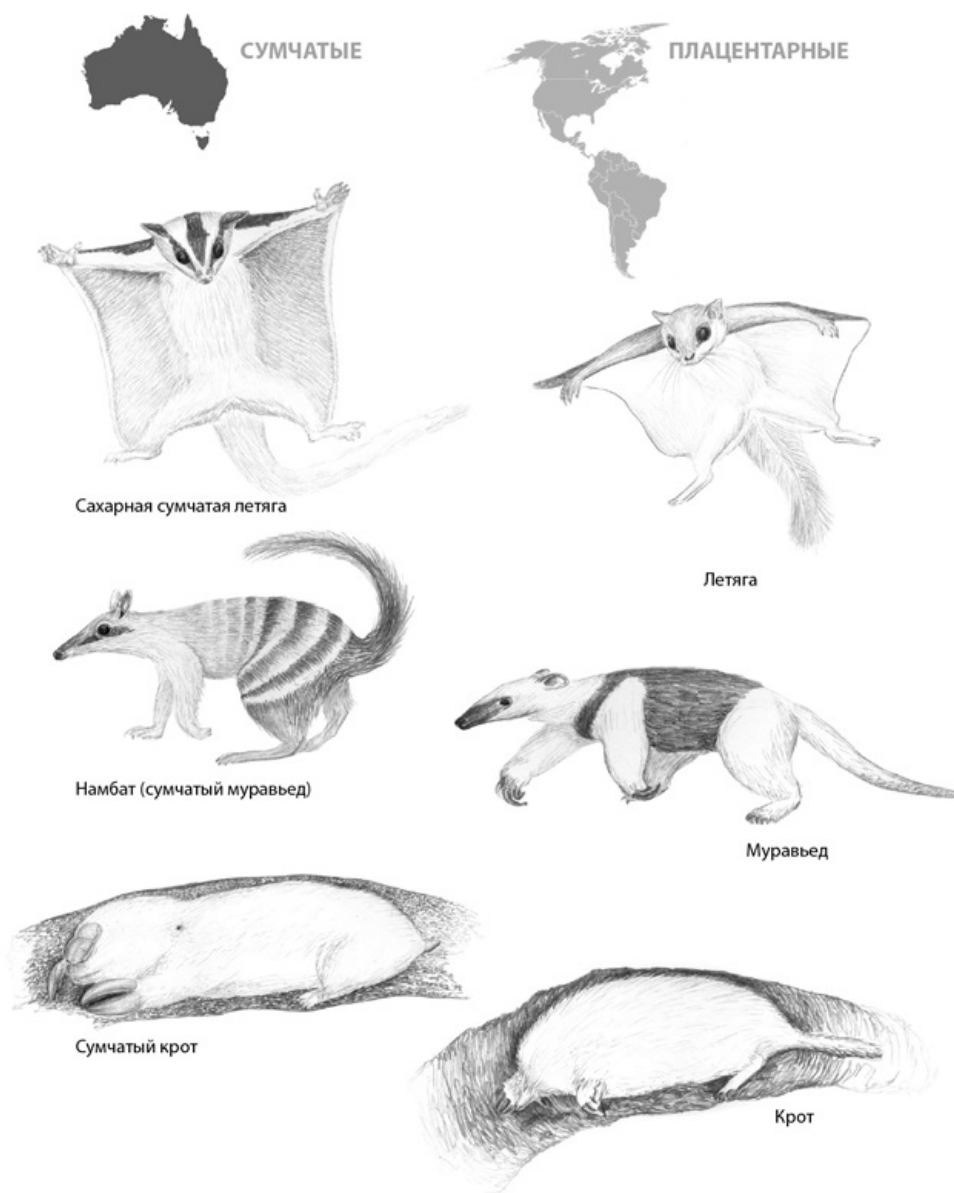


РИС. 20. Конвергентная эволюция млекопитающих. Сумчатые муравьеды, летяги и кроты эволюционировали в Австралии независимо от своих плацентарных млекопитающих аналогов в обеих Америках, и тем не менее в их облике и повадках много общего

Здесь снова может возникнуть вопрос: если животные были созданы намеренно, почему верховный творец создал на разных континентах в корне различных животных, которые тем не менее так похожи по облику и повадкам? Нельзя сказать, чтобы сумчатые были безусловно лучше приспособлены к жизни в Австралии, чем плацентарные, потому что, когда плацентарных млекопитающих завезли в Австралию, они там отлично прижились. Например, завезенные в Австралию кролики превратились в настоящее бедствие и вытеснили местных сумчатых: скажем, кроличьего бандикута или обыкновенного билби (маленькое млекопитающее с необычайно длинными ушами). Чтобы помочь финансировать кампанию по искоренению кроликов, специалисты по охране окружающей среды

предлагают заменить пасхального кролика на пасхального билби: каждую осень полки австралийских супермаркетов заполняются полчищами этих шоколадных зверьков.

Ни один креационист – ни библейского, ни какого-либо иного толка – до сих пор не смог предложить правдоподобного объяснения тому, почему разные типы животных в разных местообитаниях имеют сходный внешний облик. Все, на что способны креационисты, – это ссылаться на непостижимые причуды творца. Однако теория эволюции вполне способна объяснить эту закономерность, и объясняет она ее хорошо известным процессом под названием *конвергентная эволюция*. Суть проста. Биологические виды, которые живут в похожих условиях, подвергаются сходному давлению отбора, поэтому адаптируются похожим образом, или *конвергируют*: приобретают сходный вид и повадки, несмотря на то что никакого родства между ними нет. Однако эти виды все равно сохраняют ключевые различия, которые и указывают на разницу в их происхождении. (Самый известный пример конвергенции, или сближения, – это маскирующий белый окрас, присущий таким разным арктическим животным, как белый медведь и полярная сова.) Предок сумчатых когда-то поселился в Австралии, в то время как плацентарные расселились в остальных частях мира. И плацентарные, и сумчатые породили множество видов, и эти виды адаптировались к разной среде обитания. Если ты выживаешь и размножаешься лучше, потому что роешь норы под землей, то естественный отбор уменьшит твои глаза и даст тебе мощные когти для рытья, и не важно, к какому семейству ты принадлежишь – к сумчатым или плацентарным. Однако у тебя все равно сохранятся отдельные характерные признаки твоих предков.

У кактусовых и молочайных также есть конвергентное сходство. Предок молочайных поселился в Старом Свете, а прародитель кактусовых – в обеих Америках. У видов, которым удалось выжить в пустыне, развились похожие адаптации: если растешь в сухом климате, лучше стать жестким и безлистным и приобрести толстый стебель, чтобы запастись в нем воду. Таким образом естественный отбор придал кактусовым и молочайным похожую форму.

Конвергентная эволюция демонстрирует то, как работают вместе все три части эволюционной теории: общее происхождение, видообразование и естественный отбор. Общее происхождение объясняет, почему у австралийских сумчатых есть некоторые общие черты (например, две вагины и двойная матка у самок), а у плацентарных общих признаков больше (например, эластичная плацента). В процессе видообразования каждый общий предок дает начало множеству разных потомков. А естественный отбор обеспечивает каждому биологическому виду хорошую адаптированность к окружающим условиям. Соедините эти три начала, прибавьте к ним тот факт, что в отдаленных друг от друга частях света могут быть одинаковые природные условия, и в сумме вы получите конвергентную эволюцию – и простое объяснение общих биогеографических закономерностей.

Что касается того, как же сумчатые попали в Австралию, это часть еще одной эволюционной истории – истории, которая ведет к поддающемуся проверке предсказанию. Самые ранние ископаемые сумчатые, которым около 80 млн лет, были обнаружены не в Австралии, а в Северной Америке. По мере развития сумчатые распространялись в южном направлении и около 40 млн лет назад достигли того, что сейчас является южной оконечностью Южной Америки. Сумчатые добрались до Австралии примерно 10 млн лет назад, где начался процесс видообразования, породивший двести с лишним видов, которые обитают там и по сей день.

Но как сумчатые сумели пересечь Южный Атлантический океан? Ответ прост: его тогда еще не было. Во времена переселения сумчатых Южная Америка и Австралия были соединены и представляли собой часть южного суперконтинента Гондвана. Этот массив суши к тому времени уже начал разделяться, чтобы впоследствии сформировать Атлантический океан, однако оконечность Южной Америки еще была соединена с тем, что сейчас является Антарктидой, а она, в свою очередь, была соединена с тем, что сейчас стало Австралией (рис. 21).

Поскольку сумчатым пришлось пройти по суше из Южной Америки в Австралию, они наверняка прошли через Антарктиду. Поэтому можно с уверенностью предсказать следующее: в Антарктиде наверняка есть ископаемые сумчатые, чей возраст примерно 30–40 млн лет.

Эта гипотеза была достаточно обоснованной, чтобы заставить ученых отправиться на раскопки в Антарктиду – на поиски ископаемых сумчатых. И, разумеется, эти ископаемые были найдены: более двенадцати видов сумчатых (с характерными зубами и когтями) было обнаружено на острове Сеймур, к востоку от северной оконечности Антарктиды. Он располагается как раз там, где в древности пролегал свободный ото льдов путь из Южной Америки в Антарктику. Возраст ископаемых именно такой, какой и должен быть согласно гипотезе: им 35–40 млн лет. После того как в 1982 г. была сделана эта находка, полярный палеонтолог Уильям Цинсмейстер был в восторге: «Многие годы мы думали, что сумчатые неминуемо должны быть здесь. Это связывает воедино все гипотезы об Антарктиде. Наша находка – именно то, что и ожидалось».

А что можно сказать по поводу многих случаев сходства, но не идентичности видов, которые живут в сходных природных условиях, но на разных континентах? Например, благородный олень живет в Северной Европе, но олень вапити, который очень на него похож, обитает в Северной Америке. Безъязычные водяные лягушки семейства *Pipidae* встречаются в двух удаленных друг от друга местах: на востоке Южной Америки и в субтропической Африке. Кроме того, мы уже знаем о сходстве флоры востока Азии и востока Северной Америки. Эти наблюдения могли бы поразить эволюционистов, если бы континенты на протяжении всей истории сохраняли нынешнее расположение. Тогда у предкового вида магнолии не было бы никакой возможности попасть из Китая в Алабаму, пресноводные лягушки не смогли бы пересечь океан между Африкой и Южной Америкой, а предок современного оленя не попал бы из Европы в Северную Америку. Но мы совершенно точно знаем, как произошло это распространение: благодаря существовавшим в древности сухопутным перемычкам между континентами. (Они отличались от гигантских сухопутных мостов, которые представляли себе ранние биогеографы.) Азия и Северная Америка некогда были соединены Беринговым перешейком, через который растения и млекопитающие, включая и людей, переселились в Северную Америку. А Южная Америка и Африка некогда были частью суперконтинента Гондваны.

Распространяясь и благополучно заселяя новую территорию, организмы зачастую еще и эволюционируют. Это подводит к еще одному предсказанию, сделанному в главе 1. Если эволюция и впрямь имела место, то виды, живущие на определенной территории, должны быть потомками более ранних видов, которые жили на этой территории ранее. Поэтому, если начать раскопки в тонких пластах горной породы на конкретной территории, мы непременно найдем ископаемые, напоминающие организмы, которые обитают на этой территории сейчас.

В этом-то и дело. Где нам отыскать ископаемых кенгуру, которые бы как можно больше напоминали современных кенгуру? В Австралии. Есть еще броненосцы Нового Света. Броненосцы выделяются среди млекопитающих своей уникальностью: они наделены твердым костяным панцирем, отсюда и название животного (от слова «броня»). Обитают броненосцы только в Северной, Центральной и Южной Америке. Где обнаруживаются ископаемые виды, похожие на современного броненосца? В Америке, на родине глиптодонтов – гигантских ископаемых растительноядных млекопитающих, покрытых панцирем и выглядевших именно как огромные броненосцы. Некоторые из глиптодонтов размерами достигали величины «Фольксвагена-жука», весили около тонны, были покрыты броней 50 мм толщиной, а хвост у них имел форму булавы, покрытой острыми шипами. Креационизму затруднительно объяснить такую картину: для этого креационистам потребовалось бы предположить, что по всему миру шла последовательная череда вымираний и творений и каждый комплект заново сотворенных видов создавался так, чтобы напоминать предыдущие, жившие на той же территории. Мы далеко ушли от Ноева ковчега.

Совместное нахождение на одной территории ископаемых предков и их потомков подводит к одному из самых известных предсказаний в истории эволюционной биологии, а именно к гипотезе Дарвина, изложенной в «Происхождении человека» (1871). Дарвин предположил, что прародиной человека является Африка:

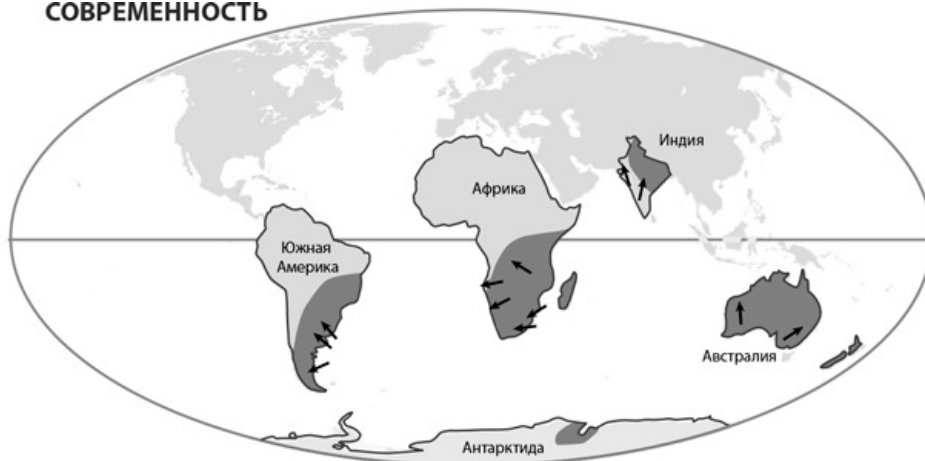
Для нас, конечно, весьма естественно желать узнать, где находилась прародина человека в тот период его развития, когда прародители наши дивергировали от общего ствола узконосых обезьян (или обезьян Старого Света)? Тот факт, что они принадлежали к этому стволу, ясно показывает, что они жили в Старом Свете, а не в Австралии или на каком-либо из океанических островов, что можно заключить на основании законов географического распределения. Во всякой большой области Земли ныне живущие млекопитающие бывают весьма сходны с вымершими видами той же области. Поэтому вероятно, что Африка была первоначально населена вымершими обезьянами, весьма близкими к гориллам и шимпанзе; а так как эти два вида в настоящее время самые близкие родичи человека, то предположение, что наши древние родоначальники жили на африканском, а не на другом каком-либо материке, становится до некоторой степени вероятным.

В те времена, когда Дарвин выдвинул эту гипотезу, никому еще не удалось обнаружить никаких ископаемых древних людей. Как вы убедитесь в главе 8, такие ископаемые были обнаружены лишь в 1924 г., и вы, конечно, угадали где – в Африке. С тех пор было обнаружено великое множество ископаемых видов, являющихся переходными формами от обезьяны к человеку, причем самыми древними неизменно оказывались африканские ископаемые, и все вместе они не оставляют сомнений в правоте дарвиновского прогноза.

Биогеография не только выдвигает прогнозы, но и разрешает загадки. Одна из таких загадок связана с ледниками и ископаемыми деревьями. Геологи давно уже знают, что все южные континенты и субконтиненты в пермский период, т. е. около 290 млн лет назад, подверглись масштабному оледенению. Нам это известно потому, что по мере движения ледников валуны и камни, которые ледник несет с собой, оставляют царапины на подстилающей скальной породе. Направление этих царапин – ледниковой штриховки – подсказывает нам, куда двигались ледники.

Если посмотреть на следы, оставленные ледником на юге, на горных породах пермского периода, то можно увидеть странные особенности. Судя по следам, ледники появились в таких районах, как Центральная Африка, где сейчас очень жарко, и, что еще более загадочно, двигались от морей внутрь континентов. (См. направление стрелок на рис. 21.) Но это совершенно невозможно: ледники способны формироваться только на суше и в условиях постоянного холодного климата, где повторяющиеся снегопады спрессовывают снег в лед, который и начинает двигаться под собственной тяжестью. Так как же объяснить этот странный характер ледниковой штриховки и свидетельства появления ледников из моря?

СОВРЕМЕННОСТЬ



ПЕРМСКИЙ ПЕРИОД

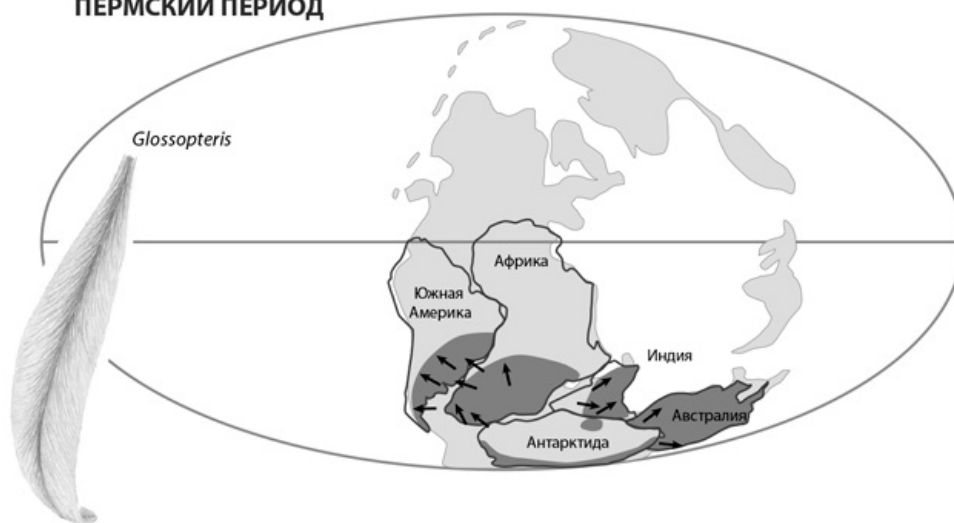


РИС. 21. Дрейф континентов объясняет эволюционную биогеографию древнего дерева *Glossopteris*. Вверху: современные области распространения ископаемых *Glossopteris* (отмечены темной штриховкой) разделены на фрагменты, находящиеся на разных континентах, и принцип распространения понять сложно. Расположение ледниковой штриховки в скальных породах также не поддается объяснению (она отмечена на рисунке стрелками). Внизу: распространение *Glossopteris* в пермский период, когда континенты были соединены в суперконтинент. Здесь картина понятна, потому что деревья окружали пермский Южный полюс в районе с умеренным климатом. Ледниковая штриховка, наблюдаемая в наши дни, также объяснима, потому что все штрихи направлены в сторону от пермского Южного полюса

У этой загадки есть еще одна часть, заключающаяся в распространении не только штриховки, но и ископаемых деревьев – видов, принадлежащих к роду *Glossopteris*. Это были хвойные деревья, у которых вместо игл росли листья, напоминающие по форме язык (glossa по-гречески и означает «язык»). *Glossopteris* относился к числу растений, преобладавших в пермской флоре. По ряду причин ботаники считают, что эти растения были листопадными, т. е. каждую осень сбрасывали листву и весной покрывались листьями заново: у ископаемых наблюдаются годовые кольца, что указывает на сезонные циклы, и специализированные черты, показывающие, что листва была запрограммирована на отделение от дерева. Это и другие признаки позволяют предположить, что *Glossopteris* росли в умеренном климате с холодными зимами.

Если нанести на карту распространение ископаемых *Glossopteris* в Южном полушарии – единственном районе, где их обнаруживают (рис. 21), то они оказываются странным образом разбросаны группами по южным континентам. Это невозможно объяснить распространением через океаны, потому что у *Glossopteris* крупные и тяжелые семена, которые практически наверняка не держались на воде. Может ли это служить доказательством того, что на каждом континенте это растение появилось в результате отдельного и независимого акта творения? Не будем торопиться.

Обе загадки удастся разрешить, если понять, где на самом деле находились современные южные континенты в поздний пермский период (см. рис. 21): они были соединены, как фрагменты головоломки, и составляли суперконтинент Гондвану. И если сложить воедино эти фрагменты, то положение ледниковой штриховки и распространение деревьев внезапно получает объяснение и становится логичным. Теперь вся ледниковая штриховка направлена от центра Антарктиды, которая была частью Гондваны, охватывавшей Южный полюс в пермский период. Снега должны были образовать обширные ледники, распространявшиеся в направлении от этого местоположения и порождавшие именно такую ледниковую штриховку, какую мы и наблюдаем. А если наложить на карту Гондваны распространение деревьев *Glossopteris*, то рисунок перестает быть хаотичным: фрагменты соединяются и образуют кольцо по краям ледников. Это именно те территории с холодным климатом, где и следовало рассчитывать на обнаружение листопадных деревьев зоны умеренного климата.

Таким образом, не деревья перемещались с одного дальнего континента на другой: перемещались сами континенты и переносили с собой деревья. Эти загадки проясняются только в свете эволюции, в то время как креационизм бессилен объяснить и расположение ледниковой штриховки, и странный разорванный ареал *Glossopteris*.

К этой истории можно добавить горький постскриптум. Когда в 1912 г. была обнаружена экспедиция Роберта Скотта, замерзшая до смерти при неудачной попытке первыми достигнуть Южного полюса (напомним, норвежец Роальд Амундсен добрался до полюса чуточку раньше), то рядом с телами путешественников лежало 15 кг ископаемых *Glossopteris*. Хотя путешественники бросили в дороге большую часть поклажи, отчаянно пытаясь остаться в живых, они сами тащили на санях тяжелые камни (горные породы), несомненно, понимая их научную ценность. То были первые образцы *Glossopteris*, обнаруженные в Антарктиде.

Доказательство эволюции, основанное на характере распространения жизни по континентам, очень весомо, однако еще более весомы доказательства, которые дают нам примеры распространения жизни на островах.

Острова

Когда биологи убедились, что распространение видов на островах обеспечивает весомое доказательство существования эволюции, это стало одной из величайших находок в истории биологии. Ей мы тоже обязаны трудам Дарвина, чьи идеи до сих пор сильнейшим образом влияют на биогеографические представления. В главе 12 «Происхождения видов» Дарвин приводит факт за фактом, скрупулезно собранные за годы наблюдений и переписки, выстраивает свое дело, как блистательный юрист. Когда я рассказываю своим студентам о доказательствах эволюции, то эта лекция у меня самая любимая. Это биологический детектив в час длинной, накопление вроде бы разрозненных и несвязанных сведений, которые в конце выстраиваются в стройное и безупречное доказательство эволюции.

Однако, прежде чем мы обратимся к доказательству, нужно четко разграничить два типа островов. Первый – это *материковые (континентальные) острова*, те, которые некогда были соединены с материком, но позже отделились или из-за повышения уровня моря, затопившего сухопутные перемычки, или вследствие сдвига континентальных платформ. Среди этих островов, помимо множества прочих, Британские острова, Япония, Шри-Ланка, Тасмания и Мадагаскар. Некоторые из них очень старые (Мадагаскар отделился от Африки примерно 160 млн лет назад), другие значительно моложе (Великобритания отделилась от Европы около 300 000 лет назад, возможно, благодаря наводнению, возникшему из-за большого подпружного озера на севере). Второй тип – *океанические острова*: те, которые никогда не были соединены с континентом. Они поднялись с морского дна и изначально на них не водилось никаких форм жизни, потому что они представляли собой коралловые рифы или растущие вулканы. К океаническим островам принадлежат Гавайские острова, Галапагосский архипелаг, остров Святой Елены и архипелаг Хуан-Фернандес, о котором рассказывалось в начале этой главы.

«Островное» доказательство эволюции нужно начать со следующего наблюдения: на океанических островах отсутствуют многие местные виды, которые встречаются и на континентах, и на материковых островах. Возьмем, к примеру, Гавайи, тропический архипелаг, чьи острова занимают площадь 28 311 кв. м, чуть меньше штата Массачусетс. В то время как на островах в изобилии представлены местные птицы, растения и насекомые, там полностью отсутствуют местные пресноводные рыбы, амфибии, рептилии и сухопутные млекопитающие. Остров Святой Елены, где отбывал ссылку Наполеон, и острова архипелага Хуан-Фернандес лишены тех же самых групп, но там достаточно широко представлены эндемичные растения, птицы и насекомые. На Галапагосских островах все-таки водятся несколько местных видов рептилий (сухопутные и морские игуаны, а также знаменитые гигантские черепахи), но местных млекопитающих, амфибий и пресноводных рыб там тоже нет. Снова и снова на океанических островах, усеивающих Тихий, Южно-Атлантический и Индийский океаны, повторяется одна и та же картина: отсутствие некоторых групп, а точнее – отсутствие *одних и тех же* групп.

На первый взгляд, такая бедность фауны океанических островов кажется странной. Если посмотреть даже на очень маленький клочок тропического материка или материкового острова, скажем, в Перу, Новой Гвинее или Японии, то там найдется множество местных видов рыб, амфибий, рептилий и млекопитающих.

Как заметил Дарвин, эти несоответствия трудно объяснить, если исходить из креационистского сценария: «Тот, кто принимает учение о сотворении каждого отдельного вида, должен также принять, что для океанических островов не было сотворено достаточное число наилучшим образом адаптированных растений и животных». Однако как нам узнать, что млекопитающие, амфибии, пресноводные рыбы и рептилии действительно *приспособлены* к жизни на океанических островах? Может быть, творец не поместил их туда потому, что они бы там не прижились? Одно очевидное возражение состоит в том, что на материковых островах все эти животные есть, так зачем бы творцу населять океанические

острова не таким видовым составом животного мира, как материковые? Ведь то, как именно сформировался остров, ничего не должно менять. Однако Дарвин заканчивает приведенную выше фразу аргументом получше: «...потому что человек непреднамеренно населял их гораздо полнее и лучше, чем это сделала природа».

Иными словами, млекопитающие, амфибии, пресноводные рыбы и рептилии зачастую прекрасно приживаются, если люди завозят их на океанические острова. По сути дела, они нередко вытесняют местные виды. Так, завезенные на Гавайи свиньи и козы заполонили острова и стали истреблять местные растения. Крысы и мангусты, которых завезли на Гавайи, уничтожили или поставили под угрозу существование многих видов местных птиц. Жаба ага, крупная ядовитая амфибия, уроженка тропической Америки, была завезена на Гавайи в 1932 г. для борьбы с жуками, поедавшими сахарный тростник. Теперь сами эти жабы представляют собой угрозу, потому что безудержно размножаются и губят кошек и собак, которые принимают их за съедобных. На Галапагосских островах местных амфибий нет, но эквадорская древесная лягушка, завезенная туда в 1998 г., обосновалась на трех островах архипелага. На Сан-Томе, вулканический остров к западу от Африки, где я собираю дрозодил для собственного исследования, завезли с континента черных кобр – возможно, случайно. Кобры прижились на острове так хорошо, что в некоторых частях острова было просто невозможно работать, потому что кобры водятся там в изобилии и в течение дня можно натолкнуться на несколько десятков этих смертоносных и агрессивных змей. Сухопутные млекопитающие тоже приживаются на этих островах отлично: завезенные на архипелаг козы помогли Александру Селкирку выжить на острове Мас-а-Тьерра, а также они процветают на острове Святой Елены. По всему миру повторяется одна и та же история: люди завозят какие-то виды на океанические острова, где их раньше не водилось, и эти виды вытесняют или уничтожают местные формы. Вот вам и контраргумент к утверждению, что океанические острова будто бы почему-то не приспособлены для млекопитающих, амфибий, рептилий и рыб.

Еще один довод против этого утверждения: хотя на океанических островах недостает многих основных видов животных, те виды, которые там водятся, зачастую представлены в изобилии, включая многие похожие. Давайте снова вернемся на Галапагосский архипелаг. На его тринадцати островах представлены 28 видов птиц, которые больше нигде не встречаются. И из этих 28 видов птиц четырнадцать относятся к одной группе близкородственных птиц: знаменитым галапагосским вьюркам. Ни на одном материке или материковом острове нет фауны, где бы среди птиц настолько преобладали именно вьюрки. Однако, несмотря на объединяющие их общие для вьюрков черты, галапагосская группа экологически довольно разнообразна. Виды, которые ее составляют, питаются различной пищей – кто насекомыми, кто семенами, кто яйцами других видов. Дятловый древесный вьюрок – один из тех редких видов, которые умеют пользоваться орудиями труда; в его случае это шип кактуса или сучок, которым птица выковыривает насекомых из-под коры деревьев. Дятловые древесные вьюрки заполняют экологическую нишу дятлов, которые на Галапагосах не водятся. Существует даже остроклювый земляной вьюрок, который расклевывает заднюю часть тела у морских птиц и пьет у них кровь.

На Гавайском архипелаге представлен еще более впечатляющий пример адаптивной радиации у птиц – гавайские цветочницы. Когда примерно 1500 лет назад на Гавайях появились полинезийцы, они обнаружили около 140 видов местных птиц (нам это известно из изучения субфоссильных останков птиц, т. е. костей, сохранившихся в древних отвалах пород и лавовых трубках. Около 60 из этих видов – почти половина птичьей фауны Гавайев – были гавайскими цветочницами и произошли от общего предка – вьюрка, который появился на островах около 4 млн лет назад. К сожалению, сохранилось лишь 20 видов цветочниц, и все они находятся на грани исчезновения. Остальные были истреблены охотниками, исчезли из-за изменения среды обитания, а также появления завезенных людьми хищников – мангустов и крыс. Однако даже немногие уцелевшие виды цветочниц поражают разнообразием экологической

специализации, как показано на рис. 22. Клюв птицы может многое сообщить нам о ее рационе. У одних видов цветочницы изогнутые клювы, позволяющие пить нектар из цветов, у других короткие толстые клювы, как у попугаев, приспособленные для раскалывания твердых семян или разламывания веток, у некоторых видов тонкие заостренные клювы, позволяющие извлекать насекомых из листвы, а у других загнутые клювы, которыми удобно добывать насекомых из-под древесной коры, – такие птицы заполняют экологическую нишу дятлов. Как и на Галапагосских островах, мы видим, что одна группа представлена чрезмерно изобильно и ее отдельные виды заполняют ниши, которые на материках и материковых островах заняты совершенно другими видами.

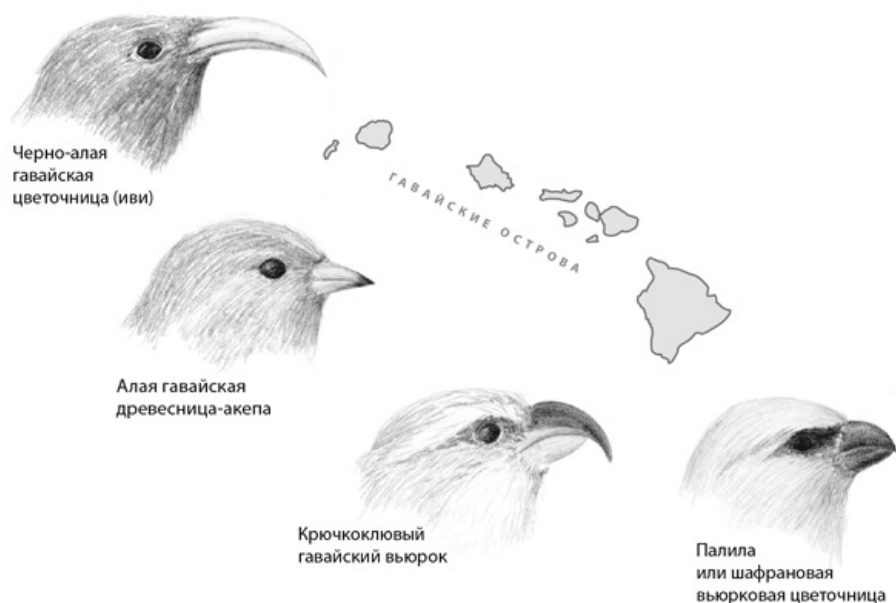


РИС. 22. Адаптивная радиация: некоторые родственные виды гавайских цветочниц, появившихся после того, как их вьюркообразный предок заселил острова. Клювы вьюрков приспособлены для потребления различных видов пищи. Тонкий изогнутый клюв черно-алой гавайской цветочницы (иви) помогает добывать нектар из удлиненных трубчатых цветов, слегка перекашенный клюв алой гавайской древесницы-акепы позволяет открывать бутоны в поисках насекомых и пауков, у крючокклювого гавайского вьюрка клюв массивный, приспособленный для расщепления коры и веточек в поисках личинок жуков, а у палилы — короткий, но сильный клюв, позволяющий открывать семенные коробочки и извлекать семена

На океанических островах также можно найти примеры адаптивной эволюционной радиации растений и насекомых. Так, на острове Святой Елены, где отсутствуют многие группы насекомых, тем не менее обитают десятки видов маленьких нелетающих жуков, особенно древесных долгоносиков. На Гавайях чрезвычайно богата представлена та группа насекомых, которую я изучаю, – плодовые мушки рода *Drosophila*. Хотя Гавайские острова составляют лишь 0,004 % мировой суши, на них обитает едва ли не половина из двух тысяч видов дрозофил, существующих в мире. А на островах архипелага Хуан-Фернандес и на острове Святой Елены находим примечательный пример адаптивной радиации растений семейства подсолнуховых, причем некоторые виды превратились в маленькие лесные деревья. Только на океанических островах из маленьких цветковых растений, избавленных от необходимости состязаться с более крупными кустарниками и деревьями, могут развиваться деревья.

Пока что мы узнали два набора фактов об океанических островах: на них недостает многих групп видов, которые есть на материках и на материковых островах, но тем

не менее группы, *все же имеющиеся* на океанических островах, изобилуют похожими видами. В совокупности эти два наблюдения показывают, что в сравнении с другими частями света количество групп живых существ на океанических островах урезано. Любая достойная биогеографическая теория просто обязана объяснить этот контраст.

Однако это еще не все. Давайте посмотрим на следующие списки групп: тех, которые часто оказываются эндемиками океанических островов, и тех, которые на островах обычно не представлены (острова Хуан-Фернандес – лишь одна из групп, которая попадает в эти списки):

ЭНДЕМИКИ	ОТСУТСТВУЮЩИЕ
Растения	Наземные млекопитающие
Птицы	Рептилии
Насекомые и другие членистоногие, например пауки	Амфибии
	Пресноводные рыбы

Какова разница между этими двумя списками? Тут не надо долго раздумывать. Виды, перечисленные в левой колонке, могут заселить океанический остров посредством распространения на дальние расстояния; виды, приведенные во второй колонке, такой способности лишены. Птицы способны к перелету на дальние расстояния над морем и при этом переносят не только свои яйца, но и семена съеденных растений (эти семена могут прорасти из птичьего помета), паразитов в оперении и мелких организмов, прилипших к грязи на их лапах. Растения могут попасть на острова в виде семян, проплыв значительное расстояние по морю. Семена с зацепками или липкой поверхностью могут добраться до островов на оперении птиц. Легкие споры папоротников, мхов и лишайников переносит на значительные расстояния ветер. Насекомые тоже могут долететь на острова или оказаться перенесенными ветром.

В противоположность этому списку животные из второй колонки вряд ли смогут пересечь обширные водные пространства. Наземные млекопитающие и рептилии слишком тяжелы и не умеют плавать на дальние расстояния. А большинству амфибий и пресноводных рыб в соленой воде просто не выжить.

Итак, виды, которые обнаруживаются на океанических островах, – это именно те, которые могут перебраться из дальних краев морским путем. Но где доказательства, что они и правда это проделывают? Каждому орнитологу известно об отдельных случаях обнаружения залетных птиц, которые встречаются за тысячи километров от их нормальной среды обитания. Эти птицы – жертвы ветра или неправильной ориентировки в полете. Некоторые птицы даже со временем устроили гнездовые колонии на океанических островах. Например, малая султанка, которая уже с давних пор случайно залетала на отдаленный остров Тристан-да-Кунья в Южно-Атлантическом океане, в 1950-е гг. наконец начала там размножаться.

Сам Дарвин провел несколько простых, но изящных экспериментов, показавших, что семена некоторых видов растений способны дать ростки, даже если они долго пробыли в морской воде. Так, семена из Вест-Индии обнаруживали на далеких берегах Шотландии; очевидно, их перенесло туда Гольфстримом. А «дрейфующие семена» с континентов и других островов находят на берегах островов южной части Тихого океана. Птицы клеточного содержания способны сохранять семена растений в пищеварительном тракте в течение недели или дольше, и это подтверждает, что перенос семян на значительные расстояния весьма вероятен. Кроме того, неоднократно предпринимались успешные попытки поимки насекомых

в воздухе с помощью ловушек, прикрепленных к самолетам или к кораблям вдали от суши. Среди животных, собранных таким способом, были саранча, мотыльки, бабочки, мухи, тли и жуки. В 1933 г. во время трансатлантического перелета Чарльз Линдберг выставил на воздух предметные стекла от микроскопа и собрал множество микроорганизмов и частей насекомых. Многие виды пауков распространяются, еще будучи молодыми особями; они переносятся на парашютах из шелка. Таких путешественников находили за сотни километров от суши.

Животные и растения также могут добираться до островов на «попутном транспорте», т. е. на бревнах или скоплениях растительности, дрейфующих от континентов, как правило, из устьев рек. В 1955 г. один из таких «плотов», возможно, отнесенный ураганом, проплыл 320 км и доставил груз из 15 зеленых игуан на карибский остров Ангилья, где это животное раньше не водилось. Бревна псевдотсуги тиссолистной из Северной Америки были обнаружены на Гавайях, а бревна из Южной Америки доплыли до Тасмании. Такие примеры объясняют отдельные случаи присутствия рептилий-эндемиков на океанических островах, например галапагосских игуан или черепах.

Далее посмотрим, какие типы растений и насекомых являются эндемиками на океанических островах. Все они принадлежат к группам, которым лучше всего удастся расселение по новым территориям. Большинство насекомых невелики размером, т. е. именно такие, какие легче всего переносятся ветром. По сравнению с травянистыми растениями деревья на океанических островах встречаются гораздо реже, и это практически наверняка потому, что у многих деревьев слишком тяжелые семена, которые и на воде не держатся, и пищей для птиц не служат. (Примечательное исключение – это кокосовая пальма с ее крупными плодами, способными держаться на поверхности воды. Она встречается почти на всех островах Тихого и Индийского океанов.) Относительная редкость деревьев на океанических островах, по сути, объясняет, почему многие растения, которые на континентах имеют форму низкорослой травы, на островах развиваются в древовидные формы.

Наземным млекопитающим расселение дается плохо, и именно поэтому на океанических островах они представлены мало. Однако млекопитающие не полностью отсутствуют на океанических островах. Приведем два исключения, подтверждающих правило. Первое было отмечено еще Дарвином в «Происхождении видов»:

Хотя наземные млекопитающие не встречаются на океанических островах, летающие встречаются почти на каждом острове. На Новой Зеландии обитает два вида летучих мышей, которых больше нет нигде на земном шаре; остров Норфолк, архипелаг Вити, острова Бонин, Каролинский и Марианский архипелаги и остров Маврикия – все имеют своих эндемичных летучих мышей. Почему же, можно спросить, предполагаемая творческая сила произвела на отдаленных островах летучих мышей, а не других млекопитающих? По моему мнению, на этот вопрос легко ответить: потому что никакое наземное млекопитающее не может быть перенесено через обширное пространство моря, а летучие мыши могут его перелететь.

Кроме того, на островах представлены *водные* млекопитающие. Так, один вид обитает на Гавайях – это эндемичный тюлень-монах (или белобрюхий тюлень), а на архипелаге Хуан-Фернандес водится местный морской котик. Если местные млекопитающие на океанических островах не были сотворены, но произошли от животных-переселенцев, то логично предположить, что эти предки должны были уметь или плавать, или летать.

Понятно, что распространение данных видов на значительные расстояния и дальние острова не может происходить часто. Вероятность, что насекомое или птица сумеет не только пересечь обширное морское пространство с материка на остров, но и, добравшись до острова, дать потомство, очень невелика (чтобы появилось потомство, необходима или уже беременная самка, или по меньшей мере две особи противоположного пола). А если бы переселение было обычным

делом, то жизнь на океанических островах во многом была бы похожа на жизнь материков и материковых островов. Тем не менее большая часть океанических островов существует уже миллионы лет – достаточно долго, чтобы отдельные виды осуществили их колонизацию. Как заметил зоолог Джордж Гейлорд Симпсон: «Любое событие, которое не абсолютно невероятно... становится возможным, если проходит достаточно времени». Давайте рассмотрим гипотетический пример: предположим, что у некоего вида каждый год возникает один шанс на миллион заселить какой-то остров. Ясно, что по прошествии миллиона лет будет большая вероятность, что новый вид колонизирует остров хотя бы единожды; если точно, вероятность составит 63 %.

И наконец, последнее наблюдение, которое замыкает логическую цепочку, доказывающую эволюцию на островах. Вот оно: за считанными исключениями животные и растения на океанических островах в основном похожи на виды, которые водятся на ближайшем материке. Именно так обстоит дело, например, на Галапагосских островах: виды, их населяющие, очень напоминают виды, представленные на западном побережье Южной Америки. Сходство невозможно объяснить доводом, что острова и Южная Америка просто представляют собой одинаковую среду обитания для видов, созданных божественным творцом. Дело в том, что Галапагосские острова – вулканического происхождения, почва там сухая и деревья не растут, и этим они сильно отличаются от пышных тропиков, которые преобладают в Южной Америке. Дарвин в «Происхождении видов» обрисовал этот довод особенно пространно:

Натуралист, знакомящийся с обитателями этих вулканических островов Тихого океана, лежащих на расстоянии нескольких сотен миль от материка, чувствует, что он находится на американской почве. Почему это так? Почему виды, которые, как предполагают, были созданы на Галапагосском архипелаге и нигде более, несут такой несомненный отпечаток родства с видами, созданными в Америке? Ни в условиях жизни, ни в геологическом строении островов, ни в их высоте, ни в климате, ни в пропорциональных отношениях между различными совместно живущими классами нет ничего близко похожего на условия южноамериканского побережья; на деле есть даже большое различие во всех этих отношениях. С другой стороны, по вулканическому характеру почвы, по климату, высоте и размерам существует большое сходство между Галапагосским архипелагом и островами Зеленого Мыса, но какое полное и абсолютное различие между их обитателями! Обитатели островов Зеленого Мыса относятся к обитателям Африки, как обитатели Галапагосских островов – к обитателям Америки. Подобные факты не поддаются объяснению на основе обычного взгляда на независимое сотворение, тогда как, по принятому здесь воззрению, очевидно, что Галапагосские острова, по всей вероятности, получили своих колонистов из Америки благодаря ли действующим иногда способам переноса или благодаря существовавшей некогда непрерывности суши (хотя я не верю в это учение), а острова Зеленого Мыса – из Африки; такие колонисты могли испытать модификацию, но принцип наследственности выдает место их первоначального возникновения.

Эта же закономерность применима не только к Галапагосским, но и к любым другим океаническим островам. Ближайшие сородичи эндемичных растений и животных на островах Хуан-Фернандес обитают в умеренных лесах Южной Америки, ближайшего континента. Большинство видов на Гавайях похожи на виды (но не идентичны им), населяющие ближайшую часть Индо-Тихоокеанской области – Индонезию, Новую Гвинею, Фиджи, Самоа и Таити, а также на виды, населяющие обе Америки. Но, учитывая причуды ветров и направление океанских течений, не стоит рассчитывать, что каждый биологический вид-колонист явится на остров с ближайшей суши. Например, на Гавайях у 4 % видов растений ближайшие родственники обитают в Сибири или на Аляске. Тем не менее сходство островных видов с обитателями ближайшего материка требует объяснений.

Подводя итоги, скажем, что океанические острова наделены чертами, отличающими их как от материков, так и от материковых островов. На океанических островах малочисленная по видовому составу *биота* (совокупность

флоры и фауны): там недостает крупных групп организмов, причем одни и те же группы отсутствуют на разных островах. Однако типы организмов, которые все-таки присутствуют, зачастую включают много похожих видов (результат адаптивной радиации), и это те типы видов, которые, как птицы и насекомые, способны легко преодолевать дальние расстояния через океан. Виды, наиболее похожие на те, которые населяют океанические острова, обычно обнаруживаются на ближайшем материке, даже если там иная среда обитания.

Как сочетаются все эти наблюдения? Они выглядят логично в свете простого эволюционного объяснения: обитатели океанических островов произошли от колонизировавших острова более ранних видов, обычно переселившихся с ближайших материков в тех редких случаях, когда произошло распространение на большие расстояния. Очутившись на острове, случайные колонисты дают начало многим новым видам, потому что океанические острова зачастую предоставляют множество пустующих экологических ниш, где нет ни соперников, ни хищников. Этим и объясняется то, почему на островах происходит адаптивная радиация – бурное видообразование и естественный отбор, порождающий ряд близкородственных видов, как у гавайских цветочниц. Все выстраивается в стройную картину, если к дарвиновским процессам изменчивости, отбора, общего происхождения и видообразования добавить случайное распространение, факты которого известны и подтверждены. Коротко говоря, океанические острова демонстрируют все принципы эволюционной теории.

Важно помнить, что эти модели в целом не работают применительно к материковым островам (исключения есть, и о них речь пойдет чуть дальше). У материковых островов наблюдается общность видов с теми материками, с которыми острова некогда были соединены. Например, растения и животные Великобритании образуют гораздо более сбалансированную экосистему: в основном она состоит из видов, идентичных флоре и фауне континентальной Европы. В отличие от океанических островов, материковые острова откололись от материков тогда, когда большинство их видов уже образовалось.

Теперь давайте попробуем изобрести теорию, которая объясняет приведенные выше примеры и включает независимое божественное сотворение видов на океанических островах и континентах. Зачем верховному творцу исключать амфибий, млекопитающих, рыб и рептилий из списка видов океанических островов, но не материковых? Зачем бы творцу создавать адаптивные радиации похожих видов на океанических островах, но не на материковых? И почему виды на океанических островах были созданы похожими на обитателей ближайшего материка? Достойных ответов не находится – если, конечно, вы не допускаете, что цель творца заключалась в том, чтобы виды выглядели так, будто они эволюционировали на островах. Такой ответ никто отстаивать не будет, и это объясняет, почему креационисты уклоняются от обсуждения биогеографии островов.

Теперь мы можем сделать последний прогноз. У очень старых материковых островов, отделившихся от материка вечно назад, непременно должны проявляться сценарии эволюционного развития, которые представляют нечто среднее между сценариями молодых материковых и океанических островов. Старые материковые острова, например Мадагаскар или Новая Зеландия, отрезанные от своих континентов 160 млн и 85 млн лет назад соответственно, должны были оказаться изолированы до того, как появились многие группы, например приматы и современные растения. После того как эти острова отделились от материка, некоторые их экологические ниши так и остались пустыми. Это и позволило некоторым видам, появившимся позже, благополучно колонизировать острова и укорениться там. Таким образом, мы можем прогнозировать, что на этих старых материковых островах в составе флоры и фауны окажется несколько меньшее количество групп и им будут присущи биогеографические особенности подлинных океанических островов.

Именно это и обнаруживается на поверку. Мадагаскар знаменит своей необычайной фауной и флорой, включающими множество местных растений и,

конечно, уникальных лемурув – примитивнейших из приматов. Их предковый вид, появившийся на Мадагаскаре примерно 60 млн лет назад, дал начало более чем 75 эндемичным видам. В Новой Зеландии также много исконно местных видов, самый известный из которых – это знаменитые нелетающие птицы: гигантский вымерший моа, трехметровое чудовище, которое к 1500 г. было истреблено охотниками, птица киви и толстый, обитающий на земле попугай какапо. Кроме того, в Новой Зеландии просматривается некоторый дисбаланс, свойственный океаническим островам: в ней водится лишь несколько эндемичных рептилий, лишь один вид амфибий и два вида местных млекопитающих, оба – летучие мыши (правда, совсем недавно было обнаружено ископаемое маленькое млекопитающее). В Новой Зеландии также наблюдается адаптивная радиация: некогда в ней существовало одиннадцать видов моа, ныне вымерших. Подобно океаническим островам, виды на Мадагаскаре и в Новой Зеландии родственны тем, которые обитают на ближайших материках: в Африке и Австралии соответственно.

Заключительная посылка

Главный урок биогеографии заключается в том, что различие жизни на континентах и островах можно объяснить лишь эволюцией. Однако можно извлечь и другой урок: распространение жизни на Земле отражает сплав случайностей и закономерностей. Случайностей – потому что распространение животных и растений зависит от непредсказуемых факторов, таких как ветер, течения и возможность колонизации. Если бы первые выюрки не появились на Гавайях или Галапагосских островах, то сегодня мы наблюдали бы там совсем иных птиц. Если бы предок лемуру не добрался до Мадагаскара, то на острове (и на Земле в целом) не было бы лемуру. Только время и случай определяют, кто останется на острове; это явление можно было бы назвать эффектом Робинзона Крузо. Однако есть еще и роль закономерности. Эволюционная теория предсказывает, что многие животные и растения, которые появляются в новой и никем не занятой среде обитания, будут эволюционировать таким образом, чтобы благоденствовать на новом месте, и образуют новые виды, заполнив пустовавшие экологические ниши. Как правило, они найдут сородичей на ближайшем острове или материке. Именно это мы и наблюдаем снова и снова. Невозможно понять эволюцию, не осознав уникального взаимодействия между случайностью и закономерностью – взаимодействие, которое, как будет показано в следующей главе, принципиально важно для понимания идеи естественного отбора.

Однако уроки биогеографии идут дальше и охватывают область сохранения живой природы. Островные растения и животные приспосабливаются к окружению, изолированные от видов, которые живут в других местах, от потенциальных конкурентов, от хищников и паразитов. Поскольку виды на островах не сталкиваются с разнообразием жизни, имеющей место на материках, то они не умеют сосуществовать с другими видами. Таким образом, островные экосистемы хрупки, уязвимы перед вторжениями чужаков, которые способны разрушить среду обитания и уничтожить местные виды. Худшие из таких чужаков – люди, которые не только вырубают леса и охотятся, но также привозят с собой свиту из разрушителей: опунции, овец, коз, крыс, жаб. Многие уникальные виды на океанических островах уже уничтожены, пав жертвой человеческой деятельности, и мы можем с уверенностью (и печалью) предсказать, что в скором времени исчезнут и многие другие. Возможно, еще при нашей жизни исчезнут последние гавайские цветочницы, новозеландские какапо и киви, продолжится исчезновение лемуру, будут утрачены многие редкие растения, которые, может, и не так обаятельны, как лемуры и киви, но не менее интересны. Каждый вид воплощает миллионы лет эволюции и, когда он исчезнет, его уже не вернешь. И каждый являет собой книгу, в которой собраны неповторимые истории о прошлом. Потерять любое из этих животных или растений означает потерять часть истории жизни на Земле.

Одно из чудес эволюции – это азиатский гигантский шершень: разновидность хищной осы, особенно распространенная в Японии. Трудно представить себе более пугающее насекомое. Это самый крупный шершень в мире длиной с большой палец взрослого человека с пятисантиметровым туловищем, украшенным зловещими черными и оранжевыми полосками. Шершень оснащен жуткими челюстями, позволяющими хватать и убивать насекомых, а также жалом полусантиметровой длины, которое способно нанести смертельный укус (ежегодно жертвами шершня становятся несколько десятков местных жителей). Размах крыльев у шершня составляет 6,5 см, благодаря чему он может развить скорость полета до 40 км/ч (т. е. гораздо быстрее, чем мы бегаем) и за день пролететь расстояние почти 100 км.

Это насекомое не только свирепо, но и прожорливо. Личинки шершня, толстые и ненасытные, едят как автоматы и без усталости колотятся головой о стенки улья, сообщая, что голодны, и требуя мяса. Чтобы прокормить такое жадное потомство, взрослые особи нападают на осиные и пчелиные гнезда.

Одна из основных жертв шершня – это интродуцированная европейская медоносная пчела. Шершни устраивают на пчелиные гнезда настоящие налеты с безжалостной массовой бойней, каким в природе мало равных. Для начала шершни отправляют разведчика-одиночку на поиски пчелиного гнезда. Шершень-разведчик метит обреченное на погром гнездо, выделяя из брюшка каплю феромона у входа в жилище пчелиной колонии. Остальные шершни находят объект грабежа по запаху, и отряд из 20–30 особей нападает на колонию численностью до 30 000 пчел.

Однако у пчел нет шансов спастись. Шершни врываются в улей и с помощью мощных челюстей обезглавливают пчел одну за другой. Поскольку каждый шершень убивает по сорок пчел в минуту, через несколько часов сражение окончено и улей усеян мертвыми пчелиными телами. Ни одной пчелы в живых не остается. Затем шершни принимают делать запасы пищи. В течение следующей недели они систематически навешиваются в разоренный улей, поедая мед и перетаскивая беспомощных пчелиных личинок к себе в гнезда, где их вкладывают в вечно разинутые рты вечно голодного потомства шершней.

Это и есть «Жестокая Природа с окровавленными когтями и зубами», как выразился поэт Альфред Теннисон. Шершни – устрашающие машины-охотники, перед которыми интродуцированные из Европы пчелы беззащитны. Однако существуют пчелы, способные дать отпор гигантским шершням: коренные обитатели Японии, местные медоносные пчелы. Их способность защитить себя поразительна и является еще одно из чудес адаптивного поведения. Когда шершень-разведчик впервые навешивается в улей японской пчелы, все медоносные пчелы, находящиеся на входе в улей, проворно прячутся внутрь и подают собратям сигнал тревоги, а вражеского разведчика заманивают внутрь. В это же время сотни рабочих пчел собираются у входа в улей изнутри. Как только шершень-разведчик попадает внутрь, целая туча рабочих пчел тотчас облепляет его плотным шаром. Вибрируя брюшками, пчелы быстро повышают температуру внутри этого шара до 47 °С. Пчелы при такой температуре выживают, но шершни ее не выдерживают. Какие-нибудь 20 минут – и шершень-разведчик зажарен насмерть, а улей, как правило, спасен. Мне не приходит в голову никаких иных примеров (если не считать испанской инквизиции), когда животные убивали бы врага, зажаривая его живьем.

В этой изощренной истории содержатся несколько эволюционных уроков. Самый очевидный состоит в том, что шершень замечательно приспособлен, чтобы убивать: с виду он как будто нарочно был создан для массового убийства. Более того, многие черты, присущие этим шершням, также превращают их в машины-убийцы. В число этих черт входят форма тела (крупный размер, жало, смертоносные челюсти, большие крылья), химические вещества (маркеры-феромоны и смертоносный яд в жале), поведение (высокая скорость полета, скоординированные атаки на пчелиные ульи, поведение личинок, которые

постоянно и настойчиво сигнализируют взрослым особям, что голодны, и тем понуждают их к нападениям на пчел). Еще один эволюционный наглядный урок – поведение местных японских пчел: то, как согласованно они собираются в шар и затем поджаривают врага. Это, разумеется, эволюционно обусловленная реакция на повторяющиеся нападения шершней. (Вспомним, что подобное поведение генетически закодировано в мозгу, размер которого меньше, чем кончик карандашного грифеля.)

В то же время недавно завезенные в Азию европейские пчелы перед хищными шершнями практически беззащитны. Именно этого и следовало ожидать, потому что эти пчелы развивались на территории, где не водилось гигантских хищных шершней, а потому естественный отбор не снабдил пчел средствами защиты. Однако мы можем предсказать, что если шершни достаточно сильные хищники, то европейские пчелы или вымрут (если их не завезут в Азию заново), или отыщут свой способ эволюционной реакции на шершней, и она необязательно будет такой же, как у местных пчел.

Существуют адаптации, которые порождают еще более зловещие тактические приемы. Среди них пример паразитической нематоды, которая паразитирует на одном виде муравьев, обитающем в Центральной Америке. У зараженного паразитом муравья радикально меняются поведение и внешность. Во-первых, брюшко в норме черное у него делается ярко-красным. Во-вторых, муравей становится вялым, а брюшко он поднимает вверх, словно алый флаг. Тонкая перемычка между брюшком и туловищем делается хрупкой и ослабленной. Кроме того, зараженный паразитом муравей перестает выделять феромоны, когда подвергается нападению, поэтому больше не может подавать сигнал тревоги сородичам.

Все эти изменения вызываются генами червя-паразита и представляют часть его искусного плана размножения. Паразит меняет облик и поведение муравья, который теперь выглядит как лакомая ягода, приманивая тем самым птиц и таким образом навлекая на себя гибель. Красное брюшко муравья, напоминающее спелую ягоду, поднято вверх и хорошо видно всем птицам, а сам муравей становится для них легкой добычей вследствие своей вялости и ослабленной перемычки между брюшком и остальным телом. Птицы склевывают красные брюшки муравьев, полные яиц паразита. Затем птицы разносят яйца нематоды в своем помете, а муравьи собирают этот помет и относят в муравейники, чтобы скормить личинкам. Паразиты вылупляются из яиц уже внутри муравьиных личинок и растут. Когда личинка муравья окукливается, нематоды мигрируют в брюшко муравья и размножаются, откладывая новые яйца. После чего весь цикл начинается сначала.

Подобные поразительные адаптации (то, как многообразно паразиты контролируют своих хозяев, лишь чтобы передать свои гены) как раз и помогают формированию эволюционных воззрений. Естественный отбор, воздействуя на простого червя, заставил его управлять своим хозяином и менять внешность, поведение и строение хозяина, превращая того в привлекательную для птиц псевдоягоду.

Список подобных адаптаций поистине бесконечен. Существуют адаптации, при которых животные выглядят как растения, маскируя себя среди растительности, чтобы спрятаться от врагов. Например, некоторые кузнечики выглядят почти в точности как листья, включая лиственный узор и даже «пятнышки гнили», напоминающие дырочки в листьях. Мимикрия так точна, что даже в маленькой клетке, заполненной листвой, насекомое различить трудно, не говоря уже о естественной среде обитания.

Есть и противоположные случаи: растения, которые мимикрируют под животных. У некоторых видов орхидей цветы искусно подражают пчелам и осам, включая пятнышки, изображающие глаза, и лепестки в форме крыльев. Сходство достаточно сильное, чтобы обмануть многих близоруких самцов насекомых, которые опускаются на цветок и пытаются с ним совокупиться. Пока это

происходит, поллинаруий орхидеи приклеивается к голове насекомого. Когда недовольный самец снимается с места, не удовлетворив свою страсть, он, сам того не ведая, переносит пыльцу на следующую орхидею, оплодотворяя ее в ходе своей следующей неудавшейся псевдокопуляции. Естественный отбор отточил форму и окрас орхидеи так, чтобы она напоминала поддельное насекомое, потому что растения, привлекающие опылителей подобным образом, имеют больше шансов передать свои гены следующему поколению. Некоторые орхидеи соблазняют своих опылителей еще больше, вырабатывая химические вещества, которые пахнут как половые феромоны пчел.

Поиск пищи, как и поиск партнера, нередко требует сложных адаптаций. Хохлатая желна – птица с хохолком, самый большой дятел в Северной Америке – добывает пищу, выдалбливая дырки в деревьях и вытаскивая из древесины насекомых, в частности муравьев и жуков. Помимо удивительной способности определять наличие добычи под корой (возможно, на слух или улавливая движение насекомых, в точности не известно), желна наделена целым комплексом черт, которые помогают ей охотиться и долбить деревья. Пожалуй, самая необычная из них – это поразительно длинный язык дятла. Основание языка у желны крепится к челюстной кости, далее язык поднимается через одну ноздрю, полностью огибает затылок и возвращается в клюв снизу. Большую часть времени язык у желны втянут, но птица может запускать его, чтобы извлекать муравьев и жуков. Язык желны заостренный и покрыт липкой слюной, что помогает вытаскивать лакомых насекомых через продолбленные отверстия. Кроме того, свой клюв хохлатая желна использует, чтобы выдалбливать дупла под гнезда и барабанить по дереву, призывая самцов и защищая территорию.

Дятел представляет собой отбойный молоток, созданный самой природой. Невольно возникает вопрос: как такая маленькая и нежная птица способна долбить древесину, не нанося себе повреждений? (Представьте себе, какая сила удара нужна, чтобы вбить в дерево гвоздь.) Нагрузка, которую получает череп хохлатой желны, неимоверна: когда птица выстукивает сигналы для себе подобных, то способна наносить до 15 ударов в секунду, и каждый удар порождает воздействие такой силы, как если бы вы стучали головой в стену со скоростью 26 км/ч. На такой скорости можно покорежить автомобиль. Дятел подвергается настоящей опасности: под таким воздействием у него может повредиться мозг или выскочить глаза.

Чтобы избежать повреждений мозга, череп желны имеет особую форму и укреплен дополнительной костью. Клюв держится на хрящевой подушке, а мышцы вокруг клюва сокращаются за мгновение до каждого удара, чтобы перевести силу удара от мозга в укрепленное основание черепа. При каждом ударе веки у дятла закрываются, чтобы глаза не выскочили из орбит. Кроме того, ноздри дятла прикрыты веером из маленьких перышек, поэтому птица не вдыхает опилки и древесную труху, когда долбит ствол. Чтобы удержаться на дереве, желна опирается на очень прочные и твердые хвостовые перья, а также надежно держится за ствол четырехпалой лапой в форме буквы Х (два пальца впереди, два сзади).

На что ни взглянешь в природе, везде увидишь животных, которые, как может показаться, замечательно сконструированы, чтобы вписываться в окружающую среду, будь то физические параметры, такие как температура и влажность, или взаимодействие с другими организмами – соперниками, хищниками и добычей, – с которыми животным приходится иметь дело. Неудивительно, что самые первые натуралисты верили, будто животные были созданы верховным Богом-творцом, чтобы исполнять каждое свою роль.

Дарвин в «Происхождении видов» опроверг это представление. В одной-единственной главе он полностью заменил века убежденности в идее божественного творения новой идеей неразумного материалистического процесса, естественного отбора, который мог дать тот же результат. Трудно переоценить эффект, который это откровение оказало не только на биологию, но и на мировоззрение человечества. Многие до сих пор не оправились от потрясения, и

идея естественного отбора до сих пор вызывает яростные и иррациональные протесты.

Однако естественный отбор еще и поставил перед биологией ряд вопросов и нерешенных задач. Каковы доказательства того, что он действует в природе? Может ли естественный отбор и впрямь объяснить адаптации, включая сложные? Дарвин в своих построениях в основном полагался на аналогию: широко известный успех сельскохозяйственных производителей, которые преобразовали животных и растения в организмы, пригодные для пищи, содержания в домашних условиях и для декоративных целей. Но на тот момент у Дарвина было очень мало прямых доказательств в пользу того, что естественный отбор работает в природных популяциях. И поскольку, как предполагал Дарвин, естественный отбор работает крайне медленно, изменяя популяции за тысячи или миллионы лет, трудно было бы проследить его в действии в течение одной человеческой жизни.

К счастью, благодаря усилиям полевых и лабораторных биологов теперь у нас есть доказательства естественного отбора – и в изобилии. Как обнаруживается, естественный отбор действует везде и во всем, он тщательно исследует каждую особь, выбраковывает непригодных и сохраняет гены более приспособленных. Естественный отбор способен порождать сложные адаптации, и иногда за удивительно короткий срок.

Естественный отбор представляет собой ту часть дарвинизма, которую чаще и больше всего понимают неверно. Чтобы увидеть, как он работает, давайте рассмотрим простую адаптацию: окрас шерсти у хомячков. У «классического» берегового хомячка (*Peromyscus polionotus*) шубка коричневая, а водится он в почве темных тонов. Но в дюнах на побережье Флоридского залива, состоящих из светлого песка, обитает разновидность того же вида под названием пляжный хомячок, у которого окрас светлее, почти белый с едва заметной коричневой полоской вдоль хребта. Этот более светлый окрас представляет собой адаптацию, призванную замаскировать хомячка от хищников, таких как ястребы, совы и цапли, которые охотятся в дюнах белого песка. Откуда мы знаем, что это адаптация? Простой (хотя и несколько жестокий) эксперимент, проведенный Дональдом Кауфманом из Университета штата Канзас, показал, что хомячки лучше выживают в природе, если их шерсть соответствует цвету почвы, в которой они живут. Кауфман выстроил два больших загона на открытом воздухе и в один поместил темную почву, а в другой светлую. В каждый из загонов он посадил равное количество хомячков темного и светлого окраса. Затем он запустил в каждый из загонов по очень голодной сове, а через некоторое время проверил, какие хомячки уцелели. Как он и ожидал, хомячки, чей окрас наиболее сильно контрастировал с почвой, стали совиной добычей быстрее остальных, тем самым доказав, что замаскированные хомячки, сливающиеся с окружающей средой, выживают лучше. Этот эксперимент также объясняет общую закономерность, наблюдаемую в природе: в более темной почве живут хомячки более темного окраса.

Поскольку пляжные хомячки со своим светлым окрасом уникальны, то, вероятнее всего, они развились из коричневых континентальных хомячков, возможно, сравнительно недавно, около 6000 лет назад, когда их белые дюны были впервые изолированы барьерами от материка. Вот тут и начинает действовать естественный отбор. Окрас континентального хомячка варьирует, и среди тех, кто переселился в светлые дюнные пески, шансы на выживание выше у хомячков со светлым, а не с темным окрасом, поскольку темных хомячков быстрее замечают хищники. Нам также известно, что между темноокрашенными и светлоокрашенными хомячками есть генетические различия: пляжные хомячки несут «светлые» формы нескольких генов пигментации, которые в совокупности и придают светлый окрас их шерсти. Темные континентальные хомячки – носители «темных» альтернативных форм тех же генов. Со временем вследствие дифференцированного хищничества светлоокрашенные пляжные хомячки передали бы больше копий своих «светлых» генов (у них выше шансы на выживание и размножение), и если бы этот процесс продолжался поколение за поколением, то окрас у популяции пляжных хомячков эволюционировал бы от темного к светлому.

Что здесь произошло? Естественный отбор, воздействуя на окрас животного, просто изменил генотип популяции, увеличив пропорцию «светлых» аллелей генов, которые повышают шансы на выживание и воспроизводство. И, хотя я написал, что естественный отбор *действует*, но выразился не вполне точно. Отбор – не механизм, навязанный популяции извне, скорее, это процесс, описание того, как частота встречаемости генов, которые порождают лучшие адаптации, со временем увеличивается. Когда биологи говорят, что отбор действует на какой-то признак, они используют это выражение для краткости и подразумевают, что данный признак проходит процесс естественного отбора. В том же смысле биологические виды не *пытаются* адаптироваться к своему окружению: тут не вовлечена чья-либо воля или желание, нет сознательных попыток. Адаптация к окружению неизбежна, если у вида есть правильный тип генетической изменчивости.

Естественный отбор создает адаптацию, опираясь на три основных условия. Первое – изначальная популяция должна быть изменчивой: так, хомячки внутри популяции должны как-то различаться по вариантам окраса. Иначе данный признак не сможет эволюционировать. В случае с хомячками мы знаем, что это так, потому что хомячки в материковой популяции проявляют изменчивость окраса.

Второе условие осуществления процесса адаптации таково: вариация должна опираться на изменения генов, т. е. у нее должен быть генетический базис (*наследуемость*). Если бы между светлоокрашенными и темноокрашенными хомячками не было генетической разницы, то светлые бы все равно лучше выживали в дюнах, однако разница в окрасе не передалась бы следующему поколению и эволюционные изменения не произошли бы. Мы знаем, что генетическое условие в случае этих хомячков также соблюдено. На самом деле нам в точности известно, какие именно два гена больше всего влияют на разницу между темным и светлым окрасом. Один из них называется *Agouti* (агути), и это тот же самый ген, мутации которого порождают черный окрас у домашних кошек. Второй ген называется *Mclr*, и одна из его мутантных форм у людей, особенно часто встречающаяся в ирландской популяции, порождает веснушки и рыжие волосы.

Откуда берутся эти генетические вариации? Мутации – случайные изменения в последовательности нуклеотидов ДНК, которые обычно возникают как ошибки, когда молекула копируется во время деления клеток. Генетическая изменчивость, вызванная мутациями, широко распространена: например, мутантные формы генов объясняют вариации нашего цвета глаз, групп крови и значительную часть нашей (и не только нашей, но и других видов) изменчивости таких признаков, как рост, вес, биохимия и множество других.

Основываясь на многочисленных лабораторных экспериментах, ученые пришли к заключению, что мутации происходят случайно. Термин «случайный» здесь имеет особое значение, которое даже биологи зачастую понимают неверно. Он означает, что *мутации происходят независимо от того, будут ли они полезны данной особи*. Мутации – это просто ошибка в репликации ДНК. Большая их часть вредна или нейтральна, но некоторые могут оказаться полезными. Полезные мутации становятся сырьем для эволюции. Однако нет никакого известного науке биологического способа повысить вероятность того, что мутация будет отвечать текущим адаптивным нуждам данного организма. Хотя для хомячков, обитающих в дюнах, лучше иметь светлый окрас, их шанс заполучить такую полезную мутацию не выше, чем у хомячков, живущих в темной почве. В таком случае, вместо того чтобы называть мутации случайными, точнее будет назвать их нейтральными: шанс, что мутация появится, не зависит от того, будет ли она полезной или вредной для данной особи.

Третье и последнее условие естественного отбора заключается в том, что генетическая изменчивость должна влиять на шансы данной особи оставить потомство. В случае хомячков эксперименты Кауфмана с хищниками показали, что лучше замаскированные хомячки оставят больше копий своих генов. Таким

образом светлый окрас пляжных хомячков отвечает всем трем критериям развития в качестве адаптивного признака.

Следовательно, эволюция путем естественного отбора представляет собой комбинацию случайности и закономерности. Это процесс сначала случайный (или нейтральный) – появление мутаций, которые порождают набор генетических вариантов, как плохих, так и хороших (в нашем примере с хомячками это варианты нового окраса шерсти); а затем «закономерный» – естественный отбор, который распоряжается этими вариациями, сохраняя хорошие и отбрасывая вредные (при обитании в дюнах частота встречаемости генов светлого окраса увеличивается за счет генов темного окраса).

Отсюда прямой путь к самому распространенному заблуждению, касающемуся дарвинизма: идее, что в эволюции «все происходит случайно». Это распространенное утверждение, несомненно, совершенно ошибочно. Ни один эволюционист, и уж точно не Дарвин, никогда не заявлял, что естественный отбор основан на случае или стечении обстоятельств. Совсем наоборот. Мог ли совершенно случайный процесс сам по себе породить дятла, долбящего дерево, или изощренную орхидею, напоминающую пчелу, или закамуфлированного кузнечика и пляжного хомячка? Конечно, нет. Если бы эволюцию внезапно заставили зависеть только от случайных мутаций, виды бы вскоре выродились и вымерли. Случайность сама по себе не может объяснить чудесное соответствие между особью и ее окружением.

И не объясняет. Да, сырье для эволюции – различия между особями – в самом деле появляются вследствие случайных мутаций. Эти мутации происходят произвольно, ненамеренно, невзирая на то, вредны они для особи или полезны. Но адаптации порождает нечто другое: *фильтрация этой изменчивости естественным отбором*, а естественный отбор определенно не случаен и не произволен. Это мощная формирующая сила, накапливающая гены, у которых шанс быть переданными потомкам гораздо выше, чем у других, и тем самым помогающая особям еще лучше приспособиться к окружению. Следовательно, именно уникальное сочетание мутации и отбора, случайности и закономерности, показывает нам, как адаптировались организмы. Самое точное определение естественного отбора дал Ричард Докинз – «неслучайное выживание случайных вариантов».

Теория естественного отбора совершает огромную работу – крупнейшую в биологии. Ее задача состоит в том, чтобы шаг за шагом объяснить, как та или иная адаптация развилась из черт, которые ей предшествовали. Сюда входят не только форма тела и окрас, но и особенности на молекулярном уровне, которые лежат в основе всего. Отбор должен объяснять эволюцию сложных физиологических характеристик: свертывания крови, метаболических систем, преобразующих пищу в энергию, чуда иммунной системы, которая распознает и уничтожает тысячи чужеродных белков. А нюансы самой генетики? Почему пары хромосом разделяются, когда формируются яйцеклетки и сперматозоиды? Почему мы вообще наделены половым размножением вместо того, чтобы размножаться почкованием, как некоторые виды? Отбор должен объяснять поведение особей – как кооперацию, так и антагонизм. Почему львы объединяются и охотятся стаей, но, когда самцы-захватчики вытесняют постоянных самцов из социальной группы (прайда), почему захватчики убивают всех львят, которые уже отлучены от матери?

Естественному отбору приходится особым образом формировать все эти черты. Во-первых, отбор должен их создать на основе предшествующих, чаще всего постепенно, шаг за шагом. Как мы уже убедились, каждый вновь появившийся признак возникает как модификация более раннего. Например, конечности наземных позвоночных представляют собой просто-напросто модифицированные плавники. И каждый шаг этого процесса, каждое усовершенствование адаптации должно обеспечивать своему обладателю репродуктивное преимущество. Без этого естественный отбор не сработает. Каковы были преимущества каждого шага на пути от плавника, приспособленного для плавания, к приспособленной для хождения ноге? Или на пути от бескрылого динозавра к такому, у которого были и

крылья, и оперение? «Пути под уклон» в эволюции адаптаций не бывает, потому что естественный отбор по самой своей природе не может создать шаг, который будет не на пользу особи. В мире адаптации мы никогда не встретим дорожный плакат – сущее проклятие всех водителей на скоростных автострадах: «Приносим извинения за временные неудобства, зато потом будет удобно».

Если адаптивный признак появился в результате естественного отбора, а не был создан актом творения, мы можем выдвинуть некоторые прогнозы. Так, мы должны быть в принципе способны представить себе правдоподобный пошаговый сценарий эволюции, которую прошел этот признак, причем каждый шаг должен повышать *приспособленность* (т. е. среднее количество потомства) его обладателя. Для некоторых признаков представить такой сценарий легко: например, в случае постепенного изменения скелета, которое превратило наземных животных в китов. Применительно к другим чертам представить пошаговый сценарий сложнее, особенно в случае биохимических изменений, которые не оставляют никаких следов в палеонтологической летописи. Возможно, мы никогда не накопим достаточно информации, чтобы реконструировать эволюцию многих признаков или даже в случае вымерших видов точно понять, как именно эти признаки функционировали. (Скажем, для чего именно служили костяные пластины на спине стегозавра?) Однако о многом говорит тот факт, что биологи пока не обнаружили ни одной адаптации, для эволюции которой обязательно требовался бы промежуточный этап, снижающий приспособленность особей.

Существует и другое требование. Адаптация должна эволюционировать путем повышения *репродуктивной производительности своего обладателя*. Ведь именно размножение, а не выживание определяет то, какие гены будут переданы следующему поколению и обусловят эволюционный процесс. Конечно, чтобы передать ген, особи для начала необходимо дожить до того возраста, когда она может дать потомство. В то же время ген, который выводит особь из игры по истечении репродуктивного возраста, не является в эволюционном смысле негативным фактором. Он сохранится в генофонде. Следовательно, у гена больше шансов сохраниться, если он помогает особи дать потомство в юности, но убивает ее в старости. По сути дела, накопление подобных генов путем естественного отбора, по мнению многих, и служит объяснением тому, почему к старости особь во многих отношениях деградирует и дряхлеет (происходит «биологическое старение»). Те самые гены, которые в юности помогают предаваться излишествам, присущим молодости, к старости могут обеспечить вам морщины или увеличение простаты.

Учитывая то, как работает естественный отбор, он не должен бы порождать адаптации, которые помогают особи выжить, но при этом не способствуют репродукции. Приведу в пример ген, который помогает женщинам выживать после наступления менопаузы. Также вряд ли следует ожидать, что у какого-то вида появятся такие адаптации, которые идут на пользу только представителям другого вида.

Последнее предсказание можно проверить, рассмотрев признаки одного вида, которые полезны для представителей другого вида. Если эти признаки появляются путем отбора, можно прогнозировать, что они будут полезны и для другого вида. Давайте посмотрим на деревья тропической акации, которые снабжены толстыми полыми шипами. Эти шипы служат жилищами для целых колоний снабженных жалами свирепых муравьев. Акации также выделяют нектар, а на листьях у них имеются богатые белком выросты, обеспечивающие муравьев пищей. Может показаться, что дерево кормит муравьев и предоставляет им жилье за свой счет. Противоречит ли это нашему прогнозу? Вовсе нет. На деле то, что акация позволяет муравьям селиться на себе, для самого дерева очень и очень выгодно. Во-первых, травоядных насекомых и млекопитающих, которые могут заинтересоваться угощением в виде листьев, отпугивают свирепые муравьиные полчища. Я с прискорбием убедился в этом на собственном печальном опыте, когда, будучи в Коста-Рике, случайно задел тропическую акацию. Во-вторых, муравьи объедают проростки у основания ствола и тем самым не позволяют им

расти, а такие проростки впоследствии будут мешать дереву, соперничая с ним за свет и питательные вещества. Легко понять, что акации, способные поселить у себя муравьев, чтобы с их помощью защищаться и от соперников, и от растительноядных животных, будут производить больше семян, чем акации, лишенные такой способности. В каждом случае, когда один вид предпринимает нечто в помощь другому, он всегда помогает и себе самому. Это прямо предопределено эволюцией, и это никак не может вытекать из идеи божественного создания мира или разумного творения.

Адаптации всегда упрочивают приспособленность *особи*, но необязательно группы или вида. Идея о том, что естественный отбор действует «на благо видов», широко распространена и при этом ошибочна. На самом деле эволюция способна породить черты, которые, помогая отдельной особи, вредят биологическому виду в целом. Например, если какая-то группа львов-самцов изгоняет постоянных самцов из прайда, это зачастую сопровождается кровавой бойней, уничтожением маленьких львят, уже отлученных от матери. Такое поведение вредно для вида, потому что сокращает общее число львов и увеличивает шансы на их вымирание. Однако оно идет на пользу львам-захватчикам, поскольку они получают возможность быстро оплодотворить самок (которые, перестав кормить львят, снова возвращаются в состояние эструса – течки). Получается, что львы-захватчики заменяют убитых львят своим потомством. Легко увидеть (хотя и неприятно), как ген, вызывающий детоубийство, распространяется за счет «хороших генов», которые бы заставили львов-захватчиков просто нянчиться с чужими, неродными львятами. Как и можно предсказать, опираясь на теорию эволюции, в природе не увидишь адаптацию, которая приносит виду пользу за счет отдельной особи, а именно такого явления можно было бы ожидать, если бы организмы были созданы заботливым творцом.

Эволюция без отбора

Позволю себе несколько отклониться от темы, поскольку чрезвычайно важно объяснить читателю, что естественный отбор – это не единственный процесс, обуславливающий эволюцию. Большинство биологов определяют эволюцию как изменение в соотношении аллелей (разных форм генов) в генофонде популяции. Например, вспомним нашего пляжного хомячка. По мере того как частота «светлых» форм гена *Agouti* в популяции хомячка возрастает, популяция и окрас меха развиваются и меняются. Но подобная перемена может произойти и иными путями. У каждой особи есть два экземпляра каждого гена (аллели), которые могут быть идентичными или разными. Каждый раз, когда происходит половое размножение, один из аллелей каждой пары генов передается от родителя потомству, а другой аллель приходит от другого родителя. То, какой именно из пары родительских генов передастся потомству, чистая лотерея. Например, если у вас четвертая группа крови (комбинация аллельных генов А и В) и вы произвели на свет только одного ребенка, то вероятность, что ребенок получит аллель А, составляет 50 % и аллель В – тоже 50 %. Если в семье один ребенок, то один из ваших аллелей неизбежно пропадет. В результате в каждом поколении гены родителей принимают участие в лотерее, выигрыш в которой – то, будет ли ген передан следующему поколению. Поскольку количество потомства ограничено, частота генов, представленных у потомства, не будет совпадать с частотой генов, представленных у родителей. Этот «отбор» генов в точности напоминает подбрасывание монетки – «орел или решка». Хотя при любом таком броске вероятность выпадения «орла» будет составлять 50 %, но если вы сделали лишь несколько бросков, то велика вероятность, что возникнет отклонение от ожидаемого результата (например, если подбросить монетку четыре раза, у вас вероятность того, что все четыре раза выпадет только «орел» или только «решка», будет составлять 12 %). Таким образом в маленьких популяциях частота разных аллелей со временем может меняться исключительно по воле случая. И в игру могут вступать новые мутации, и их частота будет расти или повышаться также по воле случая. В конечном итоге эта генетическая игра в «орла или решку» может даже привести к тому, что гены окажутся *зафиксированы* в популяции (т. е. их частота поднимется до 100 %) или, наоборот, полностью исчезнут.

Подобные случайные изменения, со временем происходящие в частоте генов, называются *дрейфом генов*. Это автоматический эволюционный процесс, поскольку он включает изменения, происходящие со временем в частоте аллелей, но они вызваны не естественным отбором. Одним из примеров эволюции путем генетического дрейфа могут послужить необычные частоты групп крови в религиозных американских общинах амишей и данкеров. Это маленькие, изолированные религиозные общины, члены которых рождаются между собой браками, т. е. здесь создаются самые подходящие условия для быстрой эволюции путем генетического дрейфа.

Случайный отбор также может произойти, когда популяция берет свое начало всего от нескольких иммигрантов, как происходит в ситуации, когда отдельные особи колонизируют острова или новую территорию. Например, практически полное отсутствие генов третьей группы крови (аллель В) у коренных американцев, возможно, отражает утрату этого гена малочисленной популяцией людей, которые колонизировали Северную Америку примерно 12 000 лет назад, прибыв из Азии.

И дрейф генов, и естественный отбор порождают генетические изменения, которые мы считаем эволюцией. Но между ними есть существенная разница. Дрейф генов – процесс случайный, в то время как отбор – противоположность случайности. Генетический дрейф может изменить частоту аллелей независимо от того, насколько они полезны для своего носителя. Естественный отбор, наоборот, всегда избавляется от вредных аллелей и повышает частоту полезных.

Будучи абсолютно случайным процессом, генетический дрейф не может порождать эволюционных адаптаций. Он никогда не смог бы создать крыло или глаз. Для этого нужен неслучайный естественный отбор. Зато генетическому

дрейфу под силу повлиять на эволюцию признаков, которые для организма ни вредны, ни полезны. Дарвин, который, как всегда, оказался пророком, выдвинул эту идею в «Происхождении видов»:

Сохранение благоприятных индивидуальных различий и вариаций и уничтожение вредных я назвал естественным отбором, или выживанием наиболее приспособленного. Вариации бесполезные и безвредные не подвергаются действию естественного отбора; они сохраняются как колеблющийся элемент, как это наблюдается у некоторых полиморфных видов, либо же, в конце концов, закрепляются в зависимости от природы организма и свойств окружающих условий.

По сути, генетический дрейф не только бессилён породить адаптации, но на практике способен *победить* естественный отбор. Эффект случайной выборки, особенно в маленьких популяциях, может оказаться столь масштабным, что повышает частоту вредоносных генов, хотя естественный отбор работает в противоположном направлении. Именно это почти наверняка и служит причиной огромной распространённости генетических заболеваний в изолированных человеческих сообществах, включая болезнь Гоше у северных шведов, болезнь Тея – Сакса у луизианских каджунов и пигментную дистрофию сетчатки у жителей острова Тристан-да-Кунья.

Поскольку некоторые изменения в строении ДНК или белков могут быть, как выразился Дарвин, «ни полезными, ни вредными» (или, как мы сейчас их называем, нейтральными), то в таких случаях, например, некоторые мутации в гене не влияют на структуру и функцию белка, который он производит, и поэтому не меняют приспособленность своего носителя. То же самое касается мутаций в неработающих псевдогенах – остатках когда-то функционировавших генов, все ещё присутствующих в геноме. Любые мутации в этих генах никак не влияют на организм и потому способны эволюционировать только путем генетического дрейфа.

Таким образом многие аспекты молекулярной эволюции, такие как определенные изменения в последовательности нуклеотидов ДНК, скорее окажутся отражением генетического дрейфа, чем отбора. Возможно также, что многие внешние признаки организмов могли развиваться путем генетического дрейфа, особенно если они не сказываются на воспроизводстве. Разнообразие форм, которые имеют листья у разных видов деревьев, скажем различие между дубовыми и кленовыми листьями, когда-то предположительно считалось нейтральной чертой, которая развилась путем дрейфа. Однако сложно доказать, что эта черта не приносит своему носителю *вообще никаких* преимуществ при отборе. Даже крошечное преимущество, такое маленькое, что биологи не в состоянии заметить или измерить его в реальном времени, может с течением веков привести к важным эволюционным изменениям.

Сравнение роли генетического дрейфа и отбора в эволюции остается предметом горячих дискуссий среди биологов. Каждый раз, когда мы наблюдаем явную адаптацию, например верблюжий горб, мы отчетливо видим доказательство естественного отбора. Но черты, эволюцию которых мы не понимаем, вполне могут объясняться не генетическим дрейфом, а нашим собственным незнанием. Тем не менее нам известно, что генетический дрейф должен иметь место, потому что в любой популяции ограниченного размера в ходе репродукции всегда есть эффекты выборки. И дрейф, возможно, сыграл существенную роль в эволюции маленьких популяций, хотя мы в состоянии привести тому лишь считанные примеры.

Разведение животных и растений

Теория естественного отбора предсказывает, какие именно типы адаптаций мы, скорее всего, найдем в природе и (что гораздо важнее), каких ожидать не стоит. Все эти предсказания сбылись. Но многим людям хочется большего: они желали бы видеть естественный отбор в действии, пронаблюдать эволюционные изменения при жизни. Нетрудно принять, например, идею о том, что естественный отбор мог вызвать эволюцию китов из сухопутных животных много миллионов лет назад, но это было очень давно, а идея естественного отбора почему-то становится более притягательной, если увидеть его своими глазами.

Это требование увидеть отбор и эволюцию в режиме реального времени – явление вполне понятное, но любопытное. В конце концов, мы с легкостью принимаем тот факт, что Большой Каньон образовался за счет незаметного воздействия реки Колорадо в течение многих миллионов лет, хотя сами мы на протяжении своей жизни не можем увидеть, как он становится глубже. Однако некоторым людям не удается приложить к эволюции свою способность экстраполировать воздействие времени на геологические процессы. В таком случае, как нам определить, что естественный отбор был важным эволюционным фактором? Понятно, что нам не по плечу проиграть заново эволюцию китов из сухопутных животных, чтобы проследить репродуктивное преимущество каждого маленького шага, который привел китов обратно в воду. Однако если бы мы могли посмотреть, как отбор порождает маленькие изменения в течение лишь нескольких поколений, то, возможно, нам стало бы легче принять мысль, что за миллионы лет подобные типы отбора могли породить крупные адаптивные изменения, которые зафиксированы в палеонтологической летописи.

Доказательства отбора можно найти в самых разных областях. Самая наглядная и очевидная – это искусственный отбор (селекция), применяемый при разведении растений и животных. Он, как ясно представлял Дарвин, служит отличной параллелью естественному отбору. Мы знаем, что заводчики и селекционеры творили и творят чудеса, преобразая дикие растения и животных в совершенно иные формы, которые съедобны или удовлетворяют наши эстетические потребности. Мы также знаем, что эти новые породы были выведены за счет отбора по признакам, которые присутствовали у дикого предка растения или животного. Кроме того, нам известно, что искусственный отбор произвел крупные изменения за удивительно короткий период, потому что разведением животных и растений люди занимаются всего несколько тысяч лет.

Давайте возьмем для примера одомашненную собаку (*Canis lupus familiaris*) – один вид, который представлен множеством форм, размеров, окрасов и темпераментов. Любая собака, чистопородная или дворняга, происходит от единственного предкового вида, вероятнее всего, от евразийского серого волка, которого люди начали разводить примерно 10 000 лет назад. По данным Американского кинологического клуба, существует около 150 различных пород, многие из которых вам отлично знакомы: крошечные нервные чихуахуа, возможно, изначально выведенные тольтеками в Мехико для употребления в пищу; могучие сенбернары с густой шерстью, обученные отыскивать занесенных снегом путешественников и приносить им фляжку с бренди; борзые, приспособленные для охоты и потому длинноногие, с обтекаемой формой тела; длинные, приземистые, коротконогие и остромордые таксы, идеальные охотники на норных животных; ретриверы, выведенные, чтобы приносить подстреленную дичь из водоемов; пушистые шпицы, пригодные в качестве комнатной собачки, живой игрушки. Селекционеры буквально лепили облик каждой из этих собак по своему вкусу и требованиям, меняя окрас и густоту шерсти, длину и остроту ушей, размер и форму скелетов, повадки и темперамент и почти все остальное.

Только представьте себе, какое разнообразие предстало бы вашим глазам, если собрать все породы собак вместе! Если бы по каким-то причинам все известные породы существовали только в виде ископаемых, палеонтологи сочли бы, что перед ними не один биологический вид, а множество – уж точно гораздо больше, чем 36

видов дикой собаки, которые живут в природе сейчас. На практике разнообразие и вариации среди одомашненных собак намного превосходят собак диких. Вот хотя бы одна черта: вес одомашненных собак варьирует в диапазоне от чихуахуа, который весит меньше килограмма, до английского мастиффа, весящего все восемьдесят, и это в то время как у диких собак – от одного до примерно тридцати килограммов. И в дикой природе совершенно точно не встречается собак с фигурой таксы или мордой мопса.

Успешное разведение собак подтверждает два из трех требований к эволюции путем естественного отбора. Во-первых, в предковой линии собак был широкий спектр вариаций по окрасу, размеру, форме тела и поведению, который и дал возможность выводить новые породы искусственным путем. Во-вторых, часть этих вариаций была порождена генетическими мутациями, которые могли быть унаследованы, потому что, если бы они не наследовались, селекционеры бы не добились успеха. Самое удивительное в разведении собак – то, как быстро оно дает результаты. Все эти породы были выведены меньше чем за 10 000 лет, т. е. лишь за 0,1 % времени, которое потребовалось видам дикой собаки, чтобы ответить на общий предка в природе. Если *искусственный* отбор способен порождать такое многообразие собак и так быстро, то становится легче принять идею, что куда меньшее разнообразие видов диких собак было порождено *естественным* отбором за период в тысячи раз длиннее.

Между искусственным и естественным отбором есть лишь одно различие. В искусственном отборе сортировщиком вариаций на «плохие» и «хорошие» выступает сам селекционер, а не природа. Иными словами, критерием репродуктивного успеха становится желание человека, а не адаптация к природному окружению. Иногда эти критерии совпадают. Возьмем, к примеру, борзую, которая была выведена ради быстроты и по своему строению во многом развивалась тем же путем, что и гепард. Это пример конвергентной эволюции: сходное воздействие отбора порождает похожие результаты.

Собака служит подтверждением успеха и других программ разведения. Как заметил Дарвин в «Происхождении видов»: «Животноводы обычно говорят об организации животного как о чем-то пластическом, что они могут лепить почти по желанию». Коровы, овцы, свиньи, цветы, овощи и т. д. – все они появились вследствие того, что человек отбирал варианты, которые присутствовали у диких предков, или варианты, которые появились вследствие мутации в ходе одомашнивания (доместикации). Путем селекции поджарая дикая индейка превратилась в наше одомашненное, раскормленное и практически безвкусное чудовище с праздничного стола с такой огромной грудкой, что самцы домашней индейки больше не могут взбираться на самок, которых поэтому приходится оплодотворять искусственно. Сам Дарвин разводил голубей и описал великое разнообразие повадок и внешнего облика различных пород, выведенных от дикого сизого голубя. Вы не узнали бы предка наших кукурузных початков, который представлял собой неприметную траву. Дикий предок помидоров весил всего несколько грамм, но теперь селекционеры превратили его в почти килограммового (и тоже безвкусного) бегемота с непомерным сроком хранения. Дикая капуста послужила прародительницей нескольким разным овощам: брокколи, капусте огородной, кольраби, брюссельской капусте и цветной капусте, и каждая разновидность была выведена, чтобы модифицировать какую-то конкретную часть растения (например, брокколи представляет собой всего лишь плотный увеличенный пучок соцветий). А одомашнивание всех диких зерновых растений произошло меньше чем за последние 12 000 лет.

Поэтому неудивительно, что Дарвин начал «Происхождение видов» не с обсуждения естественного отбора или эволюции в дикой природе, но с главы под названием «Изменение под влиянием одомашнивания», посвященной разведению животных и растений. Он знал, что если публика сумеет принять искусственный отбор – а ей придется, потому что его успех очевиден, – то ей будет легче совершить переход к естественному отбору. Дарвин писал:

При доместикации организация, можно сказать, становится до известной степени

пластичной... Мы видим, что полезные для человека вариации, несомненно, появлялись; можно ли в таком случае считать невероятным, что другие вариации, полезные в каком-нибудь отношении для каждого существа в великой и сложной жизненной битве, появятся в длинном ряде последовательных поколений?

Поскольку одомашнивание диких видов произошло за сравнительно короткий отрезок времени после возникновения человеческой цивилизации, Дарвин знал, что читателю будет не так уж трудно принять мысль о том, что естественный отбор мог породить куда большее разнообразие за более длительный период.

Эволюция в пробирке

Можно пойти дальше. Вместо селекционеров, которые выводят варианты, которые нам нравятся, тому же процессу можно позволить «естественно» развиваться в лаборатории, подвергая популяцию в неволе воздействию новых экологических факторов. Легче всего проделать это с такими микроорганизмами, как бактерии, которые способны делиться очень часто, каждые двадцать минут, тем самым позволяя нам наблюдать эволюционные изменения через тысячи поколений в режиме реального времени. И это будут подлинные эволюционные изменения, в которых проявляются все три условия эволюции путем отбора: изменчивость, наследственность и естественный отбор. Хотя экологические факторы в данном случае создаются человеком, такие эксперименты ближе к природе, чем искусственный отбор, потому что человек не выбирает, какие особи будут размножаться.

Давайте начнем с простых адаптаций. Микробы умеют адаптироваться практически к любым воздействиям, которым ученые подвергают их в лабораторных условиях: высокой или низкой температуре, антибиотикам, токсинам, голоду, новым питательным веществам, а также к своим природным врагам, вирусам. Наверно, самое длительное исследование такого типа было проведено Ричардом Ленски в Университете штата Мичиган. В 1988 г. Ленски взял генетически идентичные штаммы обычной бактерии – кишечной палочки (*E. coli*) – и поместил в условия, в которых их пищу, сахарную глюкозу, каждый день урезали, а затем на следующий день восстанавливали ее прежнее количество. Следовательно, этот эксперимент был тестом на то, способен ли микроб приспособиться к условиям, когда изобилие пищи чередуется с ее нехваткой – «то густо, то пусто». На протяжении следующих 18 лет (а это 40 000 поколений бактерий) бактерия продолжала накапливать новые мутации, адаптируясь к этим новым условиям. Теперь, в условиях неравномерного питания, бактерия размножается на 70 % быстрее, чем изначальный штамм, не подвергавшийся селекции. Кишечная палочка продолжает эволюционировать, и Ленски вместе с коллегами идентифицировали по меньшей мере девять генов, мутации в которых привели к возникновению адаптаций.

Но адаптации в лабораторных условиях бывают и более сложными – вплоть до эволюции целых новых биохимических систем. Возможно, крайней мерой воздействия и испытания было бы просто убрать ген, который нужен микробу, чтобы выжить в определенной окружающей среде, и посмотреть, как микроб отреагирует. Сможет ли он эволюционным путем справиться с этой задачей? Ответ обычно положительный. В ходе подобного впечатляющего эксперимента Барри Холл и его коллеги в Рочестерском университете начали исследование с того, что удалили у *E. coli* ген. Этот ген вырабатывает фермент, который позволяет бактерии расщеплять дисахарид лактозу на простые сахара, которые могут быть использованы в пищу. Бактерия, лишенная этого гена, была затем помещена в среду, где единственным источником пищи была лактоза. Конечно, изначально у бактерии не было нужного фермента, и она не могла расти. Но через небольшое время функцию изъятых генов взял на себя ген, производящий другой фермент, который раньше не умел расщеплять лактозу, а теперь в слабой степени начал это делать благодаря новой мутации. В конечном итоге произошла еще одна адаптивная мутация, которая увеличила количество нового фермента, так что теперь бактерия могла потреблять еще больше лактозы. Наконец, произошла и третья мутация: мутировал другой ген, что позволило бактерии с большей легкостью добывать лактозу из окружающей среды. В совокупности этот эксперимент показал эволюцию сложного метаболического пути, который позволил бактерии расти и размножаться, питаясь веществом, ранее непригодным в пищу. Эксперимент этот не только доказывает эволюцию, но и преподносит два важных урока. Во-первых, несмотря на утверждения креационистов, что подобное невозможно, естественный отбор может способствовать эволюции сложных систем сопряженных биохимических реакций, все части которых взаимосвязаны. Во-вторых, как мы неоднократно убеждались, отбор не создает новых черт с нуля и из ниоткуда, а порождает «новые» адаптации, модифицируя черты, существовавшие

ранее.

Мы можем даже наблюдать появление новых, экологически различающихся видов бактерий, и все это в пределах одной лабораторной колбы. Пол Рейни и его коллеги в Оклендском университете поместили штамм бактерии флуоресцирующей псевдомонады (*Pseudomonas fluorescens*) в небольшой сосуд с питательной жидкой средой и просто наблюдали, что будет. (Удивительно, но факт: такой сосуд на самом деле содержит разные среды обитания. Например, концентрация кислорода выше всего в верхней части колбы и ниже всего на дне). За десять дней – а для бактерий это больше нескольких сотен поколений – свободно плававшая «гладкая морфа» (форма) бактерии эволюционировала и дала две дополнительные формы, которые заняли разные части колбы. Одна, которую назвали морщинистая морфа, сформировала слой в верхней части питательной среды. Вторая, ворсистая морфа, создала подстилку на дне. Предковая форма – гладкая бактерия – продолжала оставаться в жидкой питательной среде в середине колбы. Каждая из двух новых форм генетически отличалась от предковой; обе развились путем мутаций и естественного отбора так, чтобы наилучшим образом размножаться в своей среде обитания. Здесь мы видим, как в лабораторных условиях разворачивается не только эволюция, но и происходит видообразование: предковая форма произвела двух экологически отличающихся потомков и сосуществует с ними, а у бактерий такие формы считаются отдельными видами. За очень короткий период времени естественный отбор псевдомонады привел к «адаптивной радиации» в малом масштабе – аналогу того, как животные и растения создают новые виды, когда сталкиваются с новой средой обитания на океаническом острове.

Устойчивость к лекарствам и ядам

Когда в 1940-е гг. впервые были изобретены антибиотики, все надеялись, что они наконец-то решат проблему инфекционных заболеваний, вызываемых бактериями. Лекарства действовали так хорошо, что практически всех носителей туберкулеза, стрептококковой ангины или пневмонии, казалось, можно было вылечить парой простых уколов или баночкой таблеток. Но мы забыли о естественном отборе. С учетом огромного размера популяции и скорости размножения (эти черты делают бактерий идеальным объектом лабораторного изучения эволюции) шансы появления мутации, которая приведет к выработке устойчивости (резистентности) к антибиотикам, были высоки. А бактерии, резистентные к антибиотикам, будут именно теми, которые выживут, оставив после себя генетически идентичное потомство, также лекарственно-резистентное. В конечном итоге эффективность лекарства идет на спад, и перед нами снова медицинская проблема. Это стало критической ситуацией при лечении некоторых болезней. Например, сейчас существуют штаммы туберкулезных бактерий, развивших резистентность ко всем лекарствам, которые против них применяли врачи. После долгого периода успешного лечения и медицинского оптимизма туберкулез вновь становится смертельно опасным заболеванием.

Это естественный отбор в чистом виде. Каждый знает об устойчивости к лекарствам, но зачастую мы не понимаем, что это один из самых наглядных примеров естественного отбора в действии. (Существует этот феномен во времена Дарвина, он непременно сделал бы его главным примером в «Происхождении видов».) Широко распространено убеждение, что резистентность к лекарствам появляется потому, что сами пациенты каким-то образом меняются так, что лекарство теряет эффективность. Но это неверно: она возникает из-за эволюции микроорганизмов, а не из-за привыкания пациентов к лекарствам.

Другой наглядный пример отбора – это устойчивость к пенициллину. Когда пенициллин впервые появился в начале 1940-х гг., он считался чудо-лекарством, особенно эффективно излечивавшим инфекции, вызванные стафилококком *Staphylococcus aureus*. В 1941 г. пенициллин мог уничтожить все штаммы стафилококка в мире. Теперь, 70 лет спустя, более 95 % штаммов стафилококка резистентны к пенициллину. Что произошло? У отдельных бактерий произошли мутации, которые сделали их способными разрушать лекарство, и, конечно, эти мутации распространились по всему миру. Фармацевтическая промышленность в ответ разработала новый антибиотик – метициллин, но даже он сейчас становится бессильным перед очередными новыми мутациями. В обоих случаях ученые точно установили, какие именно изменения в ДНК бактерии породили устойчивость к лекарствам.

Вирусы, самая крошечная из эволюционирующих форм жизни, также развили резистентность к противовирусным лекарствам, в особенности к азидотимидину, препятствующему вирусу иммунодефицита человека (ВИЧ) воспроизводиться в зараженном организме. Эволюция происходит даже в теле отдельно взятого пациента, поскольку вирус умеет мутировать с бешеной скоростью, что в конечном итоге приводит к возникновению резистентности и лишает азидотимидин всякой эффективности. Сейчас нам удастся держать ВИЧ в узде с помощью ежедневного приема коктейля из трех лекарств, и если история способна что-то подсказать, то и это сочетание в конце концов окажется бессильным.

Эволюция резистентности приводит к гонке вооружений между людьми и микроорганизмами, в которой в победителях оказываются не только бактерии, но и фармацевтическая промышленность, постоянно разрабатывающая новые лекарства, чтобы преодолеть снизившуюся эффективность устаревших. Но, к счастью, есть яркие случаи, когда микроорганизмам не удалось выработать резистентность к лекарствам. (Не будем забывать, что теория эволюции не прогнозировала, что эволюционировать будет абсолютно все: если нужные мутации не могут появиться или не появляются, эволюции не происходит.) Например, одна из форм стрептококка (*Streptococcus*) вызывает ангину, часто поражающую детей.

Этим бактериям не удалось выработать ни малейшей резистентности к пенициллину, который по-прежнему эффективен против стрептококка. И, в отличие от вируса гриппа, вирусы полиомиелита и кори не выработали устойчивости к вакцинам, которые успешно используются против этих болезней вот уже 50 лет.

Но другие виды посредством естественного отбора все-таки адаптировались к изменениям в среде обитания, причиной которых является человек. Так, насекомые выработали устойчивость к ДДТ и другим пестицидам, растения адаптировались к гербицидам, а грибы, черви и водоросли развили устойчивость к тяжелым металлам, загрязнившим их окружающую среду. Практически всегда находится несколько особей с удачными мутациями, которые позволяют им выжить и размножиться, быстро способствуя эволюции от чувствительной к тем или иным условиям популяции к устойчивой. Разумно заключить, что, когда популяция сталкивается со стрессом, который исходит не от людей, например с переменной температуры, солености или осадков, естественный отбор зачастую отвечает на это появлением адаптаций.

Отбор в дикой природе

Реакции, которые мы наблюдали в ответ на стрессовое воздействие со стороны человека и химических веществ, представляют собой проявления естественного отбора во всех возможных смыслах. Хотя факторы отбора создаются искусственным путем, людьми, но реакция на них совершенно естественна и, как мы уже убедились, может быть довольно сложной. Но, возможно, еще убедительнее выглядят те же процессы в действии в дикой природе без человеческого вмешательства. В дикой природе мы можем пронаблюдать, как природная популяция сталкивается с природными же стрессами, установить, в чем заключается воздействие, и увидеть, как популяция эволюционирует у нас на глазах.

Не стоит рассчитывать, что такие обстоятельства будут встречаться часто. Во-первых, естественный отбор в дикой природе чаще всего происходит крайне медленно. Например, эволюция оперения, возможно, заняла сотни тысяч лет. Даже если бы перья развивались в наши дни, нам бы просто не удалось наблюдать этот процесс в режиме реального времени, не говоря о том, чтобы установить, какой тип отбора действовал, заставляя перья увеличиваться. Если нам удастся вообще увидеть естественный отбор в дикой природе, то это должен быть *сильный* отбор, вызывающий быстрые перемены, и нам лучше искать среди животных и растений, у которых время между сменами генераций короткое, так что эволюционные изменения можно увидеть в течение нескольких поколений. И лучше нам поискать пример не среди бактерий: публика хочет увидеть естественный отбор у так называемых «высших» растений и животных.

Во-вторых, не стоит рассчитывать, что мы увидим нечто большее, чем маленькие изменения одного или нескольких признаков биологического вида (*микроэволюционные* изменения). Учитывая постепенный характер эволюции, не стоит ожидать, что нам удастся засвидетельствовать, как отбор трансформирует один «тип» растения или животного в другой – так называемую *макроэволюцию* – в течение одной человеческой жизни. Хотя макроэволюция и происходит в наши дни, но мы просто не проживем столько, чтобы увидеть ее плоды. Помните: вопрос не в том, *происходят ли* макроэволюционные перемены (благодаря палеонтологической летописи мы уже знаем, что происходят), но в том, были ли они вызваны естественным отбором и способен ли естественный отбор создавать сложные черты и организмы.

Еще один фактор, который не позволяет наблюдать отбор в режиме реального времени, состоит в том, что самый распространенный тип естественного отбора не приводит к изменениям видов. Каждый вид очень неплохо адаптирован, а это означает, что отбор уже привел его в соответствие с окружающей средой. Случаи изменений, которые происходят, когда вид сталкивается с новыми экологическими условиями, возможно, относительно редки по сравнению с периодами, когда никаких изменений нет и адаптироваться не к чему. Однако это не означает, что отбор не происходит. Например, если у некоего вида птиц развился оптимальный для окружающей среды размер тела и если эта среда не меняется, то отбор проявляется лишь в том, чтобы отбраковывать особей, которые больше или меньше оптимального размера. Однако такой тип отбора, называемый *стабилизирующим отбором*, не изменит средний размер птицы: если вы рассмотрите популяцию и сравните два ее поколения, то никаких особых перемен не заметите (хотя гены, отвечающие за появление как слишком больших, так и слишком маленьких особей были уничтожены). Это же явление наблюдается, например, у новорожденных детей применительно к их весу при рождении. Статистика родильных домов стабильно показывает, что новорожденные, у которых при рождении средний вес составляет около 3,5 кг, и в США, и Европе выживают лучше, чем новорожденные с меньшим весом (т. е. или недоношенные, или рожденные плохо питавшимися матерями) или с большим весом (такие обычно рождаются с трудом).

Следовательно, если мы хотим наблюдать за отбором в действии, нам нужно искать среди видов с быстрым воспроизведением и адаптирующихся к новой среде. Такое,

вероятнее всего, произойдет с видами, которые или вторгаются в новые места обитания, или подвергаются воздействию серьезных и резких изменений окружающей среды. И в самом деле, подходящие наглядные примеры обнаруживаются именно среди таких видов.

Самый известный пример я не буду здесь расписывать подробно, поскольку он уже неоднократно и детально изображался во множестве других источников (см., например, превосходную книгу Джонатана Вайнера «Клюв вьюрка: История эволюции в наше время» (*The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time*) – это пример адаптации птицы к аномальным переменам климата). Среднего земляного вьюрка (*Geospiza fortis*) Галапагосских островов в течение нескольких десятилетий изучали Питер и Розмари Грант вместе со своими коллегами из Принстонского университета. В 1977 г. из-за сильнейшей засухи на острове Галапагосского архипелага Дафне Майор катастрофически истощился запас семян. Вьюрок, который в обычных условиях предпочитает мелкие мягкие семена, был вынужден питаться более жесткими и крупными. Эксперименты показали, что более твердые семена легко разгрызает только птицам покрупнее, у которых и клювы крепче и больше. В результате во всей популяции досыта питались только более крупные особи, а вьюрки поменьше или умирали от голода, или слишком плохо питались, чтобы размножаться. Вьюрки с более крупными клювами оставили больше потомства, и к следующему поколению естественный отбор увеличил размер клюва на 10 % (размер тела у вьюрка также увеличился). Для эволюционного изменения это ошеломляющий темп, гораздо более быстрый, чем любое изменение, зафиксированное в палеонтологической летописи. Для сравнения: мозг в родословной человека в среднем увеличивается на 0,001 % за поколение. Все условия, необходимые для эволюции путем естественного отбора, Гранты и их коллеги зафиксировали в других исследованиях: особи внутри изначальной популяции варьировали по толщине клюва, в большой степени эти вариации были генетически обусловлены, и количество потомства, которое оставляли особи с клювами разного размера, изменялось в *предсказуемом направлении*.

Учитывая, как важна для выживания пища, способность добывать, есть и переваривать ее – это мощная сила естественного отбора. Многие насекомые проявляют пищевую избирательность: они питаются и откладывают яйца только на одном или нескольких видах растений. В таких случаях насекомому требуются адаптации, чтобы употреблять в пищу определенные растения, в том числе подходящие органы пищеварения, чтобы получать из растения питательные вещества, особый метаболизм, который позволит детоксицировать любые растительные яды, и такой репродуктивный цикл, при котором потомство производится тогда, когда есть пища (т. е. когда у растений период плодоношения). Поскольку существует множество связанных пар насекомых и растений, которыми они питаются, то за время эволюции переключения с одного растения на другое должны были происходить множество раз. Эти переключения, представляющие собой аналог переселения в новую среду обитания, неизбежно должны были сопровождаться сильным отбором.

На практике мы наблюдали такой процесс в последние несколько десятилетий у клопа *Jadera haematoloma* в Новом Свете. *Jadera haematoloma* живет в разных частях Соединенных Штатов на двух местных растениях: мыльном дереве в южно-центральной части США и кардиоспермуме халикаабском в южной Флориде. Своим длинным, похожим на иглу хоботком клоп протыкает плоды этих растений и выедает семена, разжижая их содержимое и высасывая. Но за последние 50 лет клоп освоил питание тремя другими растениями, завезенными в эту среду обитания. Плоды этих растений по размеру сильно отличаются от плодов растений-хозяев: у двух они намного крупнее, а у третьего гораздо меньше.

Скотт Кэрролл и его коллеги предсказали, что эта смена растения-хозяина приведет с помощью естественного отбора к изменению размера хоботка у клопа. У клопов, обитающих на растениях с более крупными плодами, неизбежно разовьется более длинный хоботок, помогающий добираться до плодов, а клопы,

колонизировавшие растения с плодами помельче, будут эволюционировать в противоположном направлении. Именно так и произошло, причем за несколько десятилетий размер хоботка у клопа изменился приблизительно на 25 %. Может показаться, что это не так уж много, но по эволюционным меркам это колоссальные изменения, особенно за короткий период в сто поколений. Если представить это в перспективе, то, если бы хоботок клопа эволюционировал в таком темпе и дальше на протяжении 10 000 поколений (5000 лет), он увеличился бы примерно в 5 млн раз, достиг 3000 км в длину и клоп смог бы выесть этим хоботком плоды размером с Луну! Конечно, я привожу эти фантастические и несбыточные параметры только для того, чтобы показать кумулятивную силу изменений, которые кажутся небольшими.

Вот еще одно предсказание: в условиях продолжительной засухи естественный отбор должен привести к эволюции растений, которые зацветают раньше, чем их предки. Произойдет это потому, что во время засухи почва после дождей высыхает очень быстро. Если вы – растение, которое не умеет быстро цвести и давать семена в засуху, потомства вы не оставите. В то же время при нормальных погодных условиях выгоднее отложить цветение и подождать с ним, пока не вырастешь побольше и не произведешь больше семян.

Это предсказание было проверено в естественном эксперименте с участием дикой репы (*Brassica rapa*), завезенной в Калифорнию примерно 300 лет назад. С 2000 г. Южная Калифорния в течение пяти лет страдала от сильнейшей засухи. Артур Уэйс и его коллеги из Калифорнийского университета измерили время цветения репы в начале и в конце этого периода. И, разумеется, естественный отбор изменил время цветения в точности согласно предсказанию: после засухи растение начало цвести на неделю раньше, чем цвели его предки.

Найдется еще много примеров, но все они подтверждают одно и то же: мы можем стать очевидцами естественного отбора, ведущего к улучшению приспособленности. В книге биолога Джона Эндлера «Естественный отбор в дикой природе» (*Natural Selection in the Wild*) приведено более 150 исследованных случаев эволюции, и примерно в трети случаев отчетливо видно, как именно действует естественный отбор. Мы видим, как плодовые мушки адаптируются к экстремальным температурам, пчелы – к конкурентам, а гуппи приобретают более тусклый окрас, чтобы их не заметили хищники. Сколько еще примеров требуется?

Может ли отбор породить сложные структуры?

Но даже если мы согласимся, что естественный отбор в природе работает, каков именно объем его работы на самом деле? Да, конечно, отбор может изменить клюв птицы или время цветения растения, но может ли он породить *сложные структуры*? Как насчет таких замысловатых черт, как, например, конечности у четвероногих (тетрапод), или изошренных биохимических адаптаций наподобие свертывания крови, которая закрепляет четкую последовательность этапов, включающих много белков? А как насчет, пожалуй, самого сложного аппарата, когда-либо существовавшего на свете, – человеческого мозга?

Здесь мы сталкиваемся с некоторым затруднением, потому что, как нам известно, эволюция сложных структур занимает больше времени, и значительная их часть уже успела развиться в далеком прошлом, когда нас не было и мы не имели возможности проследить, как это происходило. Поэтому как мы можем быть уверены, что естественный отбор *участвовал* в процессе? Откуда нам знать, что креационисты заблуждаются, утверждая, что отбор способен на малые изменения в организмах, но ему не по силам произвести крупные изменения?

Однако прежде всего следует спросить: а какова альтернативная теория? Ни о каком другом естественном процессе, который мог бы породить сложную адаптацию, нам не известно. Та альтернатива, которую выдвигают чаще всего, относится к области сверхъестественного. Разумеется, речь о креационизме, последнее воплощение которого известно под названием разумное творение. Сторонники теории разумного творения утверждают, что сверхъестественный высший творец неоднократно вмешивался в историю жизни на Земле или же мгновенно создавая сложные адаптации, которые, как предполагают креационисты, естественному отбору не по силам, или же производя «чудесные мутации», который не могут возникнуть случайно. (Некоторые сторонники теории разумного творения заходят еще дальше: это экстремисты от креационизма, создавшие теорию молодой Земли и верящие, что Земле всего 6000 лет и жизнь на ней вообще не имеет эволюционной истории.)

В основном теория разумного творения антинаучна, поскольку главным образом состоит из ничем не подкрепленных и недоказанных утверждений. Например, как нам определить, были ли мутации простой случайностью при репликации ДНК или же возникли по воле некоего высшего творца? Но мы все-таки можем задаться вопросом, есть ли адаптации, которые *не могли быть вызваны естественным отбором* и потому заставляют нас предположить, что существовал еще какой-то механизм. Сторонники теории разумного творения заявляли о нескольких таких адаптациях, в частности о бактериальном жгутике (маленьком, похожем на волосок аппарате со сложным молекулярным двигателем, с помощью которого некоторые бактерии движутся) и о механизме свертывания крови. Да, в самом деле, это сложные черты: например, бактериальный жгутик состоит из десятка отдельных белков, и все они должны работать согласованно, чтобы «двигатель» функционировал.

Сторонники разумного творения утверждают, что такие структуры, состоящие из множества частей, которые должны согласованно работать, чтобы структура функционировала, якобы опровергают дарвиновское объяснение. Поэтому они, по умолчанию, просто неизбежно представляют собой творение сверхъестественной силы. Этот аргумент обычно называют Богом пробелов, и он идет в ход благодаря невежеству. На деле он показывает вот что: если мы не *полностью* понимаем, как естественный отбор создает тот или иной признак, недостаток понимания сам по себе служит доказательством сверхъестественного творения.

Думаю, вы уже увидели, почему этот аргумент совершенно несостоятелен. Мы никогда не сможем целиком реконструировать процесс естественного отбора и то, как он создал все: эволюция произошла задолго до нашего появления на свет, и кое-что навсегда останется непостижимым. Но эволюционная биология подобна любой другой науке: в ней есть свои тайны, многие из них удастся раскрыть, одну

за другой. Например, мы уже знаем, откуда появились птицы: никто не создавал их с нуля (как любили утверждать креационисты), они постепенно произошли от динозавров. И каждый раз как оказывается разгадана очередная загадка, теория разумного творения вынуждена отступить. Поскольку сама теория разумного творения неспособна выдвинуть научные и доступные для проверки аргументы, а предъявляет лишь поверхностную критику в адрес дарвинизма, то с каждым новым шагом к пониманию эволюции достоверность этой теории слабеет. К тому же с помощью объяснения возникновения сложных структур, которое предлагает теория разумного творения – прихоти сверхъестественного творца, – можно истолковать вообще *любое* мыслимое наблюдение в природе. Может, даже то, что жизнь выглядит как следствие эволюции, тоже объясняется прихотью творца (судя по всему, многие креационисты верят в это, хотя мало кто из них отваживается это признать). Но если вы не в состоянии найти наблюдение, которое бы опровергало теорию, то эта теория просто антинаучна.

Однако как же нам опровергнуть утверждение теоретиков разумного творения, заявляющих, что некоторые черты просто отрицают какое бы то ни было происхождение путем естественного отбора? В таких случаях эволюционные биологи не обязаны набрасывать подробный пошаговый сценарий того, как появилась сложная структура. Для этого потребовалось бы знать все о далеком прошлом, когда нас еще не было на свете, а для большинства признаков и почти для всех биохимических процессов это невозможно. Опровергая утверждение креационистов о том, что бактериальный жгут не мог развиваться эволюционным путем, биохимики Форд Дулиттл и Ольга Жаксыбаева заявили: «Эволюционистам нет нужды принимать вызов и отвечать на немыслимые требования проследить каждую деталь эволюции жгутика. Нам нужно лишь показать, что подобное развитие, включающее процессы и компоненты, напоминающие уже известные нам и подтвержденные нами, в принципе выполнимо». Под «выполнимо» подразумевалось, что у каждой новой черты неизбежно был эволюционный предшественник и что эволюция такой черты не идет вразрез с дарвинистским требованием, согласно которому каждый шаг в адаптации идет на пользу ее обладателю.

И впрямь, нам не известно ни одной адаптации, происхождение которой могло бы обойтись без естественного отбора. Как мы можем быть в этом уверены? Применительно к анатомическим чертам мы можем просто проследить их развитие (когда это возможно) по палеонтологической летописи и увидеть, в каком порядке происходили разнообразные изменения. Затем мы можем определить, согласовывается ли по крайней мере последовательность изменений с постепенным процессом адаптации. И в каждом случае мы можем найти хотя бы правдоподобное дарвинистское объяснение. Эту закономерность мы наблюдали на примере превращения рыб в наземных животных в результате эволюции, или наземных животных в китов, или рептилий в птиц. Дело не обязательно должно обстоять именно так. Например, постепенное перемещение ноздрей на макушку у предкового вида китов могло произойти раньше, чем у них развились ласты. Это могло бы быть удачным ходом творца, но не могло возникнуть путем естественного отбора. Однако мы всегда видим эволюционный порядок, в котором есть дарвинистская логика.

Понять эволюцию сложных биохимических процессов и метаболических путей не так-то просто, поскольку в палеонтологической летописи они следов не оставили. Их эволюцию приходится реконструировать более спекулятивными способами, пытаюсь понять, как эти пути метаболизма могли сложиться из более простых биохимических предшественников. Мы хотели бы установить, какие шаги привели к появлению этих сложных черт, увидеть, повышал ли очередной шаг приспособленность организма.

Хотя сторонники теории разумного творения заявляют, что и биохимические процессы находятся в руках высшего творца, благодаря упорным научным исследованиям уже начинают вырисовываться правдоподобные сценарии, которые можно проверить научным путем, – сценарии того, как развились эти черты.

Давайте для примера рассмотрим, как развивался механизм свертывания крови у позвоночных. Процесс состоит из цепочки событий, которая начинается с того, что в поврежденном кровеносном сосуде происходит агрегация белков. Это запускает сложную каскадную реакцию, состоящую из 16 этапов, каждый из которых включает взаимодействие двух разных пар белков. Процесс завершается формированием сгустка крови. В целом в этом участвует более двадцати разных белков. Как, предположительно, мог выработаться такой процесс?

Пока нам это в точности не известно, но у нас есть доказательства того, что система могла сложиться в результате адаптивных изменений из более простых процессов. Многие белки, участвующие в свертывании крови, контролируются родственными генами, которые возникают путем дупликации – мутации, при которой предковый ген, а позже его потомки полностью удваиваются из-за ошибки в ходе деления клеток. Впоследствии эти дублицированные гены могут эволюционировать в разном направлении и в конечном итоге начать выполнять разные функции, что и происходит в процессе свертывания крови в его нынешнем виде. Мы знаем, что в группах, которые появились до позвоночных, ряд белков и ферментов, участвующих в этом процессе, имели другие функции. Например, ключевую роль в свертывании крови играет белок под названием фибриноген, который растворен в плазме крови. На последнем этапе свертывания крови этот белок расщепляется ферментом, и образующиеся при этом пептиды, которые называются фибринами, склеиваются друг с другом и формируют нерастворимый сгусток, завершая процесс свертывания. Поскольку фибриноген в качестве фактора свертывания крови присутствует у всех позвоночных, по-видимому, он развился из белка, который нес иную функцию у живших раньше предковых видов позвоночных, лишенных механизмов свертывания крови. Хотя разумный творец и мог бы создать подходящий белок, эволюция так не действует. Обязательно должен был существовать некий предковый белок, из которого и развился фибриноген.

Рассел Дулиттл из Калифорнийского университета предсказал, что такой предковый белок будет обнаружен, и, разумеется, в 1990 г. Дулиттл и его коллега Сюнь Сюй обнаружили этот белок в морском огурце – беспозвоночном, которое иногда используется в китайской кухне. Морские огурцы отделились от эволюционной ветви позвоночных по меньшей мере 500 млн лет назад, но тем не менее у них имеется белок, который, явно будучи родственником тому, что участвует в процессе свертывания крови, для этой цели не используется. Это означает, что у общего предка морских огурцов и позвоночных имелся ген, который у позвоночных позже был приспособлен для другой функции, в точном соответствии с эволюционным прогнозом. С тех пор и Дулиттл, и Кен Миллер, специалист по биологии клетки, успели выстроить достоверную адаптивную схему того, как весь каскад реакций свертывания крови развился из белков-предшественников. Все эти предшественники обнаруживаются у беспозвоночных, где несут другие функции, не связанные со свертыванием крови, и все они были введены позвоночными в работающую систему свертывания. Что касается эволюции бактериального жгутика, то, хотя пока что она еще не совсем ясна, уже известно, что в ней также задействовано множество белков, прежде участвовавших в других биохимических процессах.

Перед наукой зачастую встают сложные задачи, и, хотя мы до сих пор не понимаем, как возникла каждая из биохимических систем, с каждым днем мы узнаем об этом все больше. В конце концов, изучение эволюции биохимических процессов – пока еще очень молодая область исследований. Если история науки нас чему и учит, так это тому, что победить наше неведение можно, лишь продолжая исследования, но не сдавшись и не приписывая наше невежество чудесной работе верховного творца. Если услышите, что кто-то утверждает обратное, просто вспомните слова Дарвина: «Невежество гораздо чаще приводит к самоуверенности, нежели знание: малознающие, а не многознающие любят так уверенно утверждать, что та или иная задача никогда не будет решена наукой». Таким образом, оказывается, что, в принципе, эволюции ничего не стоило создать сложные биохимические системы. Но как насчет *времени*? Действительно ли естественному отбору хватало времени на то, чтобы создать и сложные адаптации,

и разнообразие форм жизни? Конечно, мы знаем, что у организмов было достаточно времени на то, чтобы эволюционировать – это подтверждается хотя бы палеонтологической летописью, – но достаточно ли силен был естественный отбор, чтобы производить такие перемены?

Один из возможных подходов состоит в том, чтобы сравнить темп эволюции в палеонтологической летописи с темпом, который мы наблюдаем в лабораторных экспериментах, где применяется искусственный отбор, или с историческими сведениями об эволюционных изменениях, которые произошли, когда виды колонизировали новую среду обитания в исторически установленные промежутки времени. Если эволюция, регистрируемая в палеонтологической летописи, оказалась бы намного быстрее, чем в лабораторных экспериментах или в ситуациях с колонизацией (в обоих случаях происходит сильный отбор), то возможно, нам пришлось бы задуматься, а вправду ли отбор может объяснить изменения, наблюдаемые у ископаемых. Но на самом деле результаты прямо противоположны. Филип Джинджерич из Мичиганского университета показал, что в лабораторных экспериментах или по результатам изучения случаев колонизации темп изменения размеров и формы тела животных оказывается во много крат быстрее, чем изменения ископаемых видов. При этом в случае отбора во время колонизации перемены происходят в 500 раз быстрее, чем у ископаемых, а в случае лабораторного эксперимента, имитирующего отбор, – почти в миллион раз быстрее. И даже самым быстрым изменениям в палеонтологической летописи не сравниться по темпу с *самыми медленными* изменениями, которые наблюдаются, когда человек производит отбор в лабораторных условиях. Более того, средний темп эволюции, наблюдаемый при исследованиях случаев колонизации, достаточно велик, чтобы при таком темпе всего за 10 000 лет мышь выросла до размеров слона!

Какой из этого следует вывод? Естественный отбор совершенно адекватно объясняет изменения, которые мы видим в палеонтологической летописи. Одна из причин, по которой этот вопрос вообще задают, состоит в том, что люди не способны оценить и понять, в каких колоссальных масштабах времени приходится работать естественному отбору. В конце концов, мы эволюционировали таким образом, чтобы справляться с тем, что происходит в течение нашего жизненного срока – возможно, на протяжении большей части нашей эволюционной истории этот срок составлял около 30 лет. Поэтому временной отрезок в 10 миллионов лет нам просто невозможно представить.

Наконец, можно ли достаточно убедительно объяснить естественным отбором такой *по-настоящему* сложный орган, как глаз? Глаз-«камера» позвоночных (и таких моллюсков, как кальмар и осьминог) некогда был излюбленным объектом креационистов. Обратив внимание на сложное строение зрачка, роговицы, хрусталика, сетчатки и т. д. (все это должно слаженно работать вместе, чтобы создавать зрительный образ), противники естественного отбора провозгласили, что глаз не мог сформироваться постепенно, шаг за шагом. Какая польза могла быть от недоглаза?

Дарвин в «Происхождении видов» ответил на это утверждение и блистательно опроверг его. Он проанализировал *существующие* биологические виды, чтобы проверить, не найдутся ли среди них обладатели функциональных, но не столь сложных глаз, которые бы не только работали, но и могли бы быть выстроены в гипотетическую последовательность, показывающую, как мог эволюционно развиваться глаз-«камера». Если это возможно (а это возможно), тогда аргумент, что естественному отбору не под силу создать глаз, рушится, потому что глаза существующих видов очевидно функциональны. Каждое улучшение глаза несет очевидные преимущества для особи, потому что помогает ей успешнее находить пищу, избегать хищников и ориентироваться в окружающей среде.

Возможная последовательность таких изменений начинается с простых глазных пятен, состоящих из светочувствительного пигмента, какие встречаются у плоских червей. Затем кожа собирается в складки, создавая углубление, которое защищает глазное пятно и позволяет ему лучше определять источник света. Такие глаза у

моллюсков – морских блюдечек. У головоногого моллюска под названием наутилус, или кораблик, мы наблюдаем дальнейшее сужение устья этого углубления, что позволяет получать более качественное изображение, а у многощетинковых червей семейства нереид углубление прикрыто прозрачной пленкой, защищающей устье. У брюхоногих моллюсков морских ушек (галиотисов) часть глазной жидкости сгустилась и образовала хрусталик, который помогает фокусировать свет, и у многих видов, в том числе у млекопитающих, близлежащие мышцы перепрофилировались, чтобы изменять форму хрусталика для фокусировки зрения. Эволюция сетчатки, оптического нерва и всего остального осуществляется с помощью естественного отбора. Каждый шаг этой гипотетической серии переходных этапов демонстрирует увеличение степени адаптации у обладателя глаза, потому что она позволяет глазу собирать больше света или формировать более четкие зрительные образы, а ведь и то и другое помогают выживанию и размножению. Каждый шаг этого процесса правдоподобен, потому что его можно наблюдать у отдельно взятого ныне существующего биологического вида. В конце этой последовательности получаем глаз, работающий по принципу камеры, чья адаптивная эволюция кажется до невозможности сложной. Однако сложность этого окончательного варианта глаза можно разложить на последовательность маленьких адаптивных шагов.

Но мы можем не только выстроить адаптивную последовательность, анализируя строение глаз существующих видов. Можно сделать кое-что еще более убедительное: начав с простого предшественника, смоделировать эволюцию глаза и посмотреть, превратит ли естественный отбор этого предшественника в обладателя более сложных глаз за разумный срок. Дан-Эрик Нильссон и Сюзанна Пелджер из Лундского университета в Швеции создали подобную математическую модель, начав с пятна светочувствительных клеток, снабженных пигментным слоем (сетчаткой). Затем они позволили тканям вокруг этой структуры произвольным образом деформироваться, ограничив объем изменений до 1 % размера или толщины на каждом из шагов. Чтобы имитировать естественный отбор, модель принимала только «мутации», которые улучшали качество изображения и отвергала ухудшавшие.

За поразительно короткий срок модель развилась в сложный глаз, пройдя стадии, сходные с развитием глаз у настоящих животных, описанные выше. Глаз начал формироваться внутри, создавая чашу, которая, в свою очередь, прикрылась прозрачной тканью, а внутренность чаши приобрела гелеподобную консистенцию, а затем сформировался не просто хрусталик, но хрусталик с параметрами, которые давали изображение наилучшего качества.

Таким путем эта модель, начиная с глазного пятна у плоского червя, породила нечто напоминающее сложный глаз позвоночного, пройдя через всю последовательность крошечных адаптивных шажков, которых, если быть точным, исследователи насчитали ровно 1829. Однако Нильссон и Пелджер также высчитали и длительность этого процесса. Для этого они сделали некоторые допущения о том, сколько генетических вариаций формы глаза существовало в популяции, которая подвергалась естественному отбору, и насколько сильно отбор будет благоприятствовать каждому полезному изменению размеров глаза. Эти предположения были намеренно консервативными, и исследователи предположили, что существовали не слишком большие количества генетических вариаций и естественный отбор был очень слабым. Тем не менее глаз развился очень быстро: весь процесс от слабого развитого светового пятна до глаза-камеры занял меньше 400 000 лет. Поскольку возраст самых ранних животных с глазами равен 550 млн лет, то, согласно этой модели, у сложного глаза было предостаточно времени на эволюцию и он мог развиться более 1500 раз. В реальности глаза развились по меньшей мере у сорока групп разных животных независимо друг от друга. Как сухо отметили Нильссон и Пелджер в своих записях: «Очевидно, что глаз никогда не представлял угрозу дарвиновской теории эволюции».

Итак, что мы теперь знаем? Нам известно, что некий процесс, такой как естественный отбор (как и селекции животных и растений), воздействовал на

генетическую изменчивость видов в дикой природе и породил масштабные «эволюционные» преобразования. Мы знаем, что эти преобразования могут быть гораздо глобальнее и быстрее, чем подлинные эволюционные перемены, имевшие место в прошлом. Мы убедились, что отбор работает в лаборатории на болезнетворных микроорганизмах, а также в дикой природе. Мы не отыскивали ни единой адаптации, которая не могла бы быть сформирована естественным отбором, и во многих случаях можем точно определить, как именно отбор ее создавал. А математические модели показывают, что естественный отбор в силах быстро и легко создавать сложные структуры. Вывод очевиден: мы можем предварительно утверждать, что естественный отбор послужил причиной *адаптивной* эволюции, хотя не *каждой* эволюционной черты, поскольку свою роль может сыграть и генетический дрейф.

Да, те, кто разводит животных, не превратили кошку в собаку, а лабораторные исследования не преобразовали бактерию в амёбу (хотя, как мы видели, в лабораторных условиях возникли новые виды бактерий). Однако глупо думать, что это серьезные возражения против естественного отбора. Большие преобразования занимают время – много времени. Чтобы на самом деле увидеть действие естественного отбора, нам нужно экстраполировать маленькие изменения, которые отбор создает в течение нашей жизни, на миллионы лет, которые ему требуются, чтобы осуществиться в природе. Точно так же нам не проследить, как Большой Каньон делается все глубже, но, глядя в эту огромную пропасть, по дну которой незаметно протачивает свой путь река Колорадо, усваиваешь самый важный урок дарвинизма: слабые силы, действующие в течение длительного времени, порождают огромные и важные перемены.

Вприроде мало существ могли бы соперничать с самцом павлина с его усеянным глазками переливчатым сине-зеленым хвостом, расправленным во всей красе роскошным веером позади сапфирового туловища. Но эта птица одним своим видом как будто опровергает все постулаты дарвинизма: ведь те самые особенности, которые придают павлину красоту, в то же время являются мальадаптивными, т. е. снижают его приспособленность, необходимую для выживания. Длинный хвост создает аэродинамические проблемы в полете, и в этом может убедиться каждый, кто хоть раз видел, как павлин пытается подняться в воздух. Хвост мешает павлинам взлетать на деревья, где они ночуют и спасаются от хищников, и особенно в сезон дождей, когда мокрый павлиний хвост превращается в настоящую обузу. Яркое оперение тоже выдает своего обладателя, особенно в сравнении с самками павлина, у которых и хвост короткий, и оперение неприметнее зеленовато-коричневой маскирующей расцветки. Кроме того, павлиний хвост, который приходится заново отращивать каждый год, требует больших энергетических затрат.

Если вдуматься, павлинье оперение не только лишено смысла, но и мешает владельцу. Как оно может считаться адаптацией? И если такое оперение, согласно теории эволюции, порождено естественным отбором и гены самца павлина, отвечающие за эту особенность, сильнее и передаются потомкам, то почему в таком случае сильный ген не возобладал и самки павлинов не выглядят так же ярко и пышно, как самцы? В 1860 г. в письме американскому биологу Азе Грею Дарвин ворчливо жаловался на эти загадки: «Было время, когда я содрогался от самой мысли о павлиньих глазках, но я преодолел эту фазу, и теперь меня беспокоят некоторые детали этой структуры. От одного вида пера в павлиньем хвосте меня бросает в дрожь!»

Загадкам наподобие павлиньего хвоста в природе несть числа. Возьмем, к примеру, вымершего гигантского или большерогого оленя (относится к роду *Megaloceros* из семейства оленевых, включавшему самых больших оленей, когда-либо существовавших в природе; обитали в Европе и Азии). Этот вид вымер всего-навсего 10 000 лет назад. У самцов гигантского оленя размах рогов достигал 3,6 м! Такие рога весили примерно 40 кг и держались на могучем трехкилограммовом черепе. Только представьте себе, какая это нагрузка – все равно что целыми днями таскать на голове подростка. А ведь гигантский олень полностью сменял рога, ежегодно сбрасывая их, как и павлин свой хвост.

В природе известны также случаи, когда лишь одному полу какого-то вида присущи не только яркие внешние особенности, но и необъяснимые повадки. Например, в Центральной Америке обитает тунгарская лягушка (*Engystomops pustulosus*), самцы которой при помощи раздувающихся голосовых связок каждую ночь распевают любовные серенады. Эти звуки привлекают самок, но не только: на них слетаются кровососущие насекомые и летучие мыши, чьей добычей самцы тунгарской лягушки становятся гораздо чаще, чем безгласные самки. В Австралии живут птицы под названием шалашники или беседковые птицы (*Ptilonorhynchidae*). Самцы шалашника строят причудливые сооружения из веточек; в зависимости от вида птиц, постройки бывают в форме тоннелей, грибов или шалашей. Эти сооружения самец шалашника украшает цветами, ракушками улиток, ягодами, семенами, а если поблизости обитают люди, то и бутылочными пробками, осколками стекла и фольгой. Постройки достигают 3 м в ширину и 1,5 м в высоту, и у самца уходят часы, а то и дни на то, чтобы возвести подобное сооружение. Однако в качестве гнезд постройки не используются. Зачем же тогда так стараться?

В отличие от Дарвина, нам даже не приходится гадать, в какой мере все эти причудливые особенности снижают шанс особи на выживание. За последние годы у исследователей накопилось немало доказательств того, что они дорого обходятся своим хозяевам. Самец краснозобого бархатного ткача отличается блестящим черным оперением с темно-красным ошейником и пятном на голове и чрезвычайно длинными хвостовыми перьями почти вдвое длиннее тела. Если понаблюдать за самцом ткача в полете, за тем, как полощется в воздухе его хвост, неизбежно

возникает вопрос: зачем птице такое излишество? Орнитологи Сара Прайк и Стеффан Андерссон из Гётеборгского университета провели в Южной Африке эксперимент: отловив самцов краснозобого бархатного ткача, они подрезали птицам хвосты. Птиц разделили на две группы, первой группе хвостовое оперение подрезали примерно на 3 см, а второй – на 10 см. Затем птиц выпустили на волю, а по окончании брачного периода вновь отловили. Как выяснилось, особи с хвостами подлиннее потеряли в весе больше, чем короткохвостые. Следовательно, нефункционально длинный хвост – большой недостаток для владельца.

То же относится и к яркому окрасу, что наглядно продемонстрировал хитроумный эксперимент с ошейниковой пустынной игуаной (*Crotaphytus collaris*). У этой ящерицы 30 см длиной, обитающей на западе США, самцы и самки внешне очень отличаются: у самцов бирюзовое туловище, желтая голова, черный ошейник и черно-белые пятна, в то время как окрас у самок не такой пестрый и яркий – они серовато-коричневые и пятна у них менее заметные. Группа ученых из Университета штата Оклахома, возглавляемая Джерри Хасаком, решила проверить гипотезу о том, что яркий окрас самцов привлекает больше хищников. Для этого в пустыне установили множество глиняных фигур ошейниковых игуан, расписанных так, чтобы в точности повторять окрас самцов и самок. На мягкой глине следы от укусов хищников должны были отпечататься очень отчетливо. Через неделю исследователи осмотрели фигуры. Хищники и впрямь приняли изображения за настоящих игуан. Все 35–40 ярко раскрашенных фигур самцов были сплошь испещрены следами от укусов – главным образом, змеиных зубов и птичьих клювов. Но из 40 тускло окрашенных фигур самок не пострадала ни одна!

Различия между самцами и самками одного и того же биологического вида – например, окрас, хвост, голос – называются *половым диморфизмом* (от др.-греч. *би-* два, *морфа* – форма) (см. примеры на рис. 23). Ученые раз за разом убеждаются, что проявления полового диморфизма у самцов, судя по всему, опровергают эволюционную теорию, поскольку понижают шансы особи на выживание и отнимают у нее силы и время. Так, цветастые самцы гуппи становятся жертвами хищников гораздо чаще, чем неярко окрашенные самки. Самец белохвостой каменки (*Oenanthe leucura*), средиземноморской птицы, прилежно возводит пирамиды из камушков и за две недели умудряется перетащить груз камней, по весу вдвое превосходящий его собственный. Самец полынного, или шалфейного, тетерева (*Centrocercus urophasianus*) исполняет сложный танец, торжественно расхаживая по прерии, и одновременно издает громкий клич, используя пару мощных резонаторов, раздувающихся на груди. Все эти затеи отнимают у птицы немало сил; один такой танец сжигает количество калорий, соизмеримое с банановым десертом, одобренным мороженым, сиропом, орехами и шоколадным соусом. Если особенности полового диморфизма вызваны отбором (а они настолько сложны, что ничем иным их не объяснишь), то нам необходимо найти объяснение, в чем же связь.

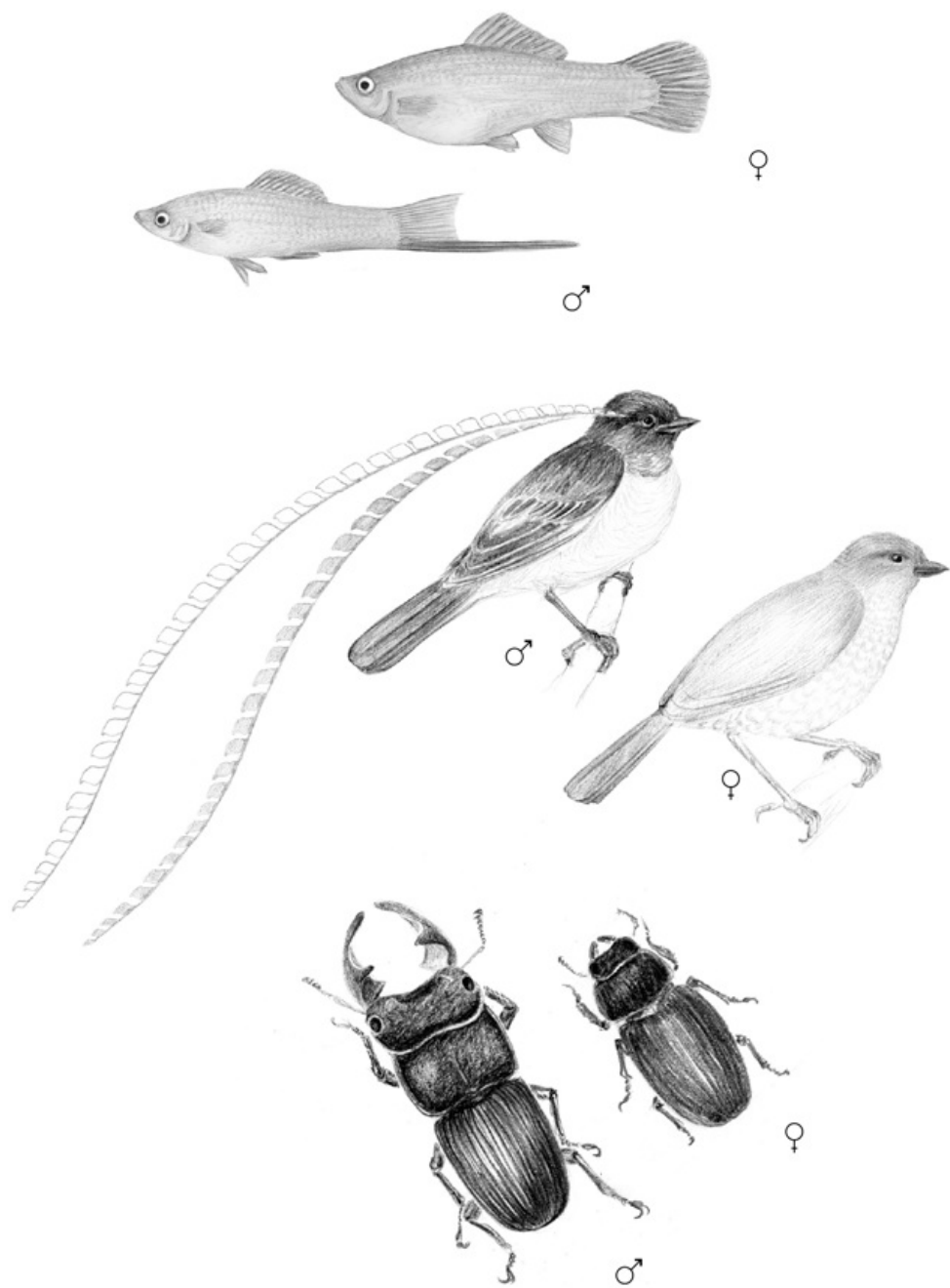


РИС. 23. Примеры полового диморфизма, показывающие существенные различия в облике самцов и самок. Вверху: мечехвост (*Xiphophorus helleri*); посередине: чешуйчатая райская птица (*Pteridophora alberti*), у которой самцы наделены украшенными орнаментом султанами на голове, небесно-голубыми с одной стороны головы и коричневыми с другой; внизу: жук-рогач (*Aegus formosae*)

Разгадки

До Дарвина половой диморфизм оставался неразгаданной тайной. Тогдашние сторонники креационизма, как и теперешние, не могли объяснить, почему божественный творец решил снабдить лишь один пол в биологическом виде таким обликом, определенно мешающим выживанию особи. Дарвина, который из всех сил стремился дать объяснение разнообразию природы, естественно, очень волновал ответ на вопрос, как развились эти, казалось бы, бессмысленные особенности. И в конечном итоге великий ученый нашел ключ к загадке: если внутри биологического вида есть какие-то различия между полами, то все внешние, поведенческие и анатомические особенности обычно приходятся именно на долю самцов.

Читатель, вероятно, уже успел догадаться, каким образом развились эти особенности, которые так дорого обходились самцам. Давайте вспомним, что идея естественного отбора не в выживании как таковом, а в продолжении рода. Да, роскошный хвост или умение распевать брачные песни не помогает особи выжить, зато увеличивает шансы обзавестись потомством; вот потому-то природа и создала такие экстравагантные внешние особенности и поведенческие причуды. Дарвин первым понял суть этой сделки и сформулировал название для того типа отбора, который отвечает за проявления полового диморфизма: *половой отбор*. (Поразительно, каким количеством великих идей мы обязаны Дарвину! Немудрено, что современные эволюционисты зачастую чувствуют себя карликами, которые копошатся у ног великана и прибавляют по крупинке к построенному им зданию.) Половой отбор – это просто-напросто разновидность отбора, повышающего шансы особи на обзаведение партнером, т. е. один из вариантов естественного отбора, но такой, который заслуживает отдельного рассмотрения. Ведь механизмы его совершенно уникальны и порождают признаки, которые на первый взгляд вовсе не кажутся адаптацией.

Признаки, на которые действует половой отбор, развиваются в том случае, если они компенсируют снизившуюся выживаемость самцов за счет увеличения количества потомков. Может быть, ткачам, у которых хвосты длиннее, труднее спастись от хищников, но самки предпочтут в качестве партнеров именно более длиннохвостых самцов. Оленям с более ветвистыми рогами выживание в природе дастся труднее, поскольку такие рога требуют энергетических затрат, но, возможно, обладатели более ветвистых рогов будут чаще побеждать в брачных поединках и, следовательно, производить больше потомства.

Половой отбор проявляется двумя способами. Первый, примером которого служат гигантские рога большерогого оленя, представляет собой *прямое соревнование* между самцами за доступ к самкам. Второй, явленный нам в длинном хвосте ткача, сводится к *выбору самками* среди потенциальных партнеров. Соревнование между самцами (или, если воспользоваться вызывающим термином в истинно дарвиновском духе, «Закон битвы») понять легче и проще. Как заметил сам Дарвин, «у животных раздельнополых в большинстве случаев борьба будет происходить между самцами за обладание самками». Когда самцы какого-то биологического вида вступают в прямое состязание, будь то олени бои, где самцы бьются рогами, или драки жуков-рогачей, которые сражаются с соперником с помощью роговидных верхних челюстей (жвал), или бодание лбами у стебельчатоглазых мух диопсид, или кровавые схватки морских слонов, во всех случаях самцы выигрывают доступ к самкам, побеждая и прогоняя соперников. Половой отбор потворствует любой черте, которая способствует таким победам, до тех пор, пока повышенные шансы заполучить партнера более чем восполняют пониженные шансы на выживание. Такой тип полового отбора порождает все, что связано с вооружением: более крепкую броню или рога, больший размер тела или любые другие особенности, которые помогают самцу победить в физической схватке.

В противоположность этому черты наподобие яркой окраски, украшений, брачных ритуалов и т. д. – все это порождено вторым типом полового отбора: выбором

партнера, который производят самки. В восприятии самок не все самцы одинаковы. Самки находят, что облик и повадки одних самцов привлекательнее, чем других, так что гены, которые отвечают за формирование этих признаков, накапливаются в популяциях. В таком сценарии тоже присутствует элемент соревнования между самцами, но оно происходит не напрямую: побеждают обладатели самых громких голосов, самого яркого окраса, самых притягательных феромонов, самых сексуальных брачных танцев и т. п. Но, в отличие от варианта с прямым соревнованием между самцами, здесь победителя выбирает самка.

В обоих типах полового отбора самцы состязаются за самок. Почему не наоборот? Совсем скоро я расскажу, что объясняется это разницей в размерах двух крошечных клеток – яйцеклетки и сперматозоида.

Но правда ли то, что те самцы, которые побеждают в состязаниях или обладают более ярким окрасом или лучше исполняют брачные танцы, и в самом деле получают больше партнерш? Если это не так, то вся теория полового отбора рушится.

На деле все факты и доказательства свидетельствуют в пользу теории полового отбора. Начнем с соревнований самцов. У северных морских слонов на североамериканском побережье Тихого океана половой диморфизм очень заметно проявляется в размерах. Самки морского слона имеют примерно 10 футов в длину, весят около 1500 фунтов, а самцы в два раза крупнее и вес их достигает 6000 фунтов, т. е. они в два раза длиннее и тяжелее автомобиля «Фольксваген». Кроме того, самцы морского слона полигамны, т. е. в течение брачного сезона самец спаривается более чем с одной самкой. Примерно треть самцов охраняет свой гарем самок, с которыми спариваются (у альфа-самца такой гарем может насчитывать до сотни самок!), а оставшиеся две трети самцов обречены на безбрачие. Кто выиграет и кто проиграет в брачной лотерее, определяется путем яростных боев между самцами, и бои эти разворачиваются еще до того, как самки покажутся на берегу. Бои проходят кровопролитно: огромные самцы бьются массивными тушами, наносят соперникам глубокие раны зубами и выстраивают иерархию, в которой альфа-самцами становятся самые крупные. Когда наконец появляются самки, доминирующие самцы разбирают их по своим гаремам и отгоняют приближающихся соперников. В брачный сезон почти все детеныши оказываются зачаты всего несколькими самцами – самыми крупными.

Это соревнование самцов в чистом виде, откровенное и прямолинейное, а призом победителю становится продолжение рода. Легко увидеть, как при такой репродуктивной системе половой отбор способствует эволюции самых крупных и свирепых самцов: крупные самцы передают свои гены следующему поколению, самцы помельче не передают. (Самки, которым нет необходимости сражаться, предположительно, ближе к оптимальному весу, нужному для воспроизведения.) Половой диморфизм размера тела у многих видов, включая наш собственный, может объясняться конкуренцией самцов за доступ к самкам.

У птиц самцы зачастую яростно сражаются за недвижимое имущество. У многих видов самцы привлекают самок только тем, что контролируют какой-то участок территории, как правило, с хорошей растительностью, т. е. подходящий для сооружения гнезда. Обосновавшись на своем участке, самцы обозначают свое присутствие при помощи пения и демонстрационного поведения, а также защищают его с помощью прямых атак на соперников, покушающихся на облюбованную ими территорию. Многие птичьи трели, которые так ласкают наш слух, на деле не что иное, как угрозы соперникам и предупреждение «держишься подальше, конкурент».

Красноплечий черный трупиял (красноплечий желтушник), обитающий в Северной Америке, защищает свою территорию на открытой местности. Как правило, эта птица обитает в пресноводных болотах. Как и морские слоны, этот биологический вид полигамен, и в некоторых случаях на территории одного самца может гнездиться до пятнадцати самок, в то время как менее удачливые соперники остаются на брачный сезон холостяками. Неприкаянные самцы-холостяки

постоянно пытаются проникнуть на чужую территорию, чтобы тайком спариться с какой-нибудь самкой. Поэтому самец – хозяин территории очень занят распугиванием незваных гостей: четверть своего времени он проводит, бдительно охраняя свои владения от соперников. Самец красноплечего черного трупяла не только патрулирует свой участок, он также защищает территорию громкими песнями со сложной мелодией, оповещая соперников, что он на чеку, и угрожая им. Кроме того, он демонстрирует свое украшение: ярко-красные эполеты на плечах. (Самки у этих птиц коричневые, иногда с небольшими недоразвитыми эполетами.) Эполеты – это часть оперения, которая служит не для привлечения самок, а скорее, для отпугивания других самцов в сражениях за территорию. Когда в ходе эксперимента трупялам закрасили их яркие эполеты черным, то 70 % самцов потеряли свои участки, в отличие от 10 % контрольных особей, эполеты которых покрыли прозрачным веществом. По всей вероятности, эполеты отпугивают соперников, сигнализируя, что территория занята. Важную роль играет и птичье пение. Самцы, которых временно лишили возможности петь, также теряли свою территорию.

Таким образом, у красноплечих черных трупялов пение и оперение помогают самцам заполучить больше партнерш. В исследованиях, описанных выше, да и во многих других, показано, что половой отбор действует, потому что самцы с более ярко выраженными особенностями получают выигрыш в виде большего количества потомства. Вывод, казалось бы, простой, но, чтобы его сделать, любознательным биологам потребовались сотни часов трудоемкой полевой работы. Заниматься секвенированием ДНК в сверкающей лаборатории, возможно, кажется занятием более эффективным, но единственный способ, которым ученый может объяснить нам работу отбора, – это полевые исследования, т. е. зачастую сидение по уши в грязи где-то на природе.

Половой отбор не заканчивается вместе с половым актом: самцы нередко продолжают состязаться даже после того, как спаривание с самками закончено. У многих видов самки за короткий срок спариваются более чем с одним самцом. После того как самец оплодотворяет самку, как он может помешать другим сделать то же самое и отобрать у него отцовство? Такая *посткопуляционная конкуренция* порождает самые причудливые особенности из всех созданных половым отбором. Иногда самец после спаривания остается поблизости от самки и охраняет ее от других претендентов. Когда вы видите пару сцепившихся друг с другом стрекоз, имейте в виду: скорее всего, спаривание уже закончилось, но самец охраняет самку, потому что оплодотворил ее, и физически перекрывает доступ другим самцам. У центральноамериканской многоножки охрана самки самцом после спаривания дошла до крайности: оплодотворив самку, самец попросту катается на ней в течение нескольких дней, и тем самым мешает соперникам заполучить ее яйца. Ту же функцию охраны и преграды могут выполнять химические вещества. У некоторых змей и грызунов эякулят содержит вещества, которые после спаривания временно закупоривают репродуктивные пути самки, тем самым преграждая доступ другим самцам при попытке спариться. У мух дрозофил, объектов моих исследований, самец впрыскивает самке антиафродизиак: в его семени есть вещество, которое на несколько дней лишает самку желания повторно спариваться.

Чтобы уберечь свое отцовство, самцы используют разные защитные меры, в том числе сильнодействующие средства, чтобы избавиться от семени предыдущих самцов и заменить его своим. Один из самых хитроумных способов – это «пенис-лопатка» у некоторых равнокрылых стрекоз. Когда самец спаривается с самкой, уже успевшей спариться с другим самцом, он использует отогнутые назад шипы на пенисе, чтобы избавиться от семени предыдущего самца. И только после того, как он удалил сперму соперника, самец оплодотворяет самку своей спермой. В моей собственной лаборатории было установлено, что у дрозофил эякулят самца содержит вещество, которое инактивирует сперму предыдущего партнера самки.

А что же насчет второй формы полового отбора – выбора партнера самкой? В сравнении с соревнованием самцов о том, как работает такой половой отбор, нам

известно значительно меньше. Объясняется это тем, что значимость окраса, оперения и демонстрационного поведения куда менее очевидна, чем рогов и другого оружия.

Чтобы разобраться, как происходит эволюция выбора партнера самками, давайте начнем с того кошмарного павлиньего хвоста, который так беспокоил Дарвина. Большую работу в этой области проделала Марион Петри и ее коллеги, которые изучали популяцию павлинов, живущую на свободе в Уипснейдском парке, в графстве Бедфордшир в Англии. У павлинов самцы собираются на *токовище*, т. е. в месте совместных брачных демонстраций, и предоставляют самкам возможность напрямую сравнить претендентов. На токовище выступают не все самцы, но только те, кто там покрасуется, могут выиграть самку. Одно исследование, посвященное наблюдению за десятью самцами павлинов на токовище, показало отчетливую корреляцию между количеством глазков в хвостовом оперении павлина и количеством спариваний, которых он добивается. Чем богаче оперение у самца, тем больше у него партнерш: обладатель самого роскошного хвоста с 160 глазках получил 36 % всех спариваний.

Это позволяет предположить, что самки предпочитают обладателей более пышного оперения, но не доказывает факт однозначно. Возможно, решающую роль в выборе, совершаемом самками, играет какой-то другой фактор, например энергичность, с которой самец распускает хвост, и этот фактор случайно коррелирует с количеством глазков на хвосте. Чтобы прояснить этот вопрос, нужно провести эксперимент: изменить количество глазков на хвосте павлина и проверить, повлияет ли изменение на его способность привлекать партнерш. Примечательно, что такой эксперимент был предложен в 1869 г. соперником Дарвина Альфредом Уоллесом. Хотя оба ученых во многих вопросах сходились, особенно в том, что касалось естественного отбора, но, когда дело касалось полового отбора, мнения их рознились. Оба принимали идею прямой конкуренции между самцами, однако Уоллеса коробила мысль о возможности выбора, осуществляемого самками. Тем не менее он был открыт любым идеям по этому вопросу и намного опередил свое время, предложив способ проверить идею:

Роль украшения хвоста будет совсем незначительной, даже если удалось бы доказать (а пока это не доказано), что некоторое превосходство в пышности и красоте оперения само по себе обычно определяет выбор партнера.

Однако это вопрос, который можно проверить экспериментальным путем, и я бы предложил, чтобы или какое-нибудь зоологическое общество, или частное лицо, располагающее такими возможностями, непременно провело подобный эксперимент. Нужно отобрать дюжину самцов птиц одного возраста – диких птиц, содержащихся в домашних условиях, например обыкновенного фазана или золотого фазана, причем таких самцов, про которых известно, что их охотно выбирают самки. Затем у половины самцов нужно будет подрезать перо-другое в хвосте или укоротить оперение на шее, ровно настолько, чтобы получилась естественная разница, какая встречается в природе, но не настолько, чтобы изуродовать птицу. После этого следует понаблюдать, заметят ли самки разницу в оперении самцов и все ли они единодушно отвергнут самцов с менее пышным оперением. Если тщательно проводить такие эксперименты в течение нескольких брачных сезонов и внимательно фиксировать результаты, мы получим весьма ценные сведения по этому любопытному вопросу.

Сложилось так, что подобные эксперименты были проведены только через столетие с лишним. Однако результаты были получены, и существование выбора, который производят самки, подтвердилось. В одном из экспериментов Марион Петри и Тим Халлидей срезали по двадцать глазков с хвостов каждого павлина в группе и сравнили их успех у самок с победами самцов в контрольной группе ручных павлинов, которым хвосты не подрезали. И конечно, в следующий брачный сезон теория подтвердилась и павлины, у которых оперение было прорежено, получили спариваний на 2,5 меньше, чем самцы из контрольной группы.

Этот эксперимент позволяет с уверенностью предположить, что самки

предпочитают самцов, оперение которых не претерпело прореживания. Но в идеале хорошо было бы экспериментальным путем проверить еще одно направление: каким-то способом сделать оперение самцов еще богаче и посмотреть, увеличит ли это их успех в брачный сезон. Подобное сложно проделать с павлинами, но такой эксперимент удалось провести шведскому орнитологу Мальте Андерссону с обитающими в Африке длиннохвостыми бархатными ткачами. Половой диморфизм у этих птиц выражается в том, что хвосты у самцов длиной около 50 см, а у самок всего 8 см. Андерссон срезал часть перьев на длинных хвостах у самцов и переклеил часть срезанных перьев на «средние» хвосты. Таким образом, он создал самцов с аномально короткими хвостами (16 см), нормальными «контрольными» хвостами (со срезанными и приклеенными заново перьями) и длинными хвостами (80 см). Как и следовало ожидать, куцехвостым самцам самки оказали меньшее предпочтение по сравнению с длиннохвостыми. Но самцы с искусственно удлиненными хвостами привлекли повышенное количество самок – почти в два раза больше, чем самцы с нормальным оперением.

Возникает вопрос: если самцы с искусственно удлиненными хвостами завоевали и привлекли больше всего самок, почему у длиннохвостых ткачей от природы не развились хвосты именно такой длины, 80 см? Ответ неизвестен, но, скорее всего, наличие хвоста такой длины снизило бы продолжительность жизни самца больше, чем повысило бы его способность привлекать самок. Вероятно, 50 см – это оптимальная длина хвоста, при которой репродуктивная производительность, достигаемая самцом в течение жизни, близка к максимальной.

А чего добиваются уже упоминавшиеся самцы полынного тетерева своими страстными танцами в прерии? Ответ снова тот же: привлекают партнерш. Как и павлины, самцы полынного тетерева собираются на токовища, где целыми стаями красуются перед заинтересованными самками. Наблюдения показали, что внимание самок завоевывают лишь самые энергичные самцы, которые проделывают свой танец до 800 раз в день, в то время как подавляющее большинство самцов остается без партнерш.

Половым отбором объясняются и архитектурные подвиги шалашников. Несколько исследований показали, что типы сооружений, которые у разных видов отличаются, коррелируют с брачным успехом. Например, атласные шалашники привлекают больше партнерш, если используют в своих сооружениях больше синих перьев. У пятнистых шалашников секрет успеха в том, чтобы украсить сооружение зелеными ягодами паслена, родственника диких томатов. Джо Мэдден из Кембриджского университета провел эксперимент: он оборвал украшения с сооружений, воздвигнутых пятнистыми шалашниками, и затем предложил самцам на выбор 60 мелких предметов, которые могли бы послужить украшениями. Разумеется, самцы выбрали зеленые ягоды паслена и заново украсили ими свои шалашы, расположив ягоды как можно заметнее.

Я рассказываю в основном о птицах, поскольку биологи обнаружили, что изучать выбор брачного партнера легче всего именно на примере птиц: птицы активны днем и за ними легче наблюдать. Однако другие животные также являют немало наглядных примеров выбора брачного партнера. Самки тунгарской лягушки предпочитают выбирать самцов, издающих самые сложные призывные сигналы. Самки рыб гуппи предпочитают самцов с самыми длинными хвостами и самыми яркими пятнами на них. Самки пауков и рыб зачастую отдают предпочтение более крупным самцам. В своей обстоятельной книге «Половой отбор» (Sexual Selection) Мальте Андерссон описывает 232 эксперимента над 186 биологическими видами. Эти эксперименты показали, что огромное разнообразие самцовых признаков коррелирует с брачным успехом, и подавляющее большинство этих экспериментов связано с изучением выбора, совершаемого самками. Нет никаких сомнений в том, что у многих видов причиной появления в процессе эволюции полового диморфизма послужил выбор, совершаемый самками. Так что Дарвин в конечном итоге был прав.

До сих пор мы пренебрегали двумя очень важными вопросами. Почему самкам

предоставляется право выбирать самца, в то время как самцы должны или привлекать самок, или сражаться за них? И почему самки вообще выбирают? Чтобы ответить на эти вопросы, нам необходимо разобраться, зачем живым существам вообще нужно половое размножение.

Зачем нужен секс?

Почему появилось половое размножение – это, в сущности, одна из величайших тайн эволюции. По сравнению с особью, размножающейся бесполом путем, любая особь, которая размножается половым путем, т. е. производит яйцеклетки или сперматозоиды, содержащие лишь половину ее генов, вкладывает 50 % своего генетического материала в следующее поколение. Давайте посмотрим на это так. Предположим, что у людей был бы ген, исходная форма которого вела к половому размножению, но мутантная форма позволяла бы женской особи размножаться *партеногенезом*, производя яйца, которые развивались бы без оплодотворения. (Некоторые животные на самом деле размножаются таким образом: партеногенез наблюдается у тли, рыб и ящериц.) У первой женщины-мутанта были бы только дочери, которые, в свою очередь, произвели бы на свете новых дочерей. И, наоборот, нормальной женщине, размножающейся половым путем, пришлось бы спариваться с мужчинами, производя на свет и дочерей, и сыновей. По мере того как в группе женщин становилось бы все больше мутантов, которые производят только дочерей, доля женщин в популяции быстро превысила бы 50 %. В конечном итоге все женщины появились бы на свет от матерей, размножающихся партеногенезом. Мужчины стали бы лишними и исчезли: никому из мутировавших женщин не потребовалось бы с ними спариваться и все женщины производили бы на свет только женских особей. Ген партеногенеза победил бы ген, отвечающий за половое размножение. Теоретически можно показать, что в каждом поколении «бесполой» ген производил бы в два раза больше копий самого себя по сравнению с исходным «половым» геном. Биологи называют такую ситуацию двойной ценой самцов. Подразумевается, что под влиянием естественного отбора гены партеногенеза распространились бы очень быстро, вытеснив и уничтожив половое размножение.

Однако этого не произошло. Подавляющее большинство земных биологических видов размножается половым путем, и эта форма воспроизводства остается в ходу уже больше миллиарда лет. Почему двойная цена полового размножения не привела к его замене партеногенезом? Ясно, что у полового размножения должны быть какие-то крупные эволюционные преимущества, которые перевешивают его цену. Хотя до сих пор не удалось точно определить, что это за преимущества, теорий на эту тему предостаточно. Возможно, ключ в случайной перетасовке генов, которая происходит во время полового размножения и порождает новые генетические комбинации у потомства. Сведя воедино у одной особи несколько благоприятных генов, половое размножение, возможно, способствует ускорению эволюции и помогает ей справиться с постоянно меняющимися условиями окружающей среды. Так паразиты постоянно эволюционируют, чтобы побороть наши эволюционирующие защитные механизмы. Или, возможно, половое размножение избавляет биологические виды от плохих генов, которые комбинируются в одной очень ущербной особи, в эдаком генетическом козле отпущения. Тем не менее биологи до сих пор задаются вопросом, есть ли какое-то известное преимущество, которое перевешивало бы двойную цену полового размножения.

Однако, коль скоро половое размножение появилось, за ним неизбежно следует половой отбор при условии, что мы сумеем объяснить еще два пункта. Первый: почему существует только два (а не три и более) пола, которые должны спариваться и комбинировать свои гены, чтобы произвести потомство? Второй: почему у этих двух полов разное количество гамет и эти гаметы имеют разные размеры (самцы производят много маленьких сперматозоидов, а самки – более крупные яйцеклетки, но в меньших количествах)? Вопрос о количестве полов представляет собой запутанную теоретическую проблему, на которую нам не стоит отвлекаться, разве что заметить: теория показывает, что два пола эволюционно выгоднее других способов размножения, в которых участвуют три и более полов; два пола – наиболее стабильная и надежная стратегия.

Не менее запутана теория о том, почему у двух полов разное количество гамет разного размера. Предположительно, более ранние виды, размножавшиеся

половым путем, обладали гаметой одинакового размера, а в дальнейшем этот признак эволюционировал. Теоретики довольно убедительно показали, что естественный отбор меняет это древнее положение вещей на такое, при котором один пол (мы его называем «мужским») производит множество мелких половых клеток – сперматозоиды или пыльцу, – а второй («женский») производит меньшее количество более крупных клеток, так называемых яиц.

Эта асимметрия в размерах гамет и задает импульс всему половому отбору, потому что заставляет оба пола развивать разные брачные стратегии. Возьмем, например, мужских особей. Мужская особь способна производить большие количества сперматозоидов, поэтому потенциально может стать отцом огромного количества потомства. Ограничителем служит только то, какое количество женских особей удастся привлечь самцу и конкурентоспособностью его спермы. С женским полом дело обстоит иначе. Яиц ограниченное количество, они дороги, и если самка спаривается много раз за короткий срок, то это почти никак, вернее, совсем никак не влияет на количество ее потомства.

Наглядным примером этого различия может послужить рекорд деторождения у людей. Давайте посмотрим, какое рекордное количество детей женщине удалось родить. Если бы вам понадобилось угадать, сколько максимально детей женщина может родить в течение жизни, наверно, вы сказали бы, человек пятнадцать. Попробуйте угадать еще раз! Книга рекордов Гиннесса сообщает, что официально зарегистрированный рекорд по деторождению насчитывал 69 детей, рожденных в течение жизни русской крестьянкой XVIII в. За 27 беременностей в промежутке между 1725 и 1745 гг. у нее родилось шестнадцать пар близнецов, семь раз у нее рождалась тройня и четыре раза – четверня. (Понятно, что у этой женщины была какая-то генетическая предрасположенность к многоплодным беременностям.) Этой измученной родами женщине можно только посочувствовать, однако ее рекорд намного превзойден мужчиной, а именно неким Мулаем Исмаилом (1646–1727), императором Марокко. Согласно Книге рекордов Гиннесса, Исмаил стал отцом «по меньшей мере 342 дочерей и 525 сыновей, а к 1721 г. было известно, что у него 700 потомков мужского пола». Даже в этих рекордных случаях мужчины превосходят женщин больше чем в десять раз.

Эволюционная разница между мужчинами и женщинами – это вопрос разного родительского вклада: затраты на производство дорогих яйцеклеток в противоположность затратам на дешевую сперму, вклад в беременность (во время которой женщины сохраняют и питают оплодотворенную яйцеклетку) и в родительскую заботу – ведь у многих биологических видов самки растят потомство в одиночку. Самцам спаривание обходится дешево, самкам – дорого. Самцы платят за него небольшую цену, всего лишь маленькую порцию спермы; самкам это обходится значительно дороже: они должны произвести крупное, богатое питательными веществами яйцо и зачастую тратят много энергии и времени. Более чем у 90 % видов млекопитающих единственный вклад, который самец делает в потомство, это собственно сперма, а всю родительскую заботу обеспечивает самка.

Когда доходит до выбора партнера, подобная асимметрия между самцами и самками по потенциальному количеству партнеров и потомства приводит к конфликту интересов. Самцам практически нечего терять в случае, если они спариваются с «некачественной» самкой (например, слабой или больной), потому что они с легкостью найдут другую партнершу для спаривания – и не один раз. Отбор благоприятствует таким генам, которые делают самца неразборчивым в связях, неутомимо пытающимся спариться почти что с каждой самкой. (Или с любым *предметом*, отдаленно напоминающим самку; так, например, самцы полярного тетерева иногда пытаются совокупиться с кучей коровьего навоза, а некоторые орхидеи, как мы уже узнали ранее, обеспечивают себе опыление, привлекая похотливых самцов пчел, чтобы те совокуплялись с их лепестками.)

Самки устроены иначе. Поскольку они больше вкладывают в яйцеклетки и потомство, то для них лучшая тактика – разборчивость в выборе партнера. Самки должны прилагать все усилия, чтобы выбирать наиболее достойных отцов для

оплодотворения ограниченного количества яйцеклеток. Следовательно, им приходится тщательно изучать всех претендентов на отцовство.

В целом самцы должны состязаться за самок. Самцы должны быть неразборчивы в связях, а самки – придирчивы в выборе. Самица должен вести жизнь, полную кровопролитных поединков и яростного соперничества с себе подобными за партнершу. Хорошие самцы, т. е. более привлекательные или более сильные, зачастую добиваются большего количества партнерш (и, по всей видимости, таким самцам оказывает предпочтение больше самок), а некачественные самцы остаются без партнерш. Но тем не менее практически все самки в конечном итоге находят партнеров для спаривания. Поскольку за самок состязается каждый самец, то шансы найти партнера у самок выше.

Биологи описывают это различие, говоря, что *варианса* брачного успеха у самцов должна быть выше, чем у самок. Так ли это в действительности? Да, в природе зачастую наблюдается это различие. Например, у самца благородного оленя превышает то, сколько потомства может произвести на свет за всю жизнь самка. У морских слонов разница еще значительнее: у них потомство оставляют менее 10 % самцов в течение нескольких брачных сезонов в сравнении более чем с половиной самок.

Разница между самцами и самками по потенциальному количеству потомства стимулирует эволюцию конкуренции между самцами и выбора полового партнера самками. Самцы должны состязаться, чтобы оплодотворить ограниченное количество яйцеклеток. Вот почему мы видим «закон битвы»: прямое состязание между самцами за то, чтобы передать свои гены потомству. И именно поэтому самцы обладают ярким окрасом, им свойственно демонстрационное брачное поведение, они издают брачные призывы и т. п. – это их способ сказать самкам: «Выбери меня, выбери меня!» В конечном итоге именно предпочтение, которое оказывает самцу самка, управляет эволюцией, делающей хвосты самцов длиннее, поведение энергичнее, а брачные песни громче.

Сценарий, который я описал, конечно, обобщенный, и из него есть исключения. Некоторые биологические виды моногамны, и заботу о потомстве берут на себя и самки, и самцы. Эволюция может способствовать моногамии в том случае, если самец произведет больше потомства, помогая самке заботиться о детенышах, а не бросая их, в поиске новых партнерш. Например, у многих птиц требуются два родителя, которые заняты заботой о потомстве: пока один добывает пищу, другой высидивает яйца. Однако в дикой природе моногамные виды не очень распространены. Например, лишь 2 % видов млекопитающих моногамны.

Кроме того, существуют объяснения полового диморфизма по размерам тела, которые никак не связаны с половым отбором. Например, у дрозофил, которых я изучаю, самки могут быть больше просто потому, что им необходимо производить крупные и требующие больших затрат яйца. Или, например, у самцов и самок хищников лучше удается охота, если они специализируются на разных видах добычи. Естественный отбор в пользу сокращения конкуренции между самцами и самками может привести к возникновению различий в их размерах. Этим, возможно, объясняется диморфизм у некоторых ящериц и ястребов, у которых самки крупнее самца и охотятся на более крупную добычу.

Нарушая правила

Любопытно, что половой диморфизм также наблюдается у многих социально моногамных биологических видов, т. е. тех, у которых самцы и самки объединяются в пары и вместе воспитывают потомство. Поскольку у таких видов самцы, судя по всему, не соперничают за самок, зачем им яркий окрас и украшения? Это кажущееся противоречие на самом деле служит лишним аргументом в пользу теории полового отбора. Оказывается, что в таких случаях внешность обманчива. Вид может быть социально моногамен, но на деле вести себя совсем не моногамно.

Один из таких видов – прекрасный расписной малюр, птица, обитающая в Австралии. Ее изучал в Чикагском университете мой коллега Стивен Пруэтт-Джонс. Поначалу может показаться, будто этот вид являет собой образчик моногамии. Самцы и самки обычно проводят всю свою взрослую жизнь в прочной социальной связи, вместе защищают территорию, выводят и воспитывают птенцов. Однако у малюра наблюдается ярко выраженный половой диморфизм: самцы щеголяют роскошным сверкающим сине-черным оперением, а самки имеют тусклый серо-коричневый окрас. Почему? Потому что у малюров распространены измены. Когда наступает брачный сезон, самки спариваются с посторонними самцами больше, чем со своими «законными» супругами. (Это подтверждает анализ ДНК на отцовство.) Самцы ведут себя точно так же, они активно ищут «внебрачных» контактов с другими самками, однако их репродуктивный успех по-прежнему значительно отличается от такового у самок. Половой отбор, связанный с такими внебрачными спариваниями, практически наверняка привел к эволюции различий в окраске между полами. И подобным образом ведет себя не только малюр. Хотя 90 % видов птиц социально моногамны, почти три четверти из них, и самцы, и самки, вступают во внебрачные связи, а не спариваются исключительно с постоянным партнером.

Прогнозы, которые выдвигает теория полового отбора, легко проверить. Если внутри вида лишь один пол обладает ярким оперением или рогами, проявляет демонстрационное поведение в брачный период или воздвигает трудоемкие сооружения, чтобы привлечь самок, можно быть уверенным: именно представители этого пола будут состязаться за право спариваться с представителями противоположного. Биологические виды, у которых во внешности или повадках половой диморфизм проявляется меньше, неизбежно должны быть более моногамны: если самцы и самки объединяются в пары и не изменяют своим партнерам, то не существует ни конкуренции за партнера, ни, следовательно, полового отбора. Биологи и впрямь прослеживают отчетливую корреляцию между системами брачных отношений и половым диморфизмом. Крайние проявления диморфизма в размерах, окрасе или поведении обнаруживаются у таких видов, например, как райские птицы или морские слоны, у которых самцы конкурируют за самок, и лишь несколько самцов отвоевывают себе большинство спариваний. Виды, в которых самцы и самки выглядят одинаково, например гуси, пингвины, голуби и попугаи, как правило, по-настоящему моногамны и являют собой образец супружеской верности в животном царстве. Эта корреляция – еще один триумф эволюционной теории, поскольку ее предсказала только идея полового отбора, а не креационистская альтернатива. Зачем бы существовать корреляции между окрасом и видами брачных отношений, если эволюции не существует? В самом деле, именно креационистам, а не эволюционистам пристало бы передергиваться при виде павлиньего хвоста.

Пока что мы рассуждали о половом отборе так, как если бы неразборчивы в связях всегда были только самцы, а разборчивы только самки. Однако иногда, хотя и довольно редко, дело обстоит с точностью до наоборот. Когда меняется модель поведения, меняется и направление диморфизма. Такая смена ролей ярко выражена у самых симпатичных рыб – морских коньков и их близких родственников морских игл. У некоторых из этих видов доходит до того, что беременеют не самки, а самцы! Как такое может случиться? Хотя яйца производит самка, после того как самец оплодотворяет эти яйца, он помещает их в особую сумку на брюхе или хвосте и носит, пока они не вылупятся. Самцы способны

одновременно вынашивать только один выводок, и период «вынашивания» у них занимает больше времени, чем требуется самке, чтобы отложить новую порцию яиц. Получается, что самцы вкладывают в выведение потомства больше сил и времени, чем самки. Помимо этого, поскольку самок с неоплодотворенными яйцами оказывается больше, чем самцов, способных донашивать потомство, самкам приходится состязаться за редких «небеременных» самцов. В данном случае разница в репродуктивной стратегии между самцами и самками изменяется на противоположную. Как и следовало ожидать, согласно теории полового отбора, при такой расстановке сил именно самки отличаются ярким окрасом и заметными деталями облика, а самцы на их фоне выглядят куда скромнее.

То же самое происходит у плавунчиков – трех видов грациозных ржанок, которые водятся в Европе и Северной Америке. Эти птицы – один из считанных примеров полиандрии («одна самка, много самцов»). Такая система брачных отношений, многомужество, сравнительно редка и у людей встречается лишь в нескольких популяциях, включая тибетцев. Самцы плавунчиков полностью отвечают за птенцов, за строительство гнезд и за прокорм потомства, а самка тем временем отправляется на спаривание с новыми партнерами. Таким образом, самцы затрачивают на потомство гораздо больше сил и времени, чем самки, а самки состязаются за самцов, которые будут заботиться о потомстве. Разумеется, у всех трех видов окрас самок гораздо более заметный и яркий, чем у самцов.

Морские коньки, морские иглы и плавунчики представляют собой исключения, подтверждающие правило. Такая «противоположная» расстановка сил – именно то, чего следовало ожидать, если эволюционное объяснение полового диморфизма существует. Но она была бы совершенно бессмысленной, если бы все эти виды были созданы божественным творцом.

Зачем выбирать?

Давайте вернемся к «нормальному» выбору партнеров, при котором разборчивостью отличаются самки. Что именно они ищут, когда выбирают самца? Этот вопрос привел к знаменитому разногласию в эволюционной теории. Альфред Уоллес, как мы уже видели, сомневался (и в конечном итоге ошибся) в том, что самки вообще разборчивы. Согласно его гипотезе, самки не так заметно окрашены, как самцы, потому что им необходима маскировка от хищников, а яркий окрас и другие украшения самцов лишь побочный продукт их физиологии. Однако Уоллес ничем не объяснил, почему в таком случае самцы лишены маскирующего окраса.

Гипотеза Дарвина была несколько лучше. Он был уверен, что брачный клич самцов и их украшения развились именно благодаря придирчивости самок. На основании чего самки совершают свой выбор? Ответ Дарвина был поразителен: по его мнению, самки исходят из чисто эстетических побуждений. Дарвин не видел причины, почему бы самкам не выбирать такие привлекательные черты внешности, как хвост подлиннее или трель посложнее просто в силу того, что им это больше нравится. Новаторский труд Дарвина по изучению полового отбора «Происхождение человека и половой отбор» (1871) полон замысловатых антропоморфических описаний того, как самки животных «очаровываются» и «влюбляются» в разнообразные внешние черты самцов. Однако, как заметил Уоллес, проблема все равно остается. Есть ли у животных, особенно примитивных, например жуков и мух, подлинное эстетическое чувство, как у людей? Дарвин делал на это ставку, ссылаясь на незнание:

Хотя у нас есть некоторые положительные доказательства, что птицы умеют ценить яркие и красивые предметы (например, австралийские плащеносцы); хотя они, без всякого сомнения, умеют ценить пение, но я считаю крайне удивительным, что самки столь многих птиц и некоторых млекопитающих наделены достаточным вкусом для оценки тех украшений, которые были, по-видимому, обусловлены половым отбором; это тем более удивительно относительно пресмыкающихся, рыб и насекомых. Но мы на самом деле знаем очень мало об умственных способностях низших животных.

Получается, что Дарвин, хотя и не знавший всех ответов на вопрос, был ближе к истине, чем Уоллес. Да, самки придирчивы в выборе, и этот выбор, судя по всему, служит объяснением половому диморфизму. Однако предпочтения самок, основанные только на эстетических критериях, – эта идея кажется нелепой. У близкородственных видов, например райских птиц из Новой Гвинеи, наблюдаются существенные различия в оперении и брачном поведении. Неужели то, что красиво для одного вида, не красиво для другого, даже близкородственного?

На деле в нашем распоряжении множество доказательств того, что предпочтения самок адаптивны, потому что выбор в пользу определенных типов самцов помогает самкам распространять свои гены. Предпочтения далеко не всегда объясняются произвольным врожденным вкусом, как предполагал Дарвин; во многих случаях они, вероятно, развились вследствие отбора.

Какую выгоду извлекает самка, выбирая определенного партнера? На этот вопрос есть два ответа. Самка может извлечь прямую выгоду, а именно выбрав самца, который поможет ей произвести больше потомства или более здоровое потомство посредством заботы о нем. Или же она может извлечь из своего выбора косвенную выгоду, выбрав самца, у которого гены лучше, чем у других (т. е. гены, которые дадут потомству преимущество в следующем поколении). Так или иначе, в любом случае эволюция предпочтений у самок объясняется отбором, естественным отбором.

Давайте рассмотрим прямую выгоду. Ген, который понуждает самку спариваться с самцом, занимающим лучшую территорию, в итоге дает ей потомство, которое получает лучшее пропитание или занимает лучшие гнезда. Такое потомство будет иметь больше шансов на выживание и в свою очередь выведет больше потомства по

сравнению с потомством, выращенным на худших участках. Это означает, что в популяции потомства будет еще больше самок, наделенных «геном предпочтения», чем в предыдущем поколении. По мере того как сменяются поколения и продолжается эволюция, в конечном итоге «ген предпочтения» окажется уже у каждой самки. И если есть другие мутации, которые способствуют предпочтению лучших участков, то и эти мутации будут встречаться все чаще и чаще. Со временем предпочтение в пользу самцов, располагающих лучшими участками, благодаря эволюции будет усиливаться и крепнуть. В свою очередь, из этого последует отбор самцов, которые будут яростнее соревноваться за лучшие территории. Избирательность самок развивается бок о бок с состязанием самцов за территорию.

Гены, дающие косвенную выгоду разборчивым самкам, тоже с течением поколений будут распространяться все шире. Представьте, что у самца есть гены, которые повышают его сопротивляемость болезням по сравнению с другими самцами. Самка, которая спарится с таким самцом, произведет более жизнеспособное и устойчивое к болезням потомство. Выбирая такого самца, она извлекает эволюционную выгоду. Теперь представьте, что существует ген, который позволяет самкам каким-то образом *распознавать* этих самцов. Если самка спаривается с таким самцом, их потомство (самцы и самки) будет нести и ген устойчивости к заболеваниям, и ген *предпочтения* самцов с повышенной устойчивостью к заболеваниям. В каждом последующем поколении самые устойчивые к болезням особи, которые лучше размножаются, будут также нести гены, заставляющие самок выбирать более крепких и устойчивых к болезням самцов. По мере того как эти гены устойчивости будут распространяться за счет естественного отбора, гены избирательности самок будут распространяться бок о бок с ними. Таким образом и избирательность самок, и устойчивость к заболеваниям внутри данного биологического вида возрастает.

Оба этих сценария объясняют, почему самки предпочитают определенные типы самцов, но не объясняют, почему они предпочитают определенные *черты* у самцов, например яркий окрас или пышное оперение. Возможно, такие предпочтения самки оказывают потому, что эти внешние черты сообщают им о большей прямой или косвенной эволюционной выгоде, которую стоит ожидать от самца. Рассмотрим несколько наглядных примеров такой избирательности самок.

Мексиканская чечевица, обитающая в Северной Америке, отличается половым диморфизмом в окрасе: у самок этой птицы оперение коричневое, но у самцов голова и грудка яркие. Самцы не защищают свои территории, однако заботятся о потомстве. Джефф Хилл из Мичиганского университета обнаружил, что в одной местной популяции окрас самцов варьировал от бледно-желтого до оранжевого и ярко-красного. Чтобы проверить, влияет ли окрас на репродуктивный успех, Хилл при помощи краски для волос раскрасил самцов так, чтобы одни стали ярче, а другие бледнее. Разумеется, более ярко окрашенные самцы заполучили больше партнерш, чем их более бледно окрашенные соплеменники. В контрольной группе птиц, чей окрас исследователь не менял, самки чаще покидали гнезда самцов с более бледной окраской, чем гнезда более ярких.

Почему самки чечевицы отдавали предпочтение более ярко окрашенным самцам? На примере той же популяции Хилл показал, что ярко окрашенные самцы кормят своих птенцов чаще, чем светлые. Таким образом, выбирая ярко окрашенных самцов, самки извлекают прямую выгоду: потомство оказывается лучше обеспечено пищей. (Самки, которые заключили союз с самцами светлого окраса, в отдельных случаях бросают свои гнезда, потому что птенцы не получают достаточно пищи.) Но почему ярко окрашенные самцы приносят больше пищи? Возможно, потому, что яркость оперения служит признаком крепкого здоровья в целом. Красный окрас оперения у самцов обеспечивают каротиноидные пигменты в семенах, которые они едят, – птицы ведь не могут вырабатывать такой пигмент сами. Следовательно, кто из самцов ярче окрашен, тот лучше питается и, по всей вероятности, в целом крепче. Самки, похоже, выбирают более ярких самцов просто потому, что цвет сигнализирует им: «Я самец, который сможет лучше прокормить

свою семью и добывать пищу». Любые гены, которые заставляют самок предпочитать ярко окрашенных самцов, дают этим самкам прямую выгоду, и поэтому отбор будет усиливать такие предпочтения и способствовать им. А при таких предпочтениях любой самец, у которого лучше получается преобразовывать каротиноиды в яркий окрас оперения, получит преимущество, потому что гарантированно приманит к себе больше самок. Со временем половой отбор приведет к усугублению ярко-красного окраса самцов. Самки сохраняют неяркий окрас, потому что не извлекают из яркости оперения никаких выгод; наоборот, яркость сделала бы их более уязвимыми для хищников.

В выборе в пользу крепкого и энергичного самца есть и другие преимущества. Самцы могут быть переносчиками паразитов или болезней, которые рискуют передать самкам, или потомству, или и тем и другим, поэтому в интересах самки избегать подобных самцов. Окрас, оперение и поведение самца служат подсказкой и позволяют самке определить, не болен ли самец, не является ли переносчиком паразитов: только здоровый самец способен громко петь брачную песню, энергично проявлять демонстрационное поведение или отрастить яркое и пышное оперение. Например, если здоровый самец данного вида имеет ярко-синий окрас, то самка будет избегать спаривания с бледно-голубым самцом.

Эволюционная теория показывает, что самкам нужно предпочитать любые черты, показывающие, что самец будет хорошим отцом. Все, что требуется, это наличие каких-то генов, усиливающих предпочтение именно этих черт, и изменение в выражении этого признака даст подсказку к состоянию самца. Остальное произойдет автоматически. У полынных тетеревов паразитирующие на них вши оставляют пятнышки крови на воздушных мешках, расположенных на груди, и особенность эту трудно не заметить, когда тетерев начинает выступать на токовище и раздувать мешки, исполняя брачную песню. Эксперименты показали, что самцы тетерева, которым рисовали искусственные пятнышки крови на воздушных мешках, в итоге добывались меньшего количества спариваний: по всей вероятности, пятна подсказывали самкам, что самец заражен паразитом и будет плохим отцом. Отбор будет благоприятствовать генам, которые способствуют не только тому, что самки выказывают предпочтение самцам с чистыми воздушными мешками, но и той особенности, которая заставляет появляться красноречивым пятнам на груди у самцов, указывающим на зараженность паразитом. Воздушные мешки в ходе отбора будут увеличиваться, и предпочтение самками чистых, не запачканных кровью мешков, будет усиливаться. Это может привести к развитию увеличенных воздушных мешков у самца тетерева, точно так же, как получилось с преувеличенно длинным хвостом в случае ткачей. Весь этот процесс останавливается только тогда, когда этот признак у самцов становится настолько гипертрофированным, что дальнейшее его увеличение грозит снизить шансы на выживание больше, чем усилить привлекательность для самок, так что количество произведенного потомства пострадает.

А как обстоит дело с теми предпочтениями самок, которые приносят им косвенную выгоду? Самая очевидная из выгод заключается в том, что самец всегда передает потомству, – в его генах. Те же особенности и черты, которые показывают, что самец здоров, могут также показывать, что он генетически благополучен. Самцы, обладающие более ярким окрасом, более длинными хвостами и т. п., по всей вероятности, способны демонстрировать эти черты при условии, что гены позволяют им выжить или воспроизводиться лучше, чем конкурентам. Та же закономерность касается и способности самцов возводить сложные брачные сооружения – шалаши, арки из камушков и прочее. Легко себе представить все множество и разнообразие особенностей, которые сигнализируют о том, что самец – носитель генов, которые способствуют лучшему выживанию и размножению. Эволюционная теория показывает, что в этих случаях одновременно возрастает частотность генов трех типов: генов, отвечающих за «сигнальные» особенности в облике самца, сообщающие о том, что у него хорошая наследственность; генов, заставляющих самку оказать предпочтение именно этим сигнальным признакам; и, разумеется, «хороших генов», на наличие которых указывает признак-индикатор. Сценарий сложный, но большинство эволюционных

биологов считают его лучшим объяснением ярких внешних характеристик и поведения самцов.

Однако как нам проверить, верна ли модель «хороших генов»? Каких выгод ищут самки, прямых или косвенных? Какая-нибудь самка может отвергнуть менее энергичного или менее яркого самца, но это, возможно, будет свидетельствовать не о том, что у него плохие гены, а о слабости, вызванной средой обитания: например, самец болен или плохо питается. Такие осложнения затрудняют понимание причин каждого конкретного случая полового отбора.

Возможно, лучшую и самую достоверную проверку модели «хороших генов» удалось сделать в случае серых древесных лягушек – изменчивых квакш. Эксперимент провели Алиссон Уэлч и ее коллеги в Миссурийском университете. Самцы лягушек привлекают самок, издавая громкие крики, которыми оглашаются летние ночи в южных штатах. Исследования лягушек в неволе показали, что самки отчетливо отдают предпочтение тем самцам, у которых песни длиннее. Чтобы проверить, лучше ли у этих самцов гены, биологи взяли яйцеклетки у разных самок, в искусственных условиях оплодотворили половину яйцеклеток каждой самки спермой самцов, издававших длинные песни, а половину – спермой самцов с короткими песнями. Затем головастиков, полученных в результате этого оплодотворения, доростили до стадии взрослых особей. В итоге получился поразительный контраст. Потомство самцов с длинными песнями росло быстрее, и на стадии головастиков процент выживания у него был выше, затем, во время метаморфоза, когда головастики превращаются в лягушат, потомство оказалось крупнее и после метаморфоза тоже росло быстрее. Поскольку самцы изменчивой квакши никак не участвуют в рождении и выращивании потомства, если не считать спермы, самки не могут извлечь *прямой* выгоды, выбирая самца, умеющего издавать длинные песни. Этот эксперимент отчетливо доказывает, что длинная песня в данном случае указывает на здоровье самца и на его хорошую наследственность и что самки, выбравшие таких самцов, производят потомство, генетически более совершенное.

Но как насчет памятных нам павлинов? Мы уже знаем, что самки предпочитают спариваться с самцами, у которых на хвосте больше глазков. Знаем также, что у павлинов самцы не вносят вклад в выращивание потомства. Проводя эксперименты в Уипснейдском парке, Марион Петри показала, что самцы с бо́льшим количеством глазков на хвосте производят потомство, которое не только быстрее растет, но и лучше выживает. Судя по всему, выбирая самцов с более пышным оперением, самки выбирают «хорошие гены», потому что такой самец имеет больше возможностей отрастить роскошный хвост.

Эти два исследования – пока единственные имеющиеся в нашем распоряжении доказательства того, что самки выбирают самцов с лучшими генами. И изрядное количество исследований не обнаружило никакой связи между брачными предпочтениями и генетическими качествами потомства. Тем не менее объяснять половой отбор по-прежнему предпочитают моделью «хороших генов». Эта убежденность при довольно скудной доказательной базе, возможно, отчасти отражает предпочтение эволюционистов в пользу четких дарвинистских объяснений – убежденность, что самки должны как-то уметь отличать самцов с «хорошими генами».

Однако существует и третье объяснение полового диморфизма, и оно самое простое из всех. Оно основано на так называемых моделях сенсорного смещения. Эти модели предполагают, что эволюцией полового диморфизма движут просто уже существующие предпочтения, связанные с определенной организацией системы восприятия самки. Эти предпочтения могут быть побочными продуктами при естественном отборе по какой-то другой функции, помимо поиска партнеров, например по поиску пищи. Предположим, например, что у представителей некоего биологического вида развилось зрительное предпочтение красного цвета, потому что это предпочтение помогает им находить спелые фрукты и ягоды. Если в популяции появится мутант-самец с красным пятном на груди, самки, возможно, предпочтут его просто из-за уже существовавшего у них предпочтения красного

цвета. Таким образом, самцы с красным окрасом получают преимущество, и внутри вида разовьется цветовой диморфизм. (При этом мы допускаем, что красный цвет для самок, наоборот, не является преимуществом, потому что может привлечь хищников.) Другой вариант: возможно, самкам просто нравятся новые особенности во внешности самцов, потому что они стимулируют нервную систему самок. Например, самки могут предпочесть более крупных самцов, или проявляющих более сложное демонстрационное брачное поведение, или самцов необычных пропорций, потому что у них хвост более длинный. В отличие от моделей, описанных выше, в моделях сенсорного смещения самки, выбирая определенного самца, не извлекают ни прямой, ни косвенной выгоды.

Проверить эту теорию можно, если добавить во внешность самца какую-то по-настоящему новую черту и посмотреть, понравится ли это новшество самкам. Такой эксперимент был проделан Нэнси Берли и Ричардом Шимански в Калифорнийском университете на двух видах австралийских травяных (острохвостых) амадин. Исследователи просто наклеили на головы самцов по одному вертикальному перышку, создав искусственный хохолок, и затем предъявили самкам этих хохлатых самцов наряду с контрольной группой самцов без хохолоков. (В природе у самцов этой птицы хохолоков нет, хотя у некоторых неродственных им видов, например австралийских какаду, хохолки имеются.) Самки отдали отчетливое предпочтение самцам, щеголяющим белыми искусственными хохолками; эти самцы понравились им больше обладателям красных или зеленых искусственных хохолоков или самцов без хохолоков. Мы не понимаем, почему самки предпочитают белый цвет, но, возможно, это связано с тем, что они выстилают гнезда белыми перьями, чтобы замаскировать яйца от хищников. Похожие эксперименты над лягушками и рыбами также показали, что самки отдают предпочтение чертам, с которыми они ранее не сталкивались. Идея сенсорного смещения может оказаться очень значимой, поскольку естественный отбор часто может создавать существующие предпочтения, которые помогают животным выживать и размножаться, и эти же самые предпочтения могут сослужить службу половому отбору, чтобы создать новые черты внешности и повадок у самцов. Возможно, в теории Дарвина об эстетическом чутье животных и была доля правды, даже если он наделял животных человеческими качествами, когда утверждал, что самки руководствуются «тягой к красоте».

Вы наверняка заметили, что в этой главе не обсуждается наш собственный биологический вид. Как обстоит дело у нас, людей? То, насколько теория полового отбора применима к людям, вопрос сложный, и мы подробно разберем его в главе 9.

Глава 7

Происхождение видов

Каждый вид – шедевр эволюции, который человечеству вряд ли удалось бы повторить, даже если бы мы каким-то образом научились создавать новые организмы с помощью генной инженерии.

В 1928 г. немецкий зоолог Эрнст Майр отправился в глушь голландской Новой Гвинеи собирать растения и животных. Он только что закончил университет, опыта полевой работы ему не доставало, зато в его пользу говорили три пункта: он всю жизнь обожал птиц, был полон горячего энтузиазма и, что самое главное, ему обеспечивал крепкую финансовую поддержку английский банкир и натуралист-любитель лорд Уолтер Ротшильд. Последний владел крупнейшей в мире частной коллекцией птиц и надеялся пополнить ее за счет усилий Майра. Следующие два года Майр странствовал по горам и джунглям со своими тетрадами и снаряжением натуралиста нередко в полном одиночестве. Он терпел дурную погоду, шел опасными дорогами, неоднократно болел (тропические болезни в эпоху до антибиотиков представляли серьезную угрозу), сталкивался с ксенофобией местных жителей, многие из которых никогда не видывали западного человека. Несмотря на все это, его одиночная экспедиция принесла фантастический успех: Майр привез в Европу множество образцов видов, ранее не известных науке, в том числе 26 видов птиц и 38 видов орхидей. Экспедиция в Новую Гвинею положила начало его блистательной карьере эволюционного биолога, вершиной которой стал профессорский пост в Гарвардском университете, где мне, тогда аспиранту, выпала огромная честь учиться у Майра и общаться с ним.

Майр прожил ровным счетом сто лет и всю жизнь, до самой смерти, неустанно писал книги и научные статьи. Среди них его классический труд 1963 г. «Виды животных и эволюция» (Animal Species and Evolution) – та самая книга, которая заставила меня взяться за изучение эволюции. В этой книге Майр приводит поразительный факт. Подсчитав названия, которые аборигены гор Арфак в Новой Гвинее дали птицам, он обнаружил, что местные жители различают 136 разных типов. Западные зоологи при помощи традиционных научных методов таксономии различают 137 биологических видов. Иными словами, и аборигены, и ученые различают в дикой природе одни и те же виды птиц. Эта согласованность между двумя культурными группами с очень разным происхождением и накопленным опытом убедила Майра, как должна убедить и нас, что дискретность природы не произвольна, а представляет собой объективный факт.

В самом деле, возможно, самый поразительный факт, касающийся природы, – это то, что она *действительно* дискретна. Если посмотреть на животных и растения, то каждая особь практически наверняка попадает в одну из многих дискретных групп. Например, если мы посмотрим на отдельно взятую дикую кошку, то сразу можем идентифицировать ее как льва, кугуара, снежного барса и т. д. Все кошки не сливаются в единую группу неразличимых разновидностей, соединенных промежуточными формами. И, хотя в пределах группы между особями есть отличия (как знают все исследователи львов, каждый лев внешне очень отличается от другого и двух одинаковых не найдется), тем не менее группы в «пространстве живых существ» остаются дискретными. Такие группы мы наблюдаем у всех организмов, размножающихся половым путем.

Эти дискретные группы называются биологическими видами. Поначалу может показаться, что их существование ставит перед эволюционной теорией сложную задачу. В конце концов, эволюция – непрерывный процесс, так как она могла породить группы животных и растений, которые дискретны и не связаны друг с другом, отделены друг от друга разрывами в повадках и облике. То, как образовались эти группы, – вопрос *видообразования*, или происхождения биологических видов.

Разумеется, это заглавие самой знаменитой книги Дарвина, название, которое

подразумевает, что ему было что сказать о видообразовании. Даже в самом первом абзаце книги Дарвин заявил, что биогеография Южной Америки «освещает до некоторой степени проблему происхождения видов – эту тайну из тайн, по словам одного из наших величайших философов» (под «философом», собственно, имелся в виду английский ученый Джон Гершель). Тем не менее великий труд Дарвина в основном умалчивает о «тайне всех тайн», а то немногое, что Дарвину удалось сказать по теме, современным эволюционистам кажется очень запутанным. Совершенно ясно, что Дарвин не считал дискретность природы задачей, которую необходимо разрешить, и не думал, что эта дискретность каким-то образом вызвана естественным отбором. Так или иначе, ему не удалось внятно объяснить наличие видов в природе.

Таким образом, книгу «Происхождение видов» гораздо уместнее было бы озаглавить «Происхождение адаптаций», ибо, хотя Дарвин выяснил, как и почему отдельно взятый вид меняется со временем (в основном за счет естественного отбора), он так и не объяснил, как один вид расщепляется на два. Между тем ответить на этот вопрос о разделении во многом так же важно, как понять путь развития отдельно взятого вида. В конце концов, многообразие природы охватывает миллионы видов, каждый из которых наделен своим уникальным комплексом черт. И все это многообразие произошло от одного-единственного древнего предка. Следовательно, если мы хотим объяснить биологическое разнообразие, нам нужно не только объяснить, как появляются новые *черты*, но необходимо достичь большего и объяснить, как появляются новые *виды*. Поскольку, если бы видообразования не было, не возникло бы и никакого разнообразия форм жизни, а существовал бы только один потомок самого первого вида, который прошел бы долгий путь развития.

На протяжении многих лет после публикации «Происхождения видов» биологи тщетно пытались объяснить, как непрерывный процесс эволюции порождает дискретные группы, известные под названием биологических видов. По сути дела, вопрос о видообразовании всерьез начали рассматривать лишь в середине 1930-х гг. В наши дни, более чем столетие спустя после смерти Дарвина, мы наконец получили относительно полную картину того, что собой представляют биологические виды и как они появляются. Кроме того, у нас есть доказательства этого процесса.

Но прежде чем мы сможем понять происхождение видов, нам нужно разобраться, что в точности они представляют. Один из очевидных ответов основан на том, как мы различаем виды: это группа особей, которые похожи друг на друга больше, чем на представителей других групп. Согласно этому определению, известному как *морфологическая концепция вида*, категория «тигр» должна определяться примерно так: «Группа, включающая всех азиатских кошек, взрослые особи которых достигают более полутора метров в длину, отличаются окрасом в вертикальную черную полосу на оранжевом фоне с белыми пятнами вокруг глаз и рта». Именно так виды животных и растений описаны в полевых руководствах, и именно так биологические виды впервые описал Карл Линней в 1735 г.

Однако это определение создает некоторые проблемы. Как мы убедились в предыдущей главе, у видов, наделенных половым диморфизмом, самцы и самки могут выглядеть очень по-разному. По сути дела, первые музейные исследователи, изучавшие птиц и насекомых, зачастую неверно классифицировали самцов и самок одного и того же вида как представителей двух разных видов. Если представить, что в вашем распоряжении лишь чучело самца и самки павлина, то подобную ошибку в классификации понять очень легко. Далее существует проблема вариаций *в пределах* скрещивающейся между собой группы. Например, по цвету глаз людей можно распределить на несколько разрозненных групп: голубоглазые, кареглазые, зеленоглазые. Различия между ними ярко выражены, так почему бы не отнести их к отдельным биологическим видам? То же самое касается популяций, которые по-разному выглядят в разных местах. Тут люди опять-таки будут первым примером, который приходит на ум. Канадские эскимосы очень отличаются от племени канг из Южной Африки, и обе популяции еще больше

отличаются от финнов. Будем ли мы классифицировать эти три популяции как три разных вида? Это кажется ошибочным, потому что представители всех человеческих популяций благополучно скрещиваются. То, что верно в отношении людей, верно и в отношении многих растений и животных. Например, североамериканскую певчую зонотрихию при классификации подразделили на 31 географическую «расу» (иногда называемую подвидом), основываясь на незначительных различиях в оперении и характере песни. Однако представители всех этих подвидов могут спариваться и дают фертильное потомство. На какой отметке различия между популяциями считаются достаточно большими, чтобы заставить нас называть эти популяции разными видами? Эта идея превращает разграничение видов в действие, основанное на произвольных критериях, но мы знаем, что виды объективно существуют и они – не выдумка человека.

И наоборот, некоторые группы, которые биологи считают разными видами, выглядят или совершенно одинаково, или почти одинаково. Эти скрытые – криптоические – виды обнаруживаются в большинстве групп организмов, в том числе среди птиц, млекопитающих, растений и насекомых. Я изучаю видообразование группы плодовых мушек, дрозофил, которая включает в себя девять видов. Самки всех девяти видов внешне совершенно неразличимы даже под микроскопом, а самцы поддаются классификации только за счет крошечных различий в очертаниях полового аппарата. Точно так же малярийный комар *Anopheles gambiae* представляет собой группу из семи видов, которые очень похожи между собой, но отличаются местом обитания и тем, на каких животных они питаются. Некоторые не кусают людей и поэтому не представляют опасности как переносчики малярии. Если мы хотим успешно побороть болезнь, принципиально важно научиться различать виды малярийного комара. Далее, поскольку человек относится к животным, получающим информацию с помощью зрения, мы склонны упускать из вида черты, которые непросто увидеть, например разницу в феромонах, по которой часто и отличаются виды внешне похожих насекомых.

Возможно, вы задались вопросом: почему, если эти виды-двойники так похожи внешне, мы считаем их разными биологическими видами? Ответ таков: они сосуществуют на одной и той же территории, но при этом никогда не обмениваются генами; представители разных видов никогда не скрещиваются между собой. (Это можно проверить в лаборатории: провести эксперименты по скрещиванию или напрямую рассмотреть гены и убедиться, что виды ими не обмениваются.) Таким образом, эти группы *репродуктивно изолированы* друг от друга: они представляют собой отдельные генофонды, которые не смешиваются. Резонно допустить, что при отражающем истинное положение вещей взгляде на причины, приводящие к обособлению этих групп в природе, эти виды-двойники на самом деле различаются.

А если мы думаем или чувствуем, что кареглазые и голубоглазые люди или эскимосы и финны – это представители одного биологического вида, мы осознаем: это потому, что они могут спариваться друг с другом и производить потомство, наделенное совокупностью их генов. Иными словами, у них один генофонд. Размышляя о видах-двойниках и вариациях среди людей, мы приходим к выводу, что виды обособлены не только потому, что различаются внешне, но потому, что между ними есть преграды для скрещивания.

Первыми это осознали Эрнст Майр и русский генетик Феодосий Добжанский, и в 1942 г. Майр предложил научное определение вида, которое стало золотым стандартом в эволюционной биологии. Используя для определения вида репродуктивный критерий, Майр характеризовал вид следующим образом: «Группы действительно или потенциально скрещивающихся естественных популяций, репродуктивно изолированных от других таких же групп». Это определение известно как *биологическая концепция вида*, или БКВ. Репродуктивная изоляция попросту означает, что представители разных видов наделены такими чертами – различиями во внешности, поведении и физиологии, – которые не позволяют им успешно скрещиваться, в то время как представители

одного вида могут скрещиваться с легкостью.

Что мешает представителям двух родственных видов скрещиваться между собой? Существует множество разных репродуктивных барьеров. Например, виды могут не скрещиваться по той простой причине, что у них не совпадают брачные сезоны или время цветения. Например, некоторые кораллы размножаются только одну ночь в году, выбрасывая массу яйцеклеток и сперматозоидов в море в течение считанных часов. Близкородственный вид, который обитает на той же территории, остается обособленным, потому что пик его размножения происходит на несколько часов раньше или позже, поэтому яйцеклетки одного вида не встречаются со сперматозоидами другого. У близких, но обособленных видов животных зачастую брачные ритуалы или феромоны различаются, поэтому они не находят представителей родственного вида сексуально привлекательными. Феромоны самок дрозофил, которых я изучаю, не привлекают самцов другого вида. Кроме того, виды бывают репродуктивно изолированы за счет того, что предпочитают разную среду обитания и поэтому попросту не встречаются. Многие виды насекомых питаются и размножаются только на одном определенном виде растений, и разные виды насекомых строго привязаны к различным видам растений. Это и препятствует их встрече в брачный период. Близкородственные виды растений не скрещиваются потому, что у них разные опылители. Например, два вида губастика (*Mimulus*) произрастают в одном и том же месте Сьерра-Невады, но редко скрещиваются, потому что один вид опыляют шмели, а другой – колибри.

Изолирующие барьеры могут действовать и после спаривания. Пыльца одного вида растений может просто не прорасти на пестике другого. Если зародыш и сформировался, он может погибнуть, так и не появившись: именно это происходит, если скрестить овцу с козой. Даже если гибриды выживают, они могут оказаться стерильными: классический пример – это крепкий, но стерильный мул, плод скрещивания кобылы и осла. Виды, которые порождают стерильных гибридов, совершенно точно не в состоянии обмениваться генами.

Конечно, случается, что разные изолирующие барьеры действуют и сообща. Большую часть 2000-х гг. я изучал два вида дрозофил, которые обитают на тропическом вулканическом острове Сан-Томе к западу от побережья Африки. Эти два вида до некоторой степени взаимоизолированы за счет местообитания: один вид живет в верхней части вулкана, а второй – у подножия, хотя их ареалы отчасти накладываются друг на друга. Но у этих дрозофил еще и разные брачные ритуалы, поэтому, даже когда они встречаются, представители двух видов редко спариваются. Если же им удастся спариться, то сперматозоиды одного вида крайне плохо оплодотворяют яйца другого, поэтому при скрещивании появляется очень мало потомства. И половина этого гибридного потомства (если быть точным, все самцы) оказывается стерильна. Суммируя влияние всех этих барьеров, мы заключаем, что в природе разные виды практически не обмениваются генами между собой, и этот вывод получает подтверждение при секвенировании ДНК. Следовательно, это явно разные биологические виды.

Преимущество БКВ в том, что она решает многие вопросы, на которые не могут ответить определения видов, основанные на внешнем облике. Что это за загадочные группы комаров? Это различные виды, потому что они не обмениваются генами. Как насчет эскимосов и канг? Возможно, эти популяции и не скрещиваются напрямую (сомневаюсь, чтобы когда-либо существовал подобный союз), однако *потенциально* существует вероятность переноса генов (генетического потока) из одной популяции в другую через промежуточные географические регионы, и, несомненно, если бы представители этих двух популяций скрестились, то произвели бы фертильное потомство. А мужчины и женщины являются представителями одного вида, потому что их гены соединяются при размножении.

Таким образом, согласно БКВ, вид – это репродуктивное единство, генофонд. А это означает, что вид также и *эволюционное единство*. Если в пределах вида происходит «хорошая мутация», например мутация у тигров, которая увеличивает

приплод детенышей у тигрицы на 10 %, то ген, содержащий подобную мутацию, распространится внутри этого вида. Но за пределы вида данная мутация не выйдет, поскольку тигры не обмениваются генами с другими видами. Следовательно, биологический вид – это такая единица эволюции, в рамках которой происходит развитие. Вот почему представители всего вида в целом выглядят и ведут себя очень похоже: ведь у них общие гены и они сходным образом реагируют на факторы эволюции. А отсутствие скрещивания между видами, обитающими в одном и том же месте, не только сохраняет различия в их внешности и поведении, но и дает возможность неограниченной дивергенции.

Однако БКВ как определение уязвимо. Как насчет вымерших организмов? Их вряд ли можно проверить на репродуктивную совместимость. Поэтому кураторы музеев и палеонтологи вынуждены опираться на традиционные определения видов, основанные на внешних признаках, и классифицировать ископаемые и образцы вымерших видов по их общему сходству. А организмы, которые не размножаются половым путем, например бактерии и некоторые грибы, тоже не подпадают под БКВ. Вопрос о том, что представляет собой вид в таких группах, сложен, и мы даже не вполне уверены, что бесполое организмы формируют дискретные группы так, как это делают организмы, размножающиеся половым путем.

Но, несмотря на эти проблемы, эволюционисты, изучающие видообразование, до сих пор отдают предпочтение БКВ, потому что она попадает в самую суть вопроса об эволюции. В рамках БКВ, если вам удалось объяснить, как образуются репродуктивные барьеры, вы объяснили происхождение вида.

То, как именно образуются эти барьеры, долгое время заставляло биологов ломать головы. Наконец, примерно в 1935 г. биологи начали продвигаться вперед как в полевой, так и в лабораторной работе. Одно из важных наблюдений было сделано натуралистами, заметившими, что так называемые *сестринские виды*, т. е. виды, состоящие в самом близком родстве, зачастую разделены самой природой при помощи барьеров географических. Например, сестринские виды морских ежей были обнаружены по разные стороны Панамского перешейка. Сестринские виды пресноводных рыб зачастую обитают в разделенных речных системах. Может ли это географическое разделение быть как-то связано с происхождением видов от общего предка?

«Да», – отвечали генетики и натуралисты и в конечном итоге предположили, как именно совокупное влияние эволюции и географии могло это осуществить. Как заставить один вид расщепиться на два, разделенных географическим барьером? Майр утверждал, что эти барьеры были всего-навсего побочными продуктами естественного или полового отбора, который заставил географически изолированные популяции развиваться в разных направлениях.

Например, предположим, что предковый вид цветкового растения оказался разделен на две популяции географическим барьером, допустим, горным хребтом. Возможно, его семена перенесли через горный хребет птицы в своих желудках. Теперь представьте, что одна популяция произрастает в местности, где много колибри, но очень мало пчел. В этой местности все цветы будут развиваться таким образом, чтобы привлекать колибри в качестве опылителя: как правило, цветы приобретают красную окраску (колибри этот цвет нравится), начинают вырабатывать обильный нектар (чтобы вознаградить птиц) и у них развиваются глубокие трубки венчика (удобные для колибри с их длинными клювами и языками). Популяция по другую сторону горного хребта, возможно, окажется в прямо противоположном положении: в той местности будет много пчел, но почти не будет колибри. В таком случае цветы из второй популяции начнут развивать черты, привлекающие пчел: они приобретут розовую окраску (любимый пчелами цвет) и у них разовьются более мелкие трубки венчика с небольшим количеством нектара (у пчел хоботки короткие, а нектара в качестве награды за опыление им требуется меньше). Кроме того, у таких растений форма цветов будет становиться более плоской, чтобы лепестки служили посадочной площадкой для пчел (в отличие от колибри, пчелы обычно не зависают в воздухе, а садятся на цветок, чтобы собрать нектар). В конечном итоге произойдет дивергенция двух популяций

по форме цветов и количеству нектара, и каждая из них будет приспособлена к опылению только каким-то одним видом животного. Теперь представьте, что географический барьер исчез и две недавно разделившиеся популяции снова очутились в одной и той же местности, т. е. в среде обитания, где водятся и пчелы, и колибри. Эти две популяции окажутся репродуктивно изолированы: каждый из типов цветка взаимодействует со своим опылителем, поэтому их гены не будут смешиваться через перекрестное опыление. Две популяции превратятся в два разных вида. Судя по всему, именно так и ответвились от общего предка два вида губастика, о которых шла речь выше.

Это лишь один путь возникновения репродуктивного барьера посредством дивергентного отбора, т. е. такого отбора, который разводит разные популяции в разных эволюционных направлениях. Легко представить другие сценарии, в которых географически изолированные популяции дивергируют так, что впоследствии не будут скрещиваться. Разные мутации, влияющие на поведение или признаки самцов, могут появиться в разных местах, например более длинные хвостовые перья у одной популяции и оранжевый окрас у другой, и половой отбор затем направит развитие этих двух популяций разными путями. В конечном итоге самки в одной популяции начнут отдавать предпочтение более длиннохвостым самцам, а в другой – обладателям оранжевого окраса. Если впоследствии эти две популяции встретятся, их брачные предпочтения помешают им обменяться генами, и они будут считаться разными биологическими видами.

Что можно сказать о стерильности и нежизнеспособности гибридов? Для первых эволюционистов этот вопрос представлял сложную задачу, потому что они не могли понять, как естественный отбор мог привести к появлению таких явно мальадаптивных и невыгодных черт. Однако предположим, что эти черты появились не вследствие прямого отбора, а возникли просто как случайные побочные продукты генетической дивергенции, вызванной естественным отбором или дрейфом генов. Если две географически изолированные популяции достаточно долго развиваются параллельно каждая своим путем, их геномы могут стать настолько разными, что когда они встретятся в гибриде, то просто будут плохо работать вместе. Это может привести к нарушениям развития, в результате чего гибриды будут либо преждевременно умирать или, если они выживут, окажутся стерильными.

Важно сознавать, что виды не возникают, чтобы заполнить пустующие ниши в природе, как считал Дарвин. Различные виды появляются не потому, что природа каким-то образом в них нуждается. Вовсе нет. Изучение процесса видообразования позволяет утверждать, что виды – это *эволюционные случайности*. Группы, которые так важны для биоразнообразия, появляются не потому, что увеличивают это многообразие, и не потому, что они обеспечивают равновесие экосистем. Они просто представляют собой неизбежный результат действия генетических барьеров, которые возникают, когда пространственно изолированные популяции развиваются в разных направлениях.

Биологическое видообразование во многом напоминает видообразование двух близкородственных языков, происходящих от общего предка (примером могут служить английский и немецкий – языки-братья). Как и виды, языки могут разделиться в изолированных популяциях, у которых некогда был общий язык-предок. Кроме того, когда представители разных популяций меньше смешиваются между собой, языки изменяются быстрее. В то время как популяции генетически меняются посредством естественного отбора (а иногда и генетического дрейфа), человеческие языки меняются посредством лингвистического отбора (люди изобретают новые слова, которые им нравятся или для чего-то нужны) и лингвистического дрейфа (произношение изменяется вследствие имитации и культурной трансмиссии). В ходе биологического видообразования популяции генетически изменяются до такой степени, что их представители перестают воспринимать «соседей» как брачных партнеров или же их гены теряют способность взаимодействовать, чтобы произвести фертильную особь. Сходным образом языки способны разделиться до такой степени, что их носители

перестанут понимать друг друга: носители английского языка не могут автоматически понять немецкоговорящего человека, и наоборот. Языки напоминают биологические виды в том, что они существуют в дискретных группах, а не представляют собой континуум: как правило, речь любого человека может быть однозначно отнесена к одному из нескольких тысяч существующих языков.

Параллель идет гораздо дальше. Эволюция языков прослеживается вглубь далекого прошлого, и существует языковое генеалогическое древо, которое составлено на основании сходства слов и грамматики. Это очень напоминает реконструкцию эволюционного древа организмов, основанного на прочтении их генетического кода. Кроме того, мы можем реконструировать протоязыки или языки-предки, проанализировав общие черты, объединяющие различные языки. Именно так биологи прогнозируют, как должны выглядеть недостающие звенья или предковые гены. Наконец, происхождение языков, как и происхождение видов, случайно: народы не принимают говорить на разных языках, просто чтобы отличаться друг от друга. Новые языки, как и новые виды, формируются как побочные продукты других процессов, как это произошло в Италии в ходе трансформации латыни в итальянский. Аналогии между видообразованием и языками первым провел – кто же еще? – Дарвин в «Происхождении видов».

Однако не стоит безоглядно заводить эту аналогию слишком далеко. В отличие от биологических видов, языки способны к «перекрестному оплодотворению», они впитывают слова и выражения друг друга. Примеров тому множество: например, английский язык впитал из немецкого слово *angst*, обозначающее экзистенциальный страх, а также *kindergarten* – «детский сад». В своей замечательной книге «Языковой инстинкт» (*The Language Instinct*) Стивен Пинкер описывает и другие поразительные сходства и различия между расхождением языков и биологических видов.

Идея, что географическая изоляция служит первым шагом к образованию вида, называется *теорией географического видообразования* (аллопатрия). Формулируется она просто: эволюция генетической изоляции между видами требует, чтобы сначала они были изолированы географически. Почему географическая изоляция так важна? Почему два новых вида не могут просто возникнуть в той же местности, что и их предок? Теория популяционной генетики, а также множество лабораторных экспериментов показывают, что разделение одной популяции на две генетически изолированные части крайне затруднено, если они сохраняют способность скрещиваться. Без изоляции отбор, который мог бы разделить популяции, будет вынужден бороться со скрещиванием, постоянно объединяющим особей и перемешивающим их гены. Представьте насекомое, обитающее в лесу, где произрастает два типа растений, на которых оно может кормиться. Для употребления в пищу каждого из растений насекомому требуется свой набор адаптаций, поскольку у растений разные токсины, питательные вещества и запахи. Но по мере того как каждая группа насекомых на этой территории начнет адаптироваться к одному растению, она также начнет скрещиваться с насекомыми, адаптирующимися к другому растению. Такое постоянное перемешивание генов будет мешать генофонду разделиться на два вида. В конечном итоге, возможно, получится некий «общий» вид, который питается обоими растениями. Видообразование подобно разделению масла и уксуса: хотя они стремятся разделиться, но при постоянном перемешивании им это сделать не удастся.

Каковы доказательства географического видообразования? Нас интересует не вопрос о том, существует ли оно, но то, как именно оно происходит. Из палеонтологической летописи, эмбриологии и других данных нам уже известно, что виды произошли от общих предков. Сейчас мы хотим убедиться, что новыми видами становятся те популяции, которые оказались разделены географически. Это задача не из простых. Прежде всего видообразование у всех организмов за вычетом бактерий обычно идет очень медленно – гораздо медленнее, чем разделение языков. Мы с коллегой Алленом Орром подсчитали, что, начиная с одного общего предка, для развития двух репродуктивно изолированных видов

требуется примерно от 100 000 до 5 млн лет. Видообразование движется со скоростью ледника, и это означает, что, за считанными исключениями, нам нечего и надеяться, что в течение одной человеческой жизни мы сможем проследить весь процесс видообразования или даже его малую часть. Чтобы изучить процесс видообразования, нам придется обратиться к косвенным методам и проверять прогнозы, полученные исходя из теории географического видообразования.

Первый прогноз гласит, что если видообразование во многом зависит от географической изоляции, то на протяжении истории жизни у популяций наверняка было множество возможностей испытать подобную изоляцию. В конце концов, сейчас на Земле существуют миллионы биологических видов. Но географическая изоляция – явление распространенное, обычное. Растут горные хребты, распространяются ледники, формируются пустыни, континенты меняют свое местоположение, а засуха разделяет сплошной лес на участки, перемежающиеся степями. Каждый раз, как происходит нечто из этого перечня, у вида появляется шанс быть разделенным на две или более популяций. Когда около 3 млн лет назад сформировался Панамский перешеек, поднявшаяся порода разделила популяции морских организмов, очутившиеся по обе стороны от него, – организмов, изначально принадлежавших к одному виду. Даже река может сыграть роль географического барьера для многих птиц, которые не любят летать над водой.

Однако популяции не всегда оказываются изолированными за счет формирования географических барьеров. Бывает, что их разделяет случайное рассеивание на большие расстояния. Предположим, что несколько особей или даже одна беременная самка, отбившаяся от остальных сородичей, заблудилась и колонизировала отдаленный берег. Таким образом разовьется колония, изолированная от материковых предков. Именно это и происходит на океанических островах. Еще выше шансы на такую изоляцию путем расселения на архипелагах, где особи по воле случая странствуют туда-сюда по соседним островам и каждый раз оказываются в географической изоляции. Каждый раунд изоляции создает еще один шанс для видообразования. Вот почему на архипелагах обнаруживаются знаменитые случаи адаптивной радиации у близкородственных видов: например, дрозofilы на Гавайях, игуанообразные ящерицы анолис на Карибах и вьюрки на Галапагосах.

Получается, что возможностей для географического видообразования имелось в изобилии, но достаточно ли было времени? И это несложный вопрос. Видообразование – это разделение, при котором каждая предковая ветвь раздваивается, а получившиеся разветвления затем также разветвляются, и так растет древо жизни. Это означает, что количество видов возрастает в геометрической прогрессии, хотя некоторые ветви отсекаются вымиранием. Насколько же быстрым должно было быть видообразование, чтобы оно объясняло нынешнее многообразие форм жизни? По имеющимся данным, сейчас на Земле обитает 10 млн видов. Давайте повысим этот показатель до 100 млн, принимая во внимание виды, которые еще не открыты. Оказывается, что если начать с одного вида 3,5 млн лет назад, то к нынешнему дню можно получить 100 млн современных видов, даже если каждый предковый вид давал начало двум новым видам всего лишь каждые 130 млн лет. И, как мы убедились, на деле видообразование происходит гораздо быстрее, поэтому, даже если мы учтем многие виды, которые появились, но затем вымерли, все равно времени для географического видообразования было в достатке.

А можно ли проверить главную идею, согласно которой репродуктивные барьеры представляют собой побочный продукт эволюционных изменений? Да, ее по крайней мере можно проверить лабораторным путем. С этой целью биологи проводят эволюционные эксперименты, заставляя растения и животных путем развития адаптироваться к разным условиям обитания. Они моделируют то, что происходит, когда изолированная природная популяция оказывается в иной, чуждой среде обитания. После периода адаптации различные «популяции» подвергаются лабораторной проверке, чтобы установить, появились ли у них

репродуктивные барьеры. Поскольку такие эксперименты можно провести только над десятками поколений, а для видообразования в дикой природе требуются тысячи поколений, не стоит рассчитывать, что удастся проследить появление полноценного вида. Но время от времени удастся заметить начало репродуктивной изоляции.

Удивительно, но даже такие краткосрочные эксперименты довольно часто порождают генетические барьеры. Более чем в половине подобных исследований был получен положительный результат (исследований было проведено около двадцати, причем все – над мухами, потому что у мух смена поколений происходит за короткое время). Результат зачастую показывал, что репродуктивная изоляция между популяциями возникает уже через год после начала отбора. Чаще всего адаптация к различным «условиям обитания» (разным типам пищи, например, или способности двигаться вверх и вниз в вертикальном лабиринте) приводит к тому, что в популяции возникает брачная избирательность. Пока что невозможно в точности сказать, какие именно особенности используют особи в популяции, проявляя избирательность, но эволюция генетических барьеров за такой короткий период подтверждает ключевое предсказание географического видообразования.

Второе предсказание, на котором основана теория, касается собственно географии. Если популяциям, чтобы превратиться в виды, необходимо быть физически изолированными друг от друга, тогда мы неизбежно найдем недавно сформировавшиеся виды в разных, но соседствующих районах. Приблизительное представление о том, как давно разошлись виды, можно получить, взглянув на различия нуклеотидных последовательностей их ДНК, которые примерно пропорциональны тому времени, которое прошло с момента их ответвления от общего предка. Таким образом, сестринские виды стоит искать в группах, у которых наблюдается наибольшее сходство молекул ДНК (и, следовательно, наиболее близкое родство), и проверить, изолированы ли они географически.

Этот прогноз также подтверждается: мы видим множество сестринских видов, разделенных географическим барьером. Например, по обе стороны Панамского перешейка на мелководье обитает семь видов креветок-щелкунов. Ближайший родственник каждого вида – это другой вид *по другую сторону* перешейка. Что, скорее всего, произошло в прошлом? Семь предковых видов креветок-щелкунов оказались разделены 3 млн лет назад, когда перешеек поднялся из моря. Каждый предок сформировал свой атлантический и тихоокеанский вид. (Кстати, креветки-щелкуны представляют собой биологическую диковину. Их название происходит от способа, которым они убивают добычу. Креветка не прикасается к добыче, но, щелкая единственной огромной клешней, производит звуковой удар на таких высоких частотах, что он оглушает жертву. Большие группы креветок-щелкунов способны производить такой шум, что создают помехи для локаторов подводных лодок.)

Точно так же обстоит дело и у растений. Пары сестринских видов цветковых растений обнаруживаются в Восточной Азии и на востоке Северной Америки. Всем ботаникам известно, что в этих районах сходная флора, в том числе симплокарпус вонючий, тюльпанное дерево и магнолия. В одном ботаническом исследовании было обнаружено девять пар сестринских видов растений, в том числе камписис укореняющийся, кизил и подофилл, причем в каждой паре один вид произрастал в Азии, а второй, его ближайший сородич, в Северной Америке. Ботаники выдвинули теорию, что каждая из девяти пар некогда была одним видом, непрерывно распространенным по обоим континентам, но затем, около 5 млн лет назад, когда климат стал холоднее и суше и промежуточный лес был уничтожен, популяции оказались географически изолированы и начали развиваться самостоятельно. Разумеется, датировка разделения этих девяти пар растений, основанная на определении нуклеотидной последовательности ДНК, указала, что это произошло примерно 5 млн лет назад.

Архипелаги – подходящее место, чтобы проверить, необходима ли для видообразования физическая изоляция. Если от одной группы произошел ряд биологических видов в пределах скопления островов, то должно оказаться, что

ближайшие родственники обитают на разных островах, а не на одном и том же. (Острова-одиночки зачастую слишком малы для географической изоляции популяций, которая служит первым шагом видообразования. В то же время разные острова изолированы друг от друга водой и это наверняка будет способствовать легкому появлению новых видов.) Этот прогноз, как выясняется, в общем и целом тоже верен. Например, на Гавайях сестринские виды плодовой мушки-дрозофилы, как правило, обитают на разных островах; то же касается менее известного, но тем не менее впечатляющего примера адаптивной радиации нелетающих сверчков и растения лобелия. Более того, сроки видообразования у дрозофил были установлены с помощью секвенирования ДНК, и оказалось в точном соответствии с прогнозом, что старейшие из видов были обнаружены на старейших островах архипелага.

Существует еще одно предсказание, касающееся географического видообразования, которое основано на разумном допущении, что такое видообразование происходит в природе и сейчас. Если это так, мы сможем обнаружить изолированные популяции одного вида, в которых начинается процесс видообразования и в которых при этом наблюдается слабая репродуктивная изоляция от других популяций. Как и следовало ожидать, прогноз подтверждается, и тому есть немало примеров. Один из них – орхидея *Satyrion hallackii*, которая произрастает в Южной Африке. На севере и востоке орхидею опыляют бражники, а также мухи с длинным хоботком. Чтобы привлечь этих опылителей, у цветков орхидей развились длинные трубки венчика; опыление таких цветов возможно только при условии, что бабочка или муха с длинным хоботком подлетит достаточно близко, чтобы просунуть хоботок в чашу цветка. Но в прибрежных районах единственный опылитель – это пчела, у которой хоботок короткий, поэтому в такой местности у цветков орхидеи трубки венчика гораздо короче. Если бы популяциям пришлось произрастать в местности, где водились бы все три группы опылителей, то у цветов с длинными и короткими венчиками неизбежно проявилась бы некоторая генетическая изоляция, потому что видам с длинными хоботками было бы затруднительно опылять цветы с короткими венчиками, и наоборот. Существует также множество примеров видов животных, у которых особи из разных популяций спариваются менее охотно, чем особи из одной популяции.

Финальное предсказание для проверки географического видообразования будет звучать так: должно выясниться, что репродуктивная изоляция между парой физически изолированных популяций со временем медленно возрастает. Мы с коллегой Алленом Орром проверили это предсказание, наблюдая за множеством пар видов дрозофил, причем каждая пара видов отделилась от собственного общего предка в разное время в прошлом. (С помощью метода «молекулярные часы», описанного в главе 4, мы сумели определить время, когда пара видов начала разделяться. Для этого потребовалось подсчитать количество различий в последовательности нуклеотидов ДНК этой пары.) Мы измерили три типа репродуктивных барьеров в лабораторных условиях: брачную избирательность между парами видов, а также стерильность и нежизнеспособность их гибридов. В соответствии с предсказанием мы обнаружили, что репродуктивная изоляция между ними со временем неуклонно возрастает. Через 2,7 млн лет разделения генетические барьеры между группами становятся достаточно сильными, чтобы полностью предотвратить скрещивание. Это долгий срок. Ясно, что по крайней мере у дрозофил образование новых видов – процесс медленный.

История обнаружения способа возникновения видов напоминает историю о том, как астрономы открыли эволюцию звезд. Оба процесса протекают слишком медленно, чтобы мы имели возможность пронаблюдать их в течение человеческой жизни. Но все-таки в наших силах понять, как они работают, и для этого мы рассматриваем моментальные снимки процесса на разных стадиях эволюции, а потом соединяем их, чтобы получить связный фильм. Астрономы обнаружили в галактиках дисперсные облака материи («звездные ясли»). В других местах они увидели, как эти же облака конденсируются в протозвезды. А где-то еще они пронаблюдали, как протозвезды развиваются в полноценные звезды,

конденсируясь еще больше и затем генерируя свет по мере того, как температура их ядра повышается настолько, чтобы атомы водорода превратились в гелий. Встречались звезды типа красный гигант, такие как Бетельгейзе; иные проявляли признаки отбрасывания своего внешнего слоя в космос, а другие пока еще оставались маленькими, плотными белыми карликами. Выстроив все эти стадии в логическую последовательность, основанную на том, что нам известно о физическом и химическом строении звезд и их поведении, мы сумели понять, как звезды зарождаются, формируются, существуют и умирают. На основе этой картины эволюции звезд мы можем делать предсказания. Например, нам известно, что звезды размером с наше Солнце излучают ровный свет в течение примерно 10 млрд лет, прежде чем увеличиться и стать красными гигантами. Поскольку нашему Солнцу около 4,6 млрд лет, мы знаем, что наша планета сейчас примерно на середине жизненного пути, прежде чем она наконец будет поглощена расширением Солнца.

Точно так же обстоит дело и с видообразованием. Мы видим весь диапазон географически изолированных популяций: он начинается с популяций, которые не проявляют признаков репродуктивной изоляции; далее следуют те, у которых степень репродуктивной изоляции возрастает (по мере того, как популяции оказываются изолированы на все более длительные периоды), и, наконец, видообразование завершается. Мы видим молодые виды, произошедшие от общего предка, по разные стороны географических барьеров наподобие рек или Панамского перешейка, а также на разных островах одного архипелага. Сведя все эти наблюдения воедино, мы приходим к выводу, что изолированные популяции разветвляются и что, когда дивергенция продолжается достаточно долго, в качестве побочного продукта эволюции образуются репродуктивные барьеры.

Креационисты нередко заявляют, что если нам не увидеть в течение человеческой жизни, как возникает новый биологический вид, то видообразования не существует. Но такой аргумент нелеп – это все равно что говорить: «Раз мы никогда не видели, как одна звезда проходит свой полный жизненный цикл, значит, звезды не эволюционируют» или «Раз мы не наблюдали, как возникает новый язык, языки не развиваются». Историческая реконструкция процесса – вполне надежный способ изучать сам процесс, и она способна давать прогнозы, которые можно проверить и подтвердить. Мы можем прогнозировать, что Солнце начнет выгорать примерно через 5 млрд лет, и точно так же нам по силам прогнозировать, что лабораторные популяции, которые подвергались разнонаправленному искусственному отбору, станут генетически изолированными.

Большинство эволюционистов согласны с тем, что географическая изоляция популяций – самый распространенный способ видообразования. Это означает, что, если близкородственные виды живут в одной и той же местности (это частая ситуация), они отделились друг от друга раньше, когда их предки были географически изолированы. Но некоторые биологи полагают, что новый вид способен возникнуть и безо всякого географического разделения и оно не всегда нужно. Например, Дарвин в «Происхождении видов» неоднократно утверждал, что новые виды, особенно растения, способны возникнуть на очень маленькой, ограниченной территории. Со времен Дарвина биологи вели яростные споры о том, возможно ли видообразование без участия географических барьеров (оно называется *симпатрическим* видообразованием – от греческого «одно и то же отечество»). Как я уже говорил, здесь затруднение в том, что сложно разделить один генофонд на два, если его члены остаются в одной и той же местности, потому что скрещивание между едва разделившимися формами будет постоянно объединять их снова в один вид. Математические теории показывают, что симпатрическое видообразование возможно, но только при ограничивающих условиях, которые в природе могут быть редкостью.

Найти в природе доказательства географического видообразования легко, но отыскать доказательства симпатрического видообразования гораздо сложнее. Если перед вами два родственных вида, обитающих в одном районе, это вовсе не обязательно означает, что они появились в этом районе. Виды постоянно меняют

область распространения по мере того, как их среда обитания расширяется и сокращается в ходе долгосрочных изменений климата, периодов оледенения и т. п. Родственные виды, обитающие на одной территории, возможно, появились где-то еще, а встретились повторно уже позже. В таком случае как нам удостовериться, что два родственных вида, обитающих в одной местности, на самом деле возникли в этой местности?

Вот один способ проверки. Посмотрим на островные места обитания: это маленькие клочки изолированной суши (например, океанические острова) или воды (например, маленькие озера), которые в целом слишком малы, чтобы там могли быть географические барьеры. Если в таких местах обитания мы наблюдаем близкородственные виды, то можем сделать вывод, что они сформировались симпатрически, поскольку географическая изоляция в таких условиях маловероятна.

Приведу несколько примеров. Самый лучший касается рыбы цихлиды в двух крошечных озерах в Камеруне. Эти изолированные африканские озера, заполняющие кратеры вулканов, слишком малы, чтобы предоставить популяциям, в них обитающим, возможность географической изоляции (размер озер составляет 0,3 и 2,5 кв. км соответственно). Тем не менее в каждом озере обнаруживается набор близкородственных видов, причем каждый недавно произошел от общего предка: в одном озере обитают одиннадцать видов, а в другом – девять. Это, пожалуй, лучшее доказательство, подтверждающее симпатрическое видообразование, хотя нам и не известно, как и почему это произошло.

Другой пример касается пальм на океаническом острове Лорд-Хау, расположенном в Тасмановом море в 560 км от восточного побережья Австралии. Хотя остров очень мал, примерно 13 кв. км, на нем произрастает два местных вида пальм – ховея Форстера и ховея Бельмора, которые состоят в близком родстве. (Ховею Бельмора вы наверняка видели, это комнатное растение, популярное во всем мире.) Предком обоих видов является пальма, которая росла на острове примерно 5 млн лет назад. Крайне маловероятно, чтобы в этом видообразовании была задействована географическая изоляция, особенно потому, что пальмы опыляются ветром, которому под силу перенести пыльцу через обширное пространство моря.

Есть еще несколько примеров симпатрического видообразования, хотя и не такие убедительные, как два предыдущих. Однако больше всего удивляет количество случаев, когда симпатрическое видообразование не произошло, хотя все условия для этого были. Существует множество островных местообитаний, где встречается немало видов, но ни один из них не состоит в близком родстве с другим видом. Очевидно, что симпатрическое видообразование на этих островах не произошло. Мы с коллегой Тревором Прайсом исследовали виды птиц, обитающих на океанических островах, проверяя, не найдется ли среди них близких родственников, что могло бы указывать на видообразование. Всего мы исследовали 46 островов, и ни на одном не оказалось эндемичных видов птиц, которые бы состояли между собой в близком родстве. Такой же результат наблюдался в ходе исследований ящериц анолис, маленьких зеленых созданий, которых часто продают в зоомагазинах. Близкородственные виды этой ящерицы просто не обнаруживаются на островах, уступающих размером Ямайке – большому, гористому острову, достаточно разнообразному, чтобы предоставить условия для географического видообразования. Отсутствие сестринских видов на этих островах показывает, что симпатрическое видообразование в данных группах не распространено. Кроме того, этот факт обеспечивает нам аргумент против креационистов. В конце концов, нет очевидной причины, по которой творец мог создать похожие виды птиц или ящериц на континентах, но не на изолированных островах. (Под «похожими» я подразумеваю такое сходство, что эволюционисты сочтут эти виды близкородственными. Большинство креационистов не принимают идею «родственных» видов, поскольку это предполагает эволюцию.) Редкость случаев симпатрического видообразования – как раз то, что предсказывает эволюционная теория, и потому служит еще одним доказательством эволюции.

Однако существуют две особые формы симпатрического видообразования, которые

не только широко распространены среди растений, но и предоставляют нам уникальные случаи «видообразования в действии»: виды формируются у нас на глазах, в течение нашей жизни. Одна из этих форм – *аллополиплоидное видообразование*. Самое любопытное в нем то, что оно начинается не с изоляции популяций одного и того же вида, а с гибридизации двух разных видов, обитающих в одном и том же районе. Обычно оно требует, чтобы два разных вида были также наделены разным количеством или разными типами хромосом. Из-за этого различия у гибрида двух видов в ходе опыления не происходит полноценного образования пар хромосом, а потому гибрид получается стерильным. Однако если бы у этого гибрида существовала возможность удвоить каждую хромосому, то у каждой хромосомы была бы пара и гибрид с двойными хромосомами был бы фертилен. Кроме того, он был бы представителем нового вида, потому что, хотя он и оставался бы стерильным при спаривании с похожими гибридами, он не мог бы скрещиваться ни с одним из представителей родительского вида, потому что подобное спаривание дало бы стерильное потомство с нечетным количеством хромосом. На деле такие аллополиплоиды с «двойными хромосомами» регулярно появляются, порождая новые биологические виды.

Полиплоидное видообразование не всегда требует гибридизации. Полиплоид способен появиться просто за счет удвоения всех хромосом у одного вида. Такой процесс называется *аутополиплоидия*. Он также приводит к появлению новых видов, потому что каждый аутополиплоид, спариваясь с другими аутополиплоидами, способен породить фертильных гибридов, но при спаривании с исходным родительским видом дает лишь стерильных гибридов.

Чтобы получить любой из типов полиплоидного видообразования, нужно, чтобы в двух последовательных поколениях произошло редкое событие, а именно образование и слияние спермы и яиц с аномально высоким количеством хромосом. Вероятно, из-за этого вы могли решить, что подобное видообразование – редчайшая из редкостей. Но нет. Учитывая, что одно растение производит миллионы яйцеклеток и пыльцевых зерен, невероятное событие в итоге становится весьма вероятным. Оценки варьируют, однако было подсчитано, что в хорошо изученных районах мира практически четверть всех видов цветковых растений сформировалась путем полиплоидии. В то же время доля существующих видов, у которых где-то в родословной имелся случай полиплоидии, возможно, составляет около 70 %. Ясно, что это распространенный способ появления новых видов растений. Более того, полиплоидные виды обнаруживаются почти среди всех групп растений (примечательное исключение составляют деревья). Многие растения, употребляемые в пищу или в декоративных целях, представляют собой полиплоиды или стерильные гибриды, у которых был родитель-полиплоид. К таким растениям относятся пшеница, хлопок, капуста, хризантемы и бананы. Произошло это потому, что люди выявили гибриды в природе как обладателей полезных черт, полученных от обоих родительских, или намеренно вывели полиплоиды, чтобы получить искомую комбинацию генов. Иллюстрацией послужат два примера, с которыми вы часто встречаетесь в быту. У многих форм пшеницы шесть наборов хромосом, потому что она выведена нашими предками путем сложной серии скрещиваний, в которых участвовали три разных вида. Промышленные бананы, которые мы покупаем в магазине, представляют собой стерильные гибриды двух диких видов, и у этих гибридов два набора хромосом, по одному набору от каждого вида. Черные вкрапления внутри банана – это на самом деле абортированные яйцеклетки, которые не стали семенами, потому что нормального соединения хромосом в пары не произошло. Поскольку растение банан стерильно, то бананы приходится разводить из черенков.

Гораздо реже полиплоидия встречается у животных, лишь изредка ее случаи обнаруживаются у рыб, насекомых, червей и рептилий. Многие из этих форм размножаются бесполым путем, но есть одно млекопитающее, размножающееся половым путем и при этом полиплоидное: занятная равнинная вискачевая крыса из Аргентины. У нее 112 хромосом – самое большое количество, когда-либо наблюдавшееся у млекопитающего. Непонятно, почему животные-полиплоиды встречаются так редко. Возможно, это как-то связано с тем, что полиплоидия

нарушает хромосомный механизм определения пола, или с неспособностью животных к самооплодотворению. В противоположность животным многие растения обладают этой способностью, что позволяет единственной новой особи-полиплоиду произвести много близкородственных особей, которые все окажутся представителями одного нового вида.

Полиплоидное видообразование отличается от других типов видообразования, потому что включает в себя изменения количества хромосом, а не изменения самих генов. Оно происходит значительно быстрее, чем «нормальное» географическое видообразование, поскольку новый полиплоидный вид способен появиться всего за два поколения. В масштабах геологического времени это почти что мгновенно. Такое явление дает нам беспрецедентную возможность увидеть, как новый вид появляется в режиме реального времени, удовлетворяя наше желание убедиться, как же происходит видообразование. Известно по меньшей мере пять новых видов растений, появившихся таким образом.

Одно из них – это крестовник кембриджский (*Senecio cambrensis*), цветковое растение семейства ромашковых. Впервые было обнаружено в Северном Уэльсе в 1958 г. Недавние исследования показали, что это полиплоидный гибрид двух других видов, один из которых – крестовник обыкновенный (*Senecio vulgaris*), уроженец Англии, а второй – оксфордский крестовник (*Senecio squalidus*), завезенный в Англию в 1792 г. В Уэльсе крестовник не рос примерно до 1910 г. Это означает, что, учитывая страсть англичан к ботанике (непрерывно порождающую новые виды местных растений), гибридный валлийский крестовник, вероятнее всего, появился между 1910 и 1958 гг. Доказательство того, что это и впрямь гибрид, возникший путем полиплоидии, складывается из нескольких составляющих. Во-первых, растение *выглядит* как гибрид, поскольку наделено чертами и крестовника обыкновенного, и оксфордского крестовника. Более того, у этого растения в точности такое количество хромосом, какое по прогнозу и должно быть у гибрида этих видов, а именно 60 (у одного из родителей 40 хромосом, у другого – 20). Генетические исследования показали, что гены и хромосомы гибрида представляют собой комбинацию тех, которые наблюдаются у видов-родителей. Окончательным подтверждением мы обязаны Жаклин Уэйр и Рут Инграм из Университета Сен-Эндрю в Шотландии: исследовательницы получили гибридный вид в лаборатории, проведя разнообразные скрещивания двух видов-родителей. Этот искусственно выведенный гибрид выглядит точно так же, как кембриджский крестовник в дикой природе. (Дикие гибридные виды зачастую повторно выводят в лабораторных условиях, чтобы проверить их родословную.) Таким образом, почти несомненно, что кембриджский крестовник представляет собой новый вид, возникший за последнее столетие.

Четыре других примера видообразования в реальном времени очень похожи. Все связаны с гибридами местного вида и интродуцированного. Хотя в этом процессе есть доля искусственности (вмешательство человека, перемещающего растения), но такое вмешательство необходимо допустить, если мы хотим увидеть, как новые виды появляются у нас на глазах. Похоже, что если подходящие виды-родители произрастают в одной и той же местности, то полиплоидное видообразование происходит очень быстро. Следовательно, чтобы пронаблюдать, как аллополиплоидные виды появляются в природе, мы должны быть рядом вскоре после того, как два родительских вида окажутся в непосредственной близости. А это произойдет только после недавнего биологического вторжения.

Но полиплоидное видообразование происходило много раз безо всяких очевидцев в ходе эволюции. Нам это известно потому, что ученые синтезировали в оранжерее полиплоидные гибриды, которые внешне идентичны тем, что сформировались в природе задолго до нашего появления на свет. Искусственно выведенные полиплоиды способны скрещиваться с полиплоидами из дикой природы. Все это служит веским доказательством того, что мы реконструировали происхождение вида, сформированного в природе естественным путем.

Такие случаи полиплоидного видообразования должны удовлетворить запросам тех критиков, которые ни за что не соглашаются принять идею эволюции, пока она не

произойдет прямо у них на глазах. Но даже и без полиплоидов мы располагаем множеством доказательств видообразования. В палеонтологической летописи мы находим разделившиеся эволюционные ветви. В природе мы видим близкородственные виды, разделенные географическими барьерами – барьерами, которые служат основой видообразования. Несомненно, случись Чарльзу Дарвину жить в наши дни, он был бы восхищен, обнаружив, что происхождение видов уже не «тайна всех тайн».

В 1924 г., одеваясь на венчание, куда его пригласили в качестве шафера, Раймонд Дарт в буквальном смысле слова получил на руки предмет, которому суждено было стать величайшим ископаемым открытием XX в. Дарт был не только молодым преподавателем анатомии в южноафриканском Витватерсрандском университете, но и антропологом-любителем, и оповестил всех, что разыскивает «интересные находки» для нового музея анатомии. Дарт как раз облачался во фрак, когда почтальон принес ему две коробки с породой, содержавшей фрагменты костей, извлеченных из известняковой каменоломни поблизости от Таунга в провинции Трансвааль. В своих воспоминаниях, озаглавленных «Приключения с недостающим звеном» (Adventures with the Missing Link), Дарт описывает это мгновение так:

«Едва я открыл крышку, как меня пронзила молния восторга. На самом верху груды камней виднелся явный эндокраниальный отпечаток или слепок внутренней поверхности черепа. Даже если бы это был всего лишь ископаемый отпечаток мозга любого вида обезьян, он бы уже считался великим открытием, потому что сведений о подобной находке ранее не поступало ни разу. Но я с первого взгляда понял, что в моих руках не заурядный слепок антропоидного мозга (эндокран). Передо мной в известняке был слепок мозга, втрое превосходивший величиной мозг павиана и значительно больше мозга взрослого шимпанзе. Поразительная картина извилин и борозд мозга и кровеносных сосудов черепа едва проступала в отпечатке.

Мозг был недостаточно большим для первобытного человека, но даже для обезьяны он был крупным, и, что самое главное, передний мозг был настолько велик и так далеко разросся назад, что полностью закрывал задний мозг.

Нет ли среди каменных обломков черепа, подходящего к этому мозгу? Я принялся лихорадочно перерывать коробки. Вскоре мои старания были вознаграждены, поскольку я обнаружил крупный камень с углублением, в которое слепок мозга вписывался просто идеально. В известняке едва заметно проступали очертания расколотой части черепа и даже задняя часть нижней челюсти и зубной лунки, и это показывало, что череп наверняка таится где-то здесь же в камне...

Я стоял, сжимая слепок мозга с жадностью, с которой скряга сжимает в руках золото, и мысли мои метались. Я был уверен, что держу одну из самых значительных находок, когда-либо сделанных за всю историю антропологии.

Мне вспомнилась теория Дарвина, утверждавшая, что древнейшие предки человека, возможно, жили в Африке, – теория, которой многие не верили и которую осуждали. Неужели мне суждено стать орудием судьбы, благодаря которому найдено недостающее звено?

Эти приятные грезы прервал жених, который настойчиво дергал меня за рукав.

– Боже, Рэй! – воскликнул он, стараясь не показывать, что нервничает. – Одевайся же скорее, иначе мне придется искать другого шафера. Лимузин вот-вот подадут.»

Тревогу жениха можно понять. Никому не захочется в день собственной свадьбы обнаружить, что твоего шафера больше интересует коробка пыльных камней, чем предстоящая церемония. Но и трепет Дарта вызывает у нас в душе отклик. В «Происхождении человека» Дарвин выдвинул гипотезу, согласно которой наш биологический вид возник в Африке, потому что наши ближайшие сородичи, гориллы и шимпанзе, водятся именно там. Однако это было не более чем предположение, и ископаемых, которые бы его подтвердили, не имелось. Очевидно существовал зияющий эволюционный провал между нами и общим предком, который должен был быть одновременно и предком других крупных обезьян, предком, который совершенно точно больше походил на обезьяну, чем на человека. В тот день 1924 г. через эволюционный провал был впервые перекинут мост, показывающий, что в конечном итоге этот провал удастся пересечь. Здесь, в дрожащих от волнения руках Дарта, находился первый фрагмент того, что задолго до этого упрощенно именовали недостающим звеном. Остается удивляться, как Дарту вообще удалось сосредоточиться на своих обязанностях шафера.

В коробке, которую открыл Дарт, лежал первый образец вида, позже получившего название *Australopithecus africanus* (австралопитек африканский). Следующие три месяца Дарт скрупулезно препарировал скальную породу с помощью заостренных вязальных спиц, которые ученый позаимствовал у жены. Таким образом ему постепенно удалось извлечь из камня череп целиком. Это был череп детеныша, причем в комплекте с молочными и начавшими прорезываться коренными зубами. Теперь эта находка известна как ребенок из Таунга. Сочетание человеческих и обезьяноподобных черт отчетливо подтвердило идею Дарта, что ему в руки попал образец, относящийся к самому началу родословной человека.

Со времен Дарта палеоантропологи, генетики и молекулярные биологи использовали ископаемые и секвенирование ДНК, чтобы определить наше место на древе эволюции. Мы – обезьяны, которые произошли от других обезьян, и наш ближайший сородич – это шимпанзе, чьи предки отделились от нашего в Африке несколько миллионов лет назад. Эти факты неоспоримы. Они вовсе не оскорбляют нашу человечность, скорее, они должны вызывать удовлетворение и удивление, потому что они связывают нас со всеми организмами, мертвыми и живыми.

Однако далеко не все радуются и удивляются этим фактам. У тех, кто не желает принимать дарвинизм, наибольшее неприятие вызывает именно эволюция человека. Казалось бы, не так уж сложно принять то, что млекопитающие произошли от рептилий, а наземные животные – от рыб. Но люди не могут заставить себя признать, что, подобно любому другому виду, мы тоже произошли от предка, который сильно отличался от нас. Человек всегда ощущал, что стоит особняком от остальной природы. Нас подхлестывает религиозное убеждение, что люди были сотворены совершенно отдельно, как нечто особенное, а также солипсизм, который естественным образом присущ мозгу, обладающему самосознанием. И поэтому мы сопротивляемся уроку эволюции, который гласит, что, подобно прочим животным, мы представляем собой случайный плод слепого и бессознательного процесса естественного отбора. А поскольку в США господствует фундаменталистская религия, эта страна входит в число тех, кто наиболее яростно сопротивляется факту человеческой эволюции.

В знаменитом «Обезьяньем процессе» 1925 г. учитель средней школы Джон Скоупс предстал перед судом в городе Дейтон, штат Теннесси, и был осужден за нарушение действовавшего в штате «Акта Батлера» (Butler Act). Впечатляет то, что этот закон запрещал преподавать даже не эволюцию в целом, но саму идею, что люди появились путем эволюции:

Будет нарушением закона, если любой преподаватель любого университета или школы, содержащихся полностью или частично за счет штата, будет преподавать любую теорию, отрицающую историю Божественного Творения человека, как тому учит Библия, и вместо этого преподавать, что человек произошел от низших животных.

В то время как более либеральные креационисты допускают, что некоторые виды, возможно, эволюционировали от других, все креационисты считают людей исключением. Они утверждают, что разрыв между нами и другими приматами был непреодолим для эволюции, и это неизбежно подразумевает акт верховного творения.

Идея, что человек является частью природы, на протяжении большей части истории биологии подвергалась анафеме. В 1735 г. шведский ботаник Карл Линней, который заложил основы биологической классификации, исходя из анатомического сходства, объединил человека, которого назвал *Homo sapiens* (человек разумный) с обезьянами. Линней не предполагал, что эти виды связаны эволюционными отношениями: он стремился лишь выявить, какой порядок тайлся за божественным творением, однако его решение все-таки было спорным, и на ученого обрушился гнев священнослужителей.

Столетие спустя Дарвин отдавал себе отчет, каким гонениям подвергнется, когда объявит то, в чем был искренне убежден, а именно, что люди произошли от других

биологических видов. В «Происхождении видов» Дарвин крайне осторожно затронул этот вопрос, ввернув в самом конце книги туманную фразу: «В будущем, я предвижу, откроется еще новое важное поле исследования». Вплотную Дарвин занялся этим вопросом лишь десять лет спустя, в «Происхождении человека» (1871). Дарвину придавало уверенности то, что он все глубже проникал в суть вопроса, все больше убеждался в своей правоте и видел, что публика все лучше принимает его идеи. Поэтому Дарвин наконец четко сформулировал свои взгляды. Опираясь на доказательства, связанные с анатомией и поведением, Дарвин заявил, что люди не просто произошли от обезьяноподобных существ, но что случилось это в Африке:

Таким образом, мы узнаем, что человек произошел от млекопитающего, покрытого волосами и снабженного хвостом, которое, по всей вероятности, жило на деревьях и было обитателем Старого Света.

Только представьте, как эти слова подействовали на викторианцев! Вообразить, что наши предки жили на деревьях! И были наделены хвостами и острыми ушами! В последней главе своей книги Дарвин наконец напрямую опровергал возражения религиозного порядка:

Я знаю, что заключения, к которым приводит это сочинение, будут названы некоторыми крайне нерелигиозными; но тот, кто так заклеит их, обязан доказать, что безбожнее объяснять начало человека как отдельного вида происхождением от какой-нибудь низшей формы путем изменений и естественного отбора, нежели объяснять рождение отдельного неделимого посредством законов обыкновенного воспроизведения.

Тем не менее убедить ему удалось далеко не всех коллег. Альфред Рассел Уоллес (соперник Дарвина) и Чарльз Лайелл (наставник Дарвина) оба приняли идею эволюции, но отказывались поверить, что высокие умственные способности человека объясняются естественным отбором. Чтобы убедить скептиков, что люди все-таки появились путем эволюции, потребовались ископаемые находки.

Ископаемые предки

В 1871 г. палеонтологическая летопись человека располагала лишь несколькими костями поздних неандертальцев, слишком человекоподобных, чтобы их можно было счесть недостающим звеном между нами и обезьянами. Вместо этого их сочли отклонившейся от нормы популяцией *Homo sapiens*. В 1891 г. голландский врач Эжен Дюбуа обнаружил на Яве череп, несколько зубов и бедренную кость, которые отвечали всем требованиям: череп был несколько больше, чем у современного человека, а размер мозга меньше. Но, расстроенный неприятием, которое его идеи встретили у представителей религии и науки, Дюбуа захоронил кости *Pithecanthropus erectus* (которого теперь именуют *Homo erectus*) под своим домом, на тридцать лет спрятав их от научного изучения.

Открытие ребенка из Таунга, совершенное Дартом в 1924 г., дало толчок к поискам предков человека в Африке и в конечном итоге привело к знаменитым раскопкам Лики в Олдувай Джордж, которые начались в 1930-е г., открытию Люси, сделанному Дональдом Джохансоном в 1974 г., и множеству других находок. Теперь в нашем распоряжении неплохая палеонтологическая летопись нашей эволюции, хотя еще далеко не полная. Как вы убедитесь, в ней много тайн, а еще больше сюрпризов.

Но даже без ископаемых мы бы все равно кое-что знали о том, какое место занимаем на эволюционном древе. Как предположил Линней, наша анатомия помещает нас в класс приматов наряду с обезьянами и лемурами, с которыми нас объединяют такие внешние черты, как глаза, расположенные фронтально, ногти, цветное зрение и противопоставленный большой палец. Другие черты позволяют отнести нас к группе поменьше, надсемейству человекообразных обезьян или гоминоиды (*Hominoidea*) наряду с малыми человекообразными обезьянами (гиббоновыми), которые относятся к семейству *Hylobatidae*, и большими человекообразными обезьянами (шимпанзе, гориллы, орангутаны), которые вместе с нами относятся к семейству гоминид (*Hominidae*). С большими человекообразными обезьянами нас роднят такие черты, как уплощенные ногти, тридцать два зуба, увеличенные яичники и долгий период заботы о потомстве. Эти черты, объединяющие нас, показывают, что наш общий с этими обезьянами предок жил позже, чем наш общий предок с любым другим млекопитающим.

Молекулярные данные, полученные при секвенировании ДНК и белков, подтверждают эти взаимосвязи, а кроме того, позволяют узнать примерное время, когда мы ответвились от своих сородичей. Самые близкие наши сородичи – это шимпанзе, а также бонобо, и от общего предка мы отделились примерно 7 млн лет назад. Чуть дальше по степени родства от нас отстоит горилла, а еще дальше орангутан (12 млн лет со времен общего предка).

Тем не менее для многих людей палеонтологические доказательства психологически более весомы и убедительны, чем молекулярные данные. Одно дело узнать, что 98,5 % нуклеотидной последовательности ДНК у нас одинаковые с шимпанзе, и совсем другое – увидеть скелет австралопитека с его маленьким, обезьяноподобным черепом, расположенным на скелете, практически идентичном современному человеческому. Но, прежде чем мы обратимся к ископаемым, перечислим предсказания того, каких находок следует ожидать, если люди произошли от обезьян.

Как должно было выглядеть недостающее звено, соединяющее нас с обезьянами? Вспомним, что недостающее звено – это *единственный предковый вид*, от которого произошли современные люди, с одной стороны, и шимпанзе – с другой. Не стоит рассчитывать, что этот принципиально важный единственный вид удастся обнаружить: для его идентификации потребовался бы полный ряд ископаемых предков-потомков как по линии шимпанзе, так и по линии человека. По этим рядам можно было бы проследить всю родословную, вплоть до пересечения с предковым видом. Таких полных рядов ископаемых в палеонтологии не собрано, если не считать нескольких морских организмов. К тому же наши древние человекообразные предки были крупными и относительно немногочисленными по сравнению с травоядными, например антилопами; кроме того, они населяли небольшую область Африки и жили в сухом климате, не способствующем образованию окаменелостей. Поэтому ископаемые древние человекообразные, как и ископаемые обезьяны, встречаются редко. Проблема та же, что и с изучением эволюции птиц, о которой мы уже говорили: у них ископаемых переходных форм также сохранилось мало. Разумеется, у нас есть возможность проследить эволюцию птиц от пернатых рептилий, однако нельзя наверняка утверждать, какой именно ископаемый вид был прямым предком современных птиц.

Учитывая все это, не стоит рассчитывать, что удастся обнаружить единственный конкретный вид, который представляет собой недостающее звено между человеком и другими обезьянами. Можно лишь надеяться, что удастся найти его ближайших эволюционных сородичей. Вспомним также, что этот общий предок был не шимпанзе и, возможно, внешне не напоминал ни современного шимпанзе, ни современного человека. Тем не менее вполне вероятно, что недостающее звено по внешности было ближе к современным шимпанзе, чем к современным людям. В эволюции современных обезьян мы выпадаем из ряда, поскольку все они похожи между собой гораздо больше, чем мы на них. Гориллы – наши дальние родственники, но тем не менее с шимпанзе их роднят такие общие черты, как сравнительно небольшой мозг, выраженный волосяной покров, хождение на костяшках пальцев и наличие крупных, заостренных клыков. Кроме того, горилл и шимпанзе объединяет и наличие так называемой прямоугольной зубной дуги: если смотреть сверху, то нижний ряд зубов у них выглядит как три стороны прямоугольника (см. рис. 27). Человек представляет собой биологический вид, который в своем развитии отклонился от плана развития обезьян: у нас уникальные гибкие пальцы, слабо выраженный волосяной покров, зубы мельче и тупее, а кроме того, мы прямоходящие. Зубная дуга у нас имеет не прямоугольную, а параболическую форму, в чем вы сами можете убедиться, если посмотрите на свои нижние зубы в зеркало. Но паразитичнее всего то, что наш мозг гораздо больше, чем у любого другого вида обезьян: у взрослой особи шимпанзе объем мозга в среднем составляет около 450 куб. см, а у современного человека около 1450 куб. см. Сравнивая сходные черты, объединяющие шимпанзе, горилл и орангутанов с теми чертами, которые отличают нас от них, мы приходим к выводу, что относительно нашего общего предка мы изменились больше, чем обезьяны.

Следовательно, можно рассчитывать, что должны отыскаться ископаемые останки общего предка, чей возраст 5–7 млн лет, и эти ископаемые должны обладать признаками, объединяющими шимпанзе, орангутанов и горилл (они все наделены этими чертами, потому что ими был наделен общий предок), но также и человеческими чертами. Чем ближе ископаемые виды к современности, тем сравнительно больше у них должен быть мозг, клыки будут уменьшаться, зубная дуга будет становиться менее прямоугольной и более закругленной, а положение тела все более прямым. Именно это мы и наблюдаем. Хотя летопись эволюции человека еще далеко не полна, однако она все равно служит одним из самых веских подтверждений эволюции, и подтверждение это особенно радует, потому что предсказание было сделано Дарвином.

Но сначала несколько необходимых пояснений. Мы не располагаем полной непрерывной палеонтологической летописью происхождения человека (и не можем рассчитывать, что таковая сложится). Вместо нее мы видим запутанный куст из множества разных видов. Большая их часть вымерла, не оставив потомков, и лишь одна генетическая линия прошла непрерывной нитью сквозь века, чтобы с течением времени стать современным человеком. Мы до сих пор не вполне точно знаем, какие именно ископаемые относятся к этой линии, а какие

представляют собой эволюционный тупик. Самое удивительное, что известно об истории эволюции человека, – то, что у нас некогда было много близких родственников, но все они вымерли, не оставив потомков. Возможно даже, что в Африке одновременно обитало целых четыре человекоподобных вида и, быть может, даже в одном месте. Только вообразите себе их возможные встречи! Интересно, они попытались поубивать друг друга или спариться?

Названия ископаемых человеческих предков нельзя воспринимать слишком серьезно. Как и теология, палеоантропология представляет собой область, в которой исследователей куда больше, чем объектов исследования. Среди палеоантропологов случаются бурные и порой весьма язвительные споры о том, представляет ли собой данная ископаемая находка нечто новое или же вариант уже открытого вида. Чаще всего эти дебаты о научном наименовании особой роли не играют. То, к какому виду отнесут ископаемого человека, зависит от таких маленьких деталей, как, например, различие в полмиллиметра в диаметре зуба или небольшая разница в очертаниях бедренной кости. Проблема в том, что образцов ископаемых попросту слишком мало, а разбросаны они по слишком большой географической области, и это не позволяет принимать подобные решения с уверенностью. Постоянно появляются новые находки или происходит пересмотр старых решений. Что нужно помнить, так это общую тенденцию изменений ископаемых с течением времени, потому что эта тенденция отчетливо показывает, как обезьяноподобные черты сменяются человеческими.

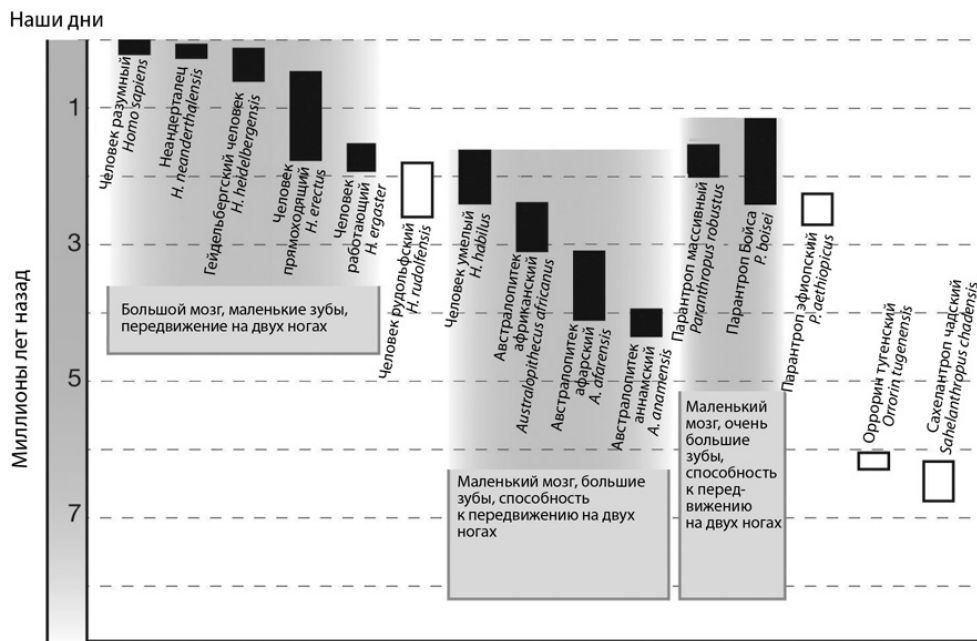


РИС. 24. Пятнадцать видов гомининов, периоды, к которым относятся ископаемые находки этих видов, особенности их мозга, зубов и передвижения. Ископаемые находки, обозначенные светлыми квадратами, слишком фрагментарны, чтобы можно было сделать какие-то выводы о способе их передвижения и размере мозга

Теперь перейдем к разговору о костях. Антропологи применяют термин «гоминины» ко всем видам на «человеческой» ветви нашего генеалогического древа после того, как она отделилась от ветви, давшей современных шимпанзе. Двадцать типов гомининов были выделены в отдельные виды; из них пятнадцать показаны в приблизительном порядке появления на рис. 24. Черепа нескольких представителей гомининов показаны на рис. 25 наряду с черепами современного шимпанзе и современного человека для сравнения.

Конечно, главный вопрос заключается в том, как определить закономерности эволюции человека. К какому периоду относятся самые ранние ископаемые, которые могли бы быть нашими предками, уже отделившимися от других обезьян? Какие из наших сородичей-гомининов вымерли, а какие были нашими прямыми предками? Как черты предкового вида обезьян стали чертами современного человека? Что развилось сначала – наш большой мозг или наше прямохождение? Нам известно, что эволюция человека *началась* в Африке, но какая часть нашей эволюции произошла в других местах?

Если не считать нескольких фрагментов костей, классифицировать которые затруднительно, до недавнего времени палеоантропологическая летопись не уходила дальше чем на 4 млн лет назад. Но в 2002 г. Мишель Брюнэ и его коллеги объявили о поразительном открытии: в пустыне Чад в Центральной Африке, в месте под названием Сахель, они обнаружили ископаемые останки вида, который, возможно, является более ранним представителем гомининов (*Sahelanthropus tchadensis*), сахелантропа чадского. Самой удивительной в этой находке была ее датировка: находка относилась к периоду 6 млн лет назад, именно тому, когда, как свидетельствуют молекулярные данные, наша ветвь отделилась от ветви шимпанзе. Сахелантроп может быть древним предком как человека, так и вымершей боковой ветви. Однако присущее ему сочетание черт позволяет с уверенностью отнести сахелантропа к «человеческому» ответвлению на развилке «человек/шимпанзе». Ископаемая находка – это почти полностью сохранившийся череп (правда, несколько деформированный в процессе фоссилизации), который представляет собой настоящую мозаику, любопытную смесь человеческих и обезьяньих черт. У сахелантропа наподобие обезьян удлинненный череп с маленьким, как у шимпанзе, мозгом, но, подобно человеку, у него плоское лицо, маленькие зубы и надбровные дуги (рис. 25).

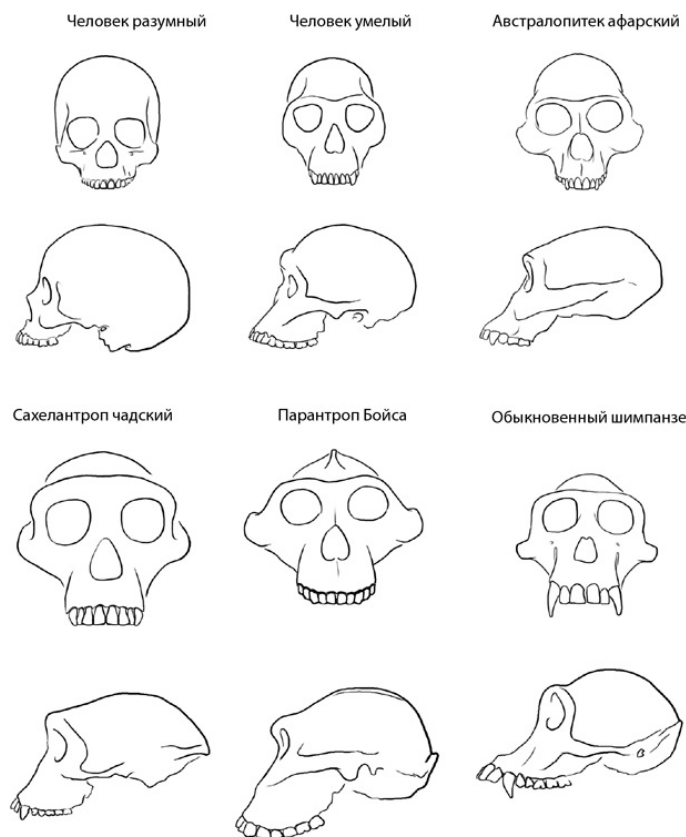


РИС. 25. Черепа современного человека разумного (*Homo sapiens*), ранних гоминин и шимпанзе обыкновенного (*Pan troglodytes*)

Поскольку остальной части скелета в нашем распоряжении нет, невозможно определить, был ли сахелантроп наделен принципиально важной способностью к прямохождению, однако есть одна деталь, заманчиво намекающая, что такая способность у сахелантропа могла быть. У обезьян, передвигающихся с опорой на костяшки пальцев, например у горилл и шимпанзе, обычная осанка животного горизонтальная, так что спинной мозг присоединен к черепу сзади. Однако у прямоходящих людей череп расположен непосредственно сверху спинного мозга. Это различие хорошо заметно по положению большого затылочного отверстия, через которое проходит спинной мозг (на латыни оно называется *foramen magnum*, т. е. «большое отверстие»): у людей это отверстие сдвинуто кпереди. У сахелантропа оно гораздо больше сдвинуто вперед по сравнению с обезьянами, передвигающимися с опорой на костяшки. Это потрясающая подробность, потому что если сахелантроп действительно относился к ветви гоминин, то данная деталь подсказывает, что прямохождение было одной из первых эволюционных инноваций, которое отличало нас от других обезьян.

За сахелантропом в палеоантропологической летописи следуют несколько фрагментов, относящихся к другому виду, чей возраст 6 млн лет. Это останки оррорина тугенского (*Orrorin tugenensis*), среди которых одиночная кость ноги, которую исследователи сочли доказательством передвижения на двух ногах – бипедальной локомоции. Однако в летописи существует пробел в два миллиона лет, и на этом отрезке существенных находок ископаемых останков человека нет. Именно на этом отрезке когда-нибудь будут обнаружены принципиально важные сведения о том, когда мы, люди, стали прямоходящими. Однако 4 млн лет назад ископаемые снова появляются, и по ним видно, что от ветви гоминин начинают отходить новые побеги. В сущности, в этот период, возможно, одновременно жило несколько видов. Среди них грацильные (т. е. стройные и грациозные) представители рода австралопитеков, у которых мы снова наблюдаем смесь обезьяноподобных и человеческих черт. К обезьяньим чертам у них относится мозг, по размеру примерно соответствующий мозгу шимпанзе, и череп у представителей этого вида больше похож на обезьяний, чем на человеческий. Однако зубы у него относительно небольшие, а зубная дуга представляет собой нечто среднее между прямоугольной обезьяньей и параболической человеческой. Кроме того, этот вид определенно передвигался на двух ногах.

В ранних ископаемых находках из Кении, которые объединили под общим названием *австралопитек анамский*, также просматриваются волнующие признаки бипедальной локомоции: это заметно по единственной окаменелой кости ноги. Однако решающая находка была сделана американским палеоантропологом Дональдом Джохансоном во время поисков ископаемых останков в Афарской низменности, в одном из регионов Эфиопии. Утром 30 ноября 1974 г. Джохансон проснулся с предчувствием, что сегодня ему улыбнется удача, что и записал в своем полевом журнале. Однако он даже не представлял себе, до какой степени ему повезет в этот день. После целого дня напрасных раскопок в высохшем овраге Джохансон и его аспирант Том Грей уже готовы были сдать и вернуться в лагерь. Внезапно Джохансон заметил на земле кость гоминида, а затем еще одну и еще. Примечательно, что исследователи наткнулись на кости одной-единственной особи, которую позже формально записали как ALJ 288-1, однако она куда больше известна под именем Люси – так ее назвали по песне «Битлз» «Люси в бриллиантовом небе»: эту песню в лагере в тот день без конца крутили в честь замечательной находки.

Когда сотни фрагментов скелета Люси были собраны, оказалось, что перед исследователями особь женского пола ранее неизвестного науке вида, австралопитека афарского (*Australopithecus afarensis*), возраст которой насчитывал 3,2 млн лет. Люси было от двадцати до тридцати лет, ее рост составлял всего 105 см, вес – 27 кг, и, судя по всему,

она болела артритом. Но, что всего важнее, Люси была прямоходящей.

Из чего это следует? Из того, как бедренная кость соединяется с тазовой на одном конце и с коленом на другом (рис. 26). У двуногих прямоходящих приматов, таких как мы, бедренные кости расположены под углом друг к другу, так что центр тяжести во время ходьбы не смещается и делает возможным и удобным прямохождение на двух ногах. У обезьян, которые передвигаются с опорой на костяшки, бедренные кости слегка расходятся наружу, придавая обезьянам слегка кривоногий вид. Если обезьяна пытается ходить прямо, то у нее получается лишь неуклюжее ковылять, словно маленький бродяжка, персонаж Чарли Чаплина. Если внимательно посмотреть на расположение бедренной кости у ископаемого примата и на то, как она соединена с тазом, вы легко определите, передвигалась ли эта особь на двух ногах или на четырех. Если бедренные кости направлены под углом внутрь, их владелец относился к двуногим прямоходящим. Бедренные кости Люси расположены почти под таким же углом, как у современных людей. Она была прямоходящей. Ее таз также гораздо больше напоминает таз современного человека, чем таз шимпанзе.

Группа палеоантропологов под руководством Мэри Лики подтвердила, что австралопитек афарский был прямоходящим: ученые сделали еще одну поразительную находку в Танзании – знаменитые следы Лаэтоли. В 1976 г. Эндрю Хилл и другие участники группы во время перерыва в полевой работе предавались любимой забаве: кидались друг в друга лепешками засохшего слоновьего навоза. Выскивая подходящий снаряд в высохшем русле реки, Хилл наткнулся на цепочку окаменелых следов. Они были тщательно извлечены, и оказалось, что это дорожка длиной 27 м, оставленная двумя гомининами, которые совершенно явно были прямоходящими (отпечатков костяшек обнаружено не было) и шли во время пылевой бури, вызванной извержением вулкана. После бури прошел дождь, превративший пыль в твердый вулканический туф, который затем покрылся еще одним слоем сухой пыли, сохранившей отпечатки.

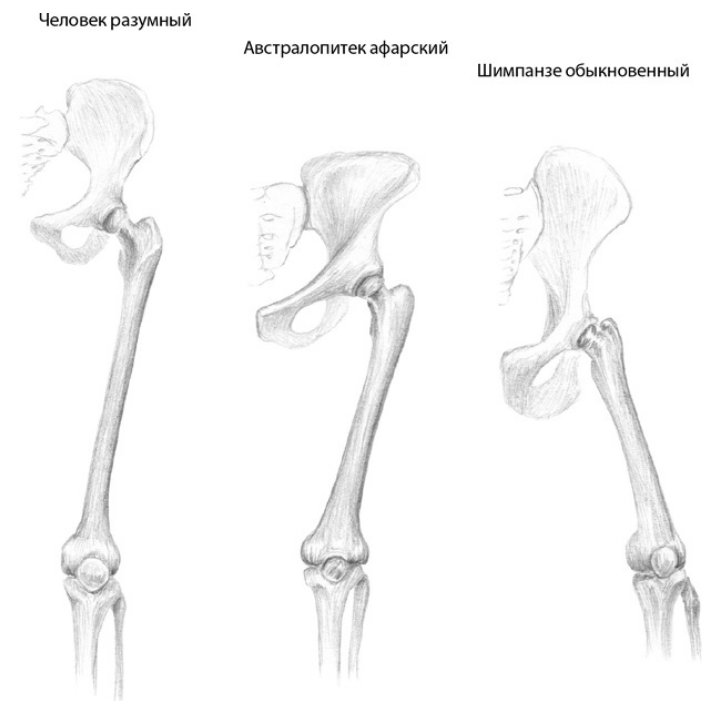


РИС. 26. Соединение бедренной кости с тазом у современного человека разумного (*Homo sapiens*), шимпанзе (*Pan troglodytes*) и австралопитека афарского (*Australopithecus afarensis*). Таз австралопитека афарского представляет собой переходную форму между двумя другими видами, но направленность бедренной кости внутрь — признак прямохождения — напоминает строение человека и контрастирует с расходящимися наружу бедренными костями шимпанзе, передвигающегося на четвереньках

Следы Лаэтоли на вид практически идентичны тем, которые оставляет современный человек, когда ходит по мягкой земле. Кроме того, отпечатки явно принадлежали сородичам Люси: следы были подходящего размера, и возраст самой дорожки составлял 3,6 млн лет, а австралопитек афарский – единственный известный вид гоминин этого возраста. Итак, перед нами редчайшая находка – ископаемые отпечатки следов, по которым можно реконструировать поведение человека. Одна из цепочек следов больше другой, поэтому, вероятно, они оставлены мужчиной и женщиной (прочие ископаемые находки австралопитека афарского по своему размеру проявляли признаки полового диморфизма). Женские следы с одной стороны чуть глубже, чем с другой, так что, возможно, она несла на бедре маленького ребенка. Эта двойная цепочка следов позволяет представить, как маленькая волосатая чета прокладывает себе путь по равнине во время извержения вулкана. Были ли они напуганы, держались ли за руки?

Подобно другим представителям рода австралопитеков, голова Люси очень напоминала обезьяню, а размер черепной коробки был такой же, как у шимпанзе. Однако в ее черепе просматриваются также и человеческие черты: например, наполовину параболическая зубная дуга и относительно небольшие клыки (рис. 25 и 27). Остальные части тела, помимо головы и таза, представляют собой смесь обезьяньих и человеческих черт: руки у Люси были длиннее, чем у современного человека, но короче, чем у шимпанзе, а фаланги несколько изогнуты, как у обезьян. Это позволило исследователям предположить, что австралопитек афарский, возможно, хотя бы часть времени проводил на деревьях.

Вряд ли можно мечтать о более наглядной находке, чем Люси – красноречивый образец переходной формы между человеком и древними обезьянами. Ее голова больше похожа на обезьяню; в середине туловища сочетаются черты и человека, и обезьяны, а ниже она практически человек. Люси также сообщает принципиально важные сведения о человеческой эволюции: прямохождение развилось у нас гораздо раньше, чем большой мозг. Это открытие шло вразрез с общепринятым убеждением, что большой мозг появился первым, и заставило ученых пересмотреть то, как естественный отбор сформировал современного человека.

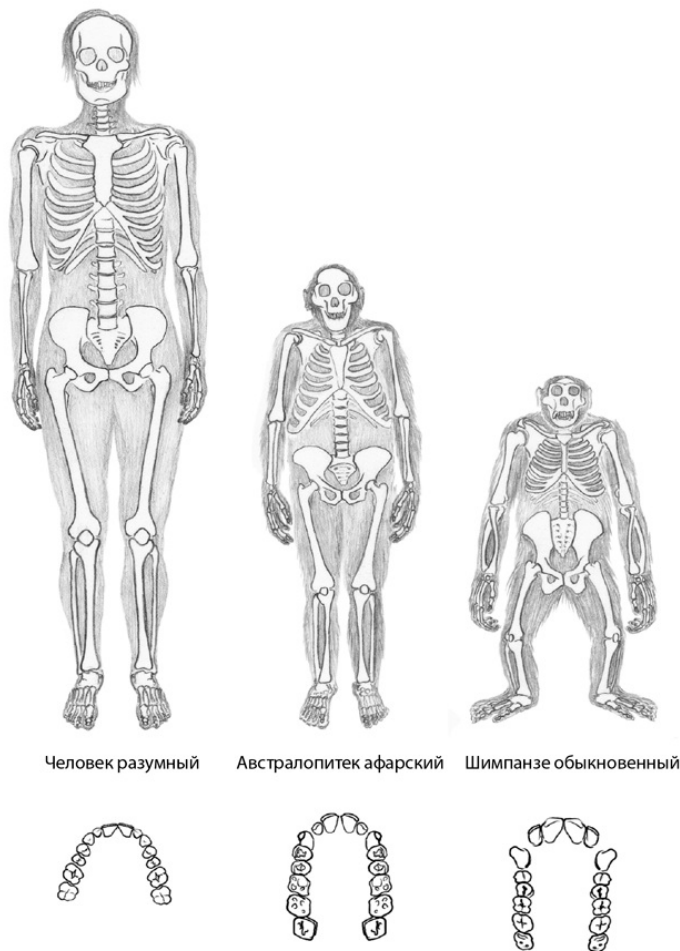


РИС. 27. Скелеты и зубные дуги современного человека разумного (*Homo sapiens*), австралопитека афарского (*Australopithecus afarensis*) (Люси) и шимпанзе (*Pan troglodytes*). В то время как шимпанзе не являются предками эволюционной ветви человека, они, возможно, напоминают общего предка больше, чем люди. Во многих отношениях австралопитек афарский представляет собой промежуточное звено между морфологическими особенностями обезьяны и человека

После австралопитека афарского палеоантропологическая летопись являет собой озадачивающую смесь грацильных видов рода австралопитеков, которая тянется 2 млн лет. Если рассматривать их в хронологическом порядке, они демонстрируют движение вперед, к более современной человеческой форме: зубная дуга становится все более параболической, мозг увеличивается, а скелет постепенно утрачивает обезьяноподобные черты.

Затем начинается некоторая путаница, потому что 2 млн лет назад проходит рубеж между ископаемыми, которые были отнесены к роду австралопитеков (*Australopithecus*), и теми, которые относятся к более современному роду *Homo*. Однако не следует думать, что эта перемена названия означает, будто произошло некое мгновенное событие: внезапно возникли «настоящие люди». То, как именно назвали ископаемую находку, зависело от размера ее мозга: ископаемые, мозг которых при жизни был больше, относили к роду *Homo*, а с меньшим – к *Australopithecus* обычно с несколько произвольной границей примерно 600 куб. см. У некоторых ископаемых представителей рода австралопитеков, таких как австралопитек афарский, величина мозга оказывается настолько промежуточной, что ученые яростно спорят о том, отнести ли данный вид к человеку или австралопитеку. Проблема определения осложняется тем фактом, что даже в пределах одного вида наблюдается заметный разброс в размерах мозга. (Например, у современного человека размер мозга варьирует очень сильно – от 1000 до 2000 куб. см, и, кстати, никак не соотносится с уровнем интеллекта.) Но семантические трудности не должны мешать осознанию того, что у этих поздних австралопитеков, уже прямоходящих, начали проявляться изменения зубов, черепа и мозга, которые предвещали появление современных людей. Весьма вероятно, что родословная, которая породила современного человека, включала в себя по меньшей мере один из этих видов.

Еще одним великим шагом в эволюции человека стала способность изготавливать и использовать орудия. Хотя шимпанзе пользуются простыми орудиями, в том числе палками, которыми они выкапывают термитов из термитников, однако применение более сложных орудий, возможно, требовало более гибких пальцев и

прямохождения, оставлявшего руки свободными. Первым человеком, однозначно пользовавшимся орудиями, был *Homo habilis* (рис. 25), чьи ископаемые останки впервые появляются около 2,5 млн лет назад. *H. habilis* означает человек умелый, и его ископаемые останки были обнаружены вместе с разнообразными кремневыми орудиями, использовавшимися для дробления, выскабливания и свежевания. Невозможно с уверенностью сказать, был ли этот вид прямым предком человека разумного, *H. sapiens*, однако в облике человека умелого просматриваются изменения, сближающие его с сапиенсами, в том числе редуцированные задние зубы и мозг, размеры которого больше, чем у австралопитеков. Слепок одного мозга показывает отчетливые выпуклости, соответствующие центрам Брока и Вернике – участкам левого полушария мозга, отвечающим за воспроизведение и понимание речи. Эти выпуклости позволяют более уверенно, хотя и не окончательно, утверждать, что человек умелый был первым видом, наделенным речью.

Зато мы знаем, что *H. habilis* сосуществовал – во времени, если не в пространстве, – с целой совокупностью других гоминин. Наиболее известны из них восточноафриканские массивные (в противоположность грацильным) гоминины. Они насчитывали по меньшей мере три вида: парантроп (или австралопитек) Бойса – *Paranthropus (Australopithecus) boisei* (рис. 25), парантроп массивный – *P. robustus* и парантроп эфиопский – *P. aethiopicus*. Всех их отличает массивный череп, мощные жевательные зубы (некоторые коренные зубы достигали в ширину 2,5 см), крепкие кости и сравнительно небольшой мозг. Кроме того, они были наделены сагиттальным гребнем – костяным выступом на макушке черепа, к которому крепились большие жевательные мышцы. Такие виды с мощной жевательной системой, по всей вероятности, питались грубой пищей, в частности корешками, орехами и клубнями (парантропа Бойса, обнаруженного Луисом Лики, прозвали Человек-Щелкунчик). Все три вида вымерли 1,1 млн лет назад, не оставив потомков.

Однако *H. habilis* вполне мог жить одновременно еще и с тремя видами того же рода *Homo*: человек работающий – *H. ergaster*, человек рудольфский – *H. rudolfensis*, человек прямоходящий – *H. erectus*, хотя морфологические признаки каждого из этих трех видов достаточно сильно варьируют и вопрос об их родстве все еще служит предметом спора. Человека прямоходящего отличает то, что он был первым гоминином, покинувшим Африку: его останки были обнаружены в Китае (пекинский человек), Индонезии (яванский человек), Европе и на Ближнем Востоке. Судя по всему, по мере того как популяция человека прямоходящего в Африке увеличилась, он просто стал искать новые места для жизни.

К тому времени, как произошло расселение, мозг человека прямоходящего по размеру почти сравнялся с мозгом современного человека. Скелеты людей этого вида также почти идентичны нашим, хотя у них все еще плоские лица, лишенные подбородка (подбородок – отличительный признак современного *Homo sapiens*). Орудия человека прямоходящего были достаточно совершенными, особенно у поздних представителей, которые изготавливали сложные каменные топоры и скребки с тщательно проработанными сколами. Кроме того, похоже, что именно этот вид совершил одно из самых значимых достижений в истории человеческой культуры: овладел огнем. В Южной Африке, в пещере Сварткрэнс, ученые обнаружили ископаемые останки человека прямоходящего вместе со сгоревшими костями, которые были некогда нагреты до температуры слишком высокой, чтобы ее можно было объяснить пожаром в сухом кустарнике. Это могли быть останки животных, которых готовили на костре или в очаге.

H. erectus как биологический вид очень преуспел – не только по размеру популяции, но и по длительности существования. Он продержался около полумиллиона лет и исчез из палеоантропологической летописи примерно 300 000 лет назад. Однако он, возможно, оставил двух знаменитых потомков: человека гейдельбергского – *H. heidelbergensis* и человека неандертальского – *H. neanderthalensis*, которые известны соответственно как древний *H. sapiens* и знаменитый неандертальский человек. Их обоих иногда классифицируют как подвиды (различные, но скрещивающиеся между собой популяции) человека разумного, хотя мы понятия не имеем, внес ли какой-то из них свою лепту в генофонд современных людей.

H. heidelbergensis обитал на территории современной Германии, Греции и Франции, а также в Африке. Впервые он появляется полмиллиона лет назад и демонстрирует сочетание черт современного человека и человека прямоходящего – *H. erectus*. Неандертальцы появились несколько позже, 230 000 лет назад, и жили по всей Европе и на Ближнем Востоке. Обладатели большого мозга, даже превосходившего размерами мозг современного человека, они были превосходными изготовителями орудий и отличными охотниками. На некоторых скелетах были обнаружены следы красителя охры, и к останкам прилагались погребальные предметы, в частности кости животных и орудия. Это говорит о том, что неандертальцы хоронили своих сородичей в соответствии с ритуалом, и, возможно, перед нами первые проблески человеческой религии.

Однако примерно 28 000 лет назад ископаемые останки неандертальцев исчезают. В мои студенческие годы нас учили, что неандертальцы просто эволюционировали в современного человека. Сейчас эта идея кажется неверной. Что случилось с неандертальцами на самом деле – вероятно, одна из величайших загадок человеческой эволюции. Их исчезновение, возможно, связано с распространением другого вида родом из Африки – человека разумного (*Homo sapiens*). Как мы уже знаем, 1,5 млн лет назад человек прямоходящий (*H. erectus*) успел расселиться от Африки до Индонезии. Этот вид состоял из разных «рас», т. е. популяций, которые различались какими-то отдельными характеристиками. (Например, у китайского *H. erectus* были лопатообразные резцы, каких не наблюдается ни у одной популяции этого же вида.) Затем, примерно 300 000 лет назад, абсолютно все популяции *H. erectus* внезапно исчезли, и вместо них появился «анатомически современный» *H. sapiens*, скелеты которого были почти такими же, как у современных людей. Неандертальцы продержались несколько дольше, но затем, после того как нашли последнее пристанище в пещерах, выходивших на Гибралтарский пролив, они также уступили современному *H. sapiens*. Иными словами, человек разумный явно вытеснил всех прочих гоминин на Земле.

Что произошло? На этот счет есть две теории. Первая называется мультирегиональной и выдвигает гипотезу об эволюционном замещении: эволюционное развитие человека прямоходящего (и, возможно, неандертальского) просто привело к появлению человека разумного, и это произошло независимо в нескольких регионах, возможно, потому что естественный отбор работал одинаково по всей Азии, Европе и Африке.

Вторая теория называется «из Африки» и предполагает, что современный *H. sapiens* появился в Африке и распространился, физически заменив и вытеснив человека прямоходящего и неандертальского: возможно, победил в борьбе за пропитание или уничтожил конкурентов.

Генетические и палеоантропологические доказательства свидетельствуют в пользу второй теории, однако споры все еще продолжаются. Почему? Возможно, потому что они сводятся к значимости расы. Чем дольше были разделены популяции человека, тем больше у них должно было накопиться генетических различий. Мультирегиональная гипотеза с ее идеей о разделении популяций более миллиона лет назад дала бы в пятнадцать раз больше генетических различий между расами, чем если наши предки покинули Африку всего 60 000 лет назад. Но о расах мы еще поговорим подробнее чуть позже.

Когда произошло повсеместное вымирание *H. erectus* одна популяция ранних гоминин, возможно, уцелела, и случилось это благодаря весьма причудливой веточке на генеалогическом древе человека. В 2003 г. на индонезийском острове Флорес в пещере Лианг-Буа были обнаружены ископаемые останки представителей вида *Homo floresiensis*, человека флоресского, которых открыватели остроумно окрестили хоббитами, поскольку рост взрослых особей не превышал 1 м, а весили они всего 22,6 кг, т. е. размером были примерно с пятилетнего ребенка. Кроме того, мозг у флоресских людей также был пропорционально мал, примерно как у австралопитеков, однако зубы и скелет, бесспорно, принадлежали роду *Homo*. Человек флоресский пользовался каменными орудиями и, возможно, охотился на комодских варанов и карликовых слонов, которые обитали на острове. Поразительно, что возраст останков человека флоресского всего лишь 18 000 лет, т. е. они появились через много лет после того, как исчезли неандертальцы, и через двадцать пять веков после того, как современный *H. sapiens* добрался до Австралии. Наиболее правдоподобна версия о том, что человек флоресский представляет собой изолированную популяцию *H. erectus*, которая колонизировала остров Флорес и ее каким-то образом миновало распространение современного *Homo sapiens*. Хотя человек флоресский, возможно, был эволюционным тупиком, но нельзя не подпасть под обаяние идеи, что совсем недавно популяция крошечных людей обитала на острове и, вооруженная миниатюрными копьями, охотилась на карликовых слонов; так что эти хоббиты привлекли внимание широкой публики.

Однако природа ископаемых останков *H. floresiensis* служит предметом дискуссий. Некоторые исследователи утверждают, что один из хорошо сохранившихся черепов крошечного размера мог просто принадлежать умершему представителю вида *Homo sapiens*, возможно, страдавшему гипотиреозом – врожденным кретинизмом, болезнью, при которой мозг и череп патологически изменены и аномально малы. Хотя свежий анализ ископаемых костей кисти руки подтвердил, что *H. floresiensis* на самом деле представляет собой отдельный вид гоминин, все равно некоторые вопросы остаются.

Что мы имеем, если посмотреть на все ископаемые останки в совокупности? Несомненное, неоспоримое доказательство того, что человек произошел от обезьяноподобных предков. Да, мы пока не можем проследить непрерывную родословную от раннего обезьяноподобного гоминина до современного *Homo sapiens*. Ископаемые останки разбросаны во времени и пространстве, череду точек еще предстоит соединить в генеалогическую линию. И, возможно, мы никогда не отыщем ископаемых, которые дополнят эту недостроенную линию. Но, если расположить эти точки в хронологическом порядке, как на рис. 24, вы увидите именно то, что прогнозировал Дарвин: ископаемые останки начинаются с более «обезьяноподобных» видов и затем с течением времени становятся все более и более похожими на современного человека. Неоспорим факт того, что отделение человека от предка-шимпанзе произошло в Восточной или Центральной Африке около 7 млн лет назад и что бипедальное прямохождение появилось задолго до того, как развился большой мозг. Нам известно, что в течение большей части эволюции гоминин одновременно сосуществовало несколько видов, причем иногда в одном регионе. Учитывая малый размер популяции людей и маловероятность их фоссилизации (вспомним: чтобы образовалась окаменелость, тело должно попасть в воду и затем быстро покрыться осадком), удивительно, что в нашем распоряжении такая богатая палеоантропологическая летопись. Если сравнить ископаемые находки, как показано на рис. 25, невозможно отрицать, что человек появился путем эволюции.

И тем не менее некоторые умудряются отрицать этот факт. В вопросе о палеоантропологической летописи креационисты принимают с мучительными усилиями, хотя и очень потешно, увливать, лишь бы не признавать очевидного. В сущности, они предпочитают просто обходить вопрос стороной. Однако, когда их заставляют высказаться на эту тему, креационисты попросту делают ископаемые останки гоминин на две, как им представляется, отчетливые группы – людей и обезьян – и утверждают, что эти группы разделены огромной и непреодолимой пропастью. Такая картина отражает опирающуюся на религиозные взгляды идею, что, хотя некоторые виды и могли развиваться из других, к людям это не относится, потому что люди были объектом особого акта творения. Однако вся глупость этого утверждения обнажается, потому что креационисты никак не могут договориться между собой, какие именно ископаемые останки человеческие, а какие – обезьяны. Например, останки *H. habilis* и *H. erectus* некоторые креационисты относят к человеческим, а другие – к обезьянам. Некий автор даже умудрился описать образец останков *H. erectus* в одной из своих книг как ископаемые человеческие останки, а в другой их назвал обезьянами! Ничто не подчеркивает промежуточность этих ископаемых лучше, чем неспособность креационистов последовательно их классифицировать.

Но что же в таком случае «подтолкнуло» эволюцию человека? Документировать эволюционные изменения всегда гораздо проще, чем понять, какие силы за ними стоят. В палеоантропологической летописи прослеживаются возникновение сложных адаптаций, например прямохождения и изменения строения черепа, и обе эти адаптации включают множество взаимосвязанных анатомических изменений, потому что, несомненно, на них влиял естественный отбор. Но как именно? Каковы в точности были репродуктивные преимущества прямохождения, увеличения мозга и уменьшения размера зубов? Возможно, мы никогда не узнаем этого наверняка, так что можем лишь строить более или менее достоверные догадки. Однако нам по силам придать этим предположениям достоверность с помощью информации о том, в какой окружающей среде происходила эволюция человека. На отрезке от 10 млн до 3 млн лет назад самым значительным изменением окружающей среды в Восточной и Центральной Африке была засуха. В решающий период эволюции гоминин климат постепенно стал более засушливым, а за этим последовали беспорядочно чередующиеся периоды засухи и дождей. (Эта информация основана на анализе пыльцы и африканской пыли, которые были занесены в океан ветром и сохранились в виде осадка.) В периоды засухи тропический лес уступал место более открытым ландшафтам, в том числе саванне, степи, редколесью и даже пустыне, поросшей кустарником. Таковы декорации, в которых разыгрался первый акт эволюции человека.

Многие биологи считают, что подобные изменения климата и окружающей среды были как-то связаны с развитием первой значимой чертой гоминин: бипедальной локомоции. Классическое объяснение таково: передвижение на двух ногах позволяло людям быстрее и удобнее перемещаться с одного участка леса в другой, пересекая открытые участки. Однако эта версия маловероятна, поскольку исследования хождения на двух ногах показывают, что затраты энергии не слишком отличаются от другого типа перемещения (на четырех ногах). Тем не менее существует целый ряд других причин, по которым прямохождение давало человеку селективное преимущество. Например, прямохождение освобождало руки для сбора и переноски новых доступных видов пищи, скажем, мяса и клубней (этим, возможно, объясняется уменьшение размера наших зубов и увеличение гибкости пальцев). Кроме того, возможно, прямохождение помогло нам приспособиться к высокой температуре, наше тело приподнялось над землей, тем самым уменьшилась площадь поверхности, подвергаемой действию солнца. Потовых желез у нас гораздо больше, чем у любых других обезьян, а поскольку волосной покров мешает охлаждающему испарению пота, это, возможно, объясняет наш уникальный статус «голых обезьян». Существует даже невероятная теория «водяной обезьяны», согласно которой ранние гоминины проводили большую часть времени, отыскивая пищу в воде, а прямохождение позволяло им держать голову над поверхностью воды. В книге Джонатана Кингдона о бипедальной локомоции «Низкое происхождение» (Lowly Origin) обрисован и ряд других теорий. И, разумеется,

несколько сил вполне могли действовать вместе. К сожалению, пока нам не удастся охарактеризовать их.

То же самое относится и к эволюции увеличившегося мозга. Классическая адаптивная теория гласит, что, когда наши руки освободились благодаря развившемуся прямохождению, гоминины обрели возможность изготавливать орудия труда, а это привело к отбору в пользу большего размера мозга, который позволил нам придумывать и изготавливать более сложные орудия. У этой теории есть сильное место: первое орудие появилось примерно в то время, когда мозг человека начал увеличиваться. Однако данная теория упускает из вида другие факторы, способствовавшие давлению отбора в сторону увеличения размеров и развития мозга, в том числе развитие языка, преодоление психологических сложностей примитивного общества, планирование будущего и т. п.

Однако тайна того, *как в точности* мы эволюционировали, не должна отвлекать нас от неоспоримого факта, что мы все-таки именно эволюционировали. Даже без ископаемых у нас достаточно доказательств эволюции человека благодаря данным сравнительной анатомии, эмбриологии, нашим рудиментарным органам и вдобавок биогеографии. Мы узнали о наших рыбообразных эмбрионах, молчащих генах, о первичном волосаном покрове зародыша, о недостатках человеческой конструкции – и все это доказывает наше происхождение. Так что палеоантропологическая летопись – лишь вишенка на торте.

Наше генетическое наследие

Если мы пока еще не понимаем, почему с помощью отбора мы приобрели такие отличия от других обезьян, по силам ли нам хотя бы выяснить, какие гены нас отличают и сколько этих генов? «Человеческие» гены для эволюционной биологии превратились едва ли не в чашу Святого Грааля, и над их поиском трудится множество лабораторий. Первая попытка обнаружить эти гены была предпринята в 1975 г. Алланом Уилсоном и Мэри-Клер Кинг в Калифорнийском университете. Результаты были поразительны. Рассматривая белки человека и шимпанзе, исследователи обнаружили, что их аминокислотные последовательности в среднем различаются на 1 %. (Более свежие исследования не слишком изменили этот показатель: разница увеличилась всего до 1,5 %.) Кинг и Уилсон пришли к выводу, что между нами и нашими ближайшими сородичами существует значительное генетическое сходство. Они предположили, что, возможно, разительные эволюционные отличия между человеком и шимпанзе вызваны изменением всего лишь считанных генов. Результат этого исследования получил широчайшее освещение как в научной, так и в популярной прессе, поскольку казалось, что он свидетельствует о том, что «человечность» держится на горстке ключевых мутаций.

Однако недавние исследования показывают, что наше генетическое сходство с ближайшими эволюционными сородичами совсем не так велико, как мы думали. Поразмыслим вот над чем. Разница в 1,5 % в аминокислотной последовательности белков означает, что когда мы сопоставляем один и тот же белок (например, гемоглобин) человека и шимпанзе, то в среднем получим разницу в одну из ста аминокислот. Но белки, как правило, состоят из *нескольких сотен* аминокислот. Поэтому разница в 1,5 % в белке длиной 300 аминокислот дает примерно четыре отличия на всю белковую цепочку. (Поясню с помощью аналогии: если вы поменяете на этой странице лишь 1 % букв, то измените гораздо больше, чем 1 % предложений.) Таким образом столь часто упоминаемая разница в 1,5 % между нами и шимпанзе на поверку гораздо больше, чем кажется: гораздо больше, чем 1,5 % наших белков будут отличаться от белков шимпанзе *по меньшей мере одной аминокислотой*. А поскольку белки играют принципиальную роль в построении и поддержании функционирования наших тел, даже единственное отличие может оказать значительный эффект.

Теперь, когда нам наконец удалось секвенировать геномы человека и шимпанзе, мы можем непосредственно убедиться, что более 80 % всех белков, которые у этих двух видов общие, отличаются хотя бы на одну аминокислоту. Поскольку наши геномы содержат около 25 000 генов, отвечающих за построение белков, получается, что измененной оказывается последовательность нуклеотидов более чем 20 000 генов. Это никак нельзя назвать незначительным расхождением. Ясно, что разница между нами и шимпанзе составляет больше, чем несколько генов. А молекулярные биологи-эволюционисты недавно установили, что люди и шимпанзе отличаются не только *последовательностью нуклеотидов в генах*, но и *наличием генов*. Более 6 % генов, имеющих у людей, просто не удалось *ни в каком варианте* обнаружить у шимпанзе. Существует свыше 14 000 новых генов, которые имеются у людей, но отсутствуют у шимпанзе. Кроме того, мы отличаемся от них *количеством копий* многих генов, которые у нас с шимпанзе общие. Например, фермент слюны амилаза расщепляет во рту крахмал на легкоусвояемый сахар. У шимпанзе лишь одна копия этого гена, а у людей индивидуальное число копий варьирует от двух до шестнадцати, т. е. в среднем у человека шесть копий этого гена. Разница, возможно, возникла вследствие естественного отбора, чтобы помочь нам переваривать пищу, поскольку, по всей вероятности, рацион наших предков по линии человека был гораздо богаче крахмалом, чем у обезьян, питающихся фруктами.

Суммируя вышесказанное, мы видим, что генетическое расхождение между нами и шимпанзе принимает несколько форм: это изменения не только в белках, произведенных генами, но и в наличии или отсутствии генов, числе копий генов, а также в том, когда и где гены экспрессируются в ходе развития. Более нельзя

утверждать, что «человечность» строится лишь на одном типе мутации или на изменении нескольких считанных ключевых генов. Однако на самом деле это вовсе не удивительно, если вспомнить о том, как много черт отличает нас от ближайших сородичей. Это не только анатомические отличия, но и физиологические (потоотделение у нас обильнее, чем у всех остальных обезьян, и мы единственный вид обезьян, у которого самки имеют скрытую овуляцию), и поведенческие (люди создают пары, а обезьяны – нет), а также отличия в языке, в размере мозга и его строении (конечно, нейроны мозга у нас и у обезьян соединены между собой очень и очень по-разному). Следовательно, несмотря на общее сходство с близкими сородичами-приматами, для развития человека из обезьяноподобного предка потребовались значительные генетические изменения.

Что можно сказать о конкретных генах, которые делают нас людьми? На сегодняшний день о них известно мало. С помощью полногеномного «сканирования», при котором сравнивают всю последовательность нуклеотидов ДНК человека и обезьяны, у нас получается выявить *группы* генов, которые быстро развились на ветви эволюционного древа, ведущего к человеку. К ним, как выясняется, принадлежат гены, отвечающие за иммунную систему, формирование гамет, смерть клеток и, что самое любопытное, за сенсорное восприятие и формирование нервов. Но совершенно другое дело сосредоточить усилия на одном-единственном гене и показать, что мутации в этом гене и впрямь породили отличия между человеком и шимпанзе. На пост этого гена есть «кандидаты», в том числе один (*FOXP2*), который, возможно, участвовал в возникновении человеческой речи, однако убедительных доказательств этому нет. И, возможно, их никогда не будет. Чтобы неопровержимо доказать, что данный ген отвечает за разницу между человеком и обезьяной, требуется переместить ген из одного вида в другой и посмотреть, какое различие это даст, но вряд ли кто-то захочет поставить подобного рода эксперимент.

Скользкий расовый вопрос

Путешествуя по миру, быстро убеждаешься, что в разных странах люди выглядят по-разному. Например, вряд ли кто-то перепутает японца с банту. Само существование визуально различных человеческих популяций очевидно и бесспорно, но в биологии человека нет вопроса, который бы так напоминал минное поле, как расовый вопрос. Большинство биологов предпочитают держаться от него подальше. Достаточно обратиться к истории науки – и станет понятно почему. С самого начала современной биологии расовая классификация шла рука об руку с расовыми предрассудками. В XVIII в. Карл Линней в своей классификации животных отметил, что европейцы «руководствуются законами», азиаты «руководствуются мнениями», а африканцы «руководствуются прихотью». В своей великолепной книге «Ложное измерение человека» (The Mismeasure of Man) Стивен Гулд подробно рассказывает о порочной связи между биологами и расовым вопросом в XX в.

Некоторые ученые приняли эти отвратительные проявления расизма слишком близко к сердцу и отреагировали остро: в ответ они принялись утверждать, что человеческая раса не имеет биологической реальности и представляет собой всего лишь социополитический «конструкт», который не заслуживает научного исследования. Но для биологов раса – если это понятие не применяется к людям! – всегда была вполне почтенным термином. Расы, также именуемые подвидами или экотипами, представляют собой всего лишь популяции вида, которые разделены географически и отличаются между собой одной и более генетической чертой. Существует множество рас животных и растений, включая те самые популяции хомячков, которые отличаются только цветом шерсти, популяции воробьев, которые отличаются размерами и песней, расы растений, которые отличаются очертаниями листьев. Следуя этому определению, у *Homo sapiens*, несомненно, есть расы. И их наличие лишь служит дополнительным указанием на то, что мы не отличаемся от других видов, появившихся путем эволюции.

Существование разных рас у людей показывает, что наши популяции были разделены достаточно долго, чтобы успела произойти некоторая генетическая дивергенция. Но насколько сильная дивергенция и соответствует ли она тому взгляду, что, как показывают ископаемые находки, расселение человека происходило из Африки? И какой тип отбора управлял этими различиями?

Как и следовало ожидать от эволюции, физические вариации у человека происходят в родственных группах, и, несмотря на доблестные попытки некоторых ученых создать формальное разделение на расы, именно пограничная область между расами совершенно произвольна. Четких границ между расами не существует: число рас, признанных антропологами, варьирует от трех до тридцати с лишним. Если посмотреть на гены, то отсутствие четких различий между расами станет еще более очевидным: практически все генетические вариации, которые позволяют выявить современные молекулярные методы, лишь в слабой мере коррелируют с классическими комбинациями физических черт, обычно используемых как расовые критерии – таких как цвет кожи и тип волос.

Прямые генетические доказательства, накопившиеся за последние 30 лет, показывают, что лишь около 10–15 % всех генетических вариаций у людей, представленные различиями между «расами», распознаются по различиям во внешности. Остальные генетические вариации, 85–90 %, – это *индивидуальные отличия отдельных особей внутри рас*.

Это означает, что расы не обнаруживают различий типа «все или ничего» в аллельных формах генов, которые они несут. Вместо этого у них обычно одинаковые аллели, но встречающиеся с разными частотами. Например, у гена группы крови «AB0» три аллеля: А, В и 0. Эти три формы имеются почти у всех человеческих популяций, но в разных группах их частота различна. Скажем, частота аллеля «0» составляет 54 % у японцев, 64 % у финнов, 74 % у южноафриканской народности канг и 85 % у навахо. Это типично для тех

различий, которые мы наблюдаем: мы не сумеем определить национальную принадлежность человека по единственному гену, но гарантированно сможем это сделать, исходя из комбинации множества генов.

Следовательно, на генетическом уровне люди удивительно схожи. Именно этого и следовало ожидать, если современные люди переселились из Африки всего 60 000 или 100 000 лет назад. Времени для генетической дивергенции было слишком мало, хотя мы распространились по всем уголкам земного шара и разделились на далеко разнесенные популяции, которые до недавних времен были генетически изолированы.

Означает ли это, что мы вправе не обращать внимания на расу человека? Нет. Эти заключения не значат, что расы – всего лишь умственный конструкт или что небольшие генетические различия между ними не представляют интереса. Некоторые расовые различия дают нам явственное доказательство эволюционного давления, которое действовало в различных регионах, и могут быть полезны в медицине. Например, серповидноклеточная анемия чаще всего встречается у темнокожих, чьи предки произошли из экваториальной Африки. Поскольку носители мутации, вызывающей серповидноклеточную анемию, наделены некоторой сопротивляемостью к тропической малярии (смертельному заболеванию), скорее всего, высокая частота этой мутации в африканских и африканского происхождения популяциях возникла в результате естественного отбора в ответ на малярию. Частота встречаемости болезни Тея – Сакса – смертельного генетического заболевания, которое широко распространено у евреев-ашкенази и луизианских каджунов, возможно, сильно возросла путем генетического дрейфа в малых предковых популяциях. Сведения о национальности могут быть очень ценным подспорьем, когда необходимо диагностировать эти или другие генетические заболевания. Более того, различия в частотах аллелей между расовыми группами означают, что расовую принадлежность необходимо учитывать и в случаях, когда подбирают подходящие донорские органы, потому что там требуется соответствие между несколькими генами совместимости.

Большая часть генетических различий между расами незначительна. Однако некоторые, такие как внешние отличия японца от финна, эскимоса от масаи, разительны. Таким образом, складывается любопытная ситуация: общие межрасовые генетические различия незначительны, но у этих же групп проявляются ярко выраженные внешние различия, такие как цвет кожи, цвет волос, строение тела и форма носа. Эти очевидные физические отличия не характеризуют геном в целом. Тогда почему та незначительная генетическая дивергенция, которая возникла между человеческими популяциями, сосредоточилась именно на столь заметных внешних чертах?

Некоторые из этих различий логически объяснимы как адаптации к разной окружающей среде, в которой оказывались древние люди. Более темная кожа у тропических групп, возможно, обеспечивает защиту от интенсивного ультрафиолетового излучения, которое вызывает смертельное заболевание меланому, в то время как бледная кожа обитателей северных широт способствует проникновению света, необходимого для синтеза жизненно важного витамина D, помогающего предотвратить цингу и туберкулез. Но как насчет складки верхнего века у монголоидной расы или более длинных носов у представителей европеоидной расы? У этих черт как будто нет никакой прямой связи с окружающей средой. По мнению некоторых биологов, существование большей генетической вариативности между расами, влияющей на физический облик, на то, что очевидно для потенциальных партнеров, служит несомненным указанием на половой отбор.

Помимо характерных особенностей генетических вариаций, есть и другие основания считать половой отбор мощной силой, управляющей эволюцией рас. На фоне других биологических видов мы уникальны тем, что создали сложные культуры. Язык подарил нам прекрасную способность распространять идеи и мнения. Изменить свою культуру группа людей способна гораздо быстрее, чем измениться генетически. Но культурные изменения также способны *привести к*

генетическим. Представьте, что распространение некой идеи или увлечения включает в себя предпочтения, касающиеся внешности партнера. Допустим, азиатская императрица питает пристрастие к мужчинам с прямыми черными волосами и миндалевидными глазами. Это предпочтение порождает новую моду и распространяется внутри культуры на всех женских особей, а потом со временем – вы только поглядите! – курчавые мужчины с круглыми глазами в большинстве своем сменяются мужчинами с прямыми волосами и миндалевидными глазами. Именно эта идея генно-культурной коэволюции показывает, что перемена в культурной среде может привести к новым типам отбора некоторых генов, что придает идее полового отбора физических отличий особую притягательность.

Более того, половой отбор зачастую работает невероятно быстро, и это делает из него идеального кандидата на роль движущей силы, управляющей быстрой эволюционной дифференциацией физических черт, произошедшей со времен недавней миграции наших предков из Африки. Конечно, все это не более чем предположения и домыслы, и проверить их практически невозможно, но они могут объяснить определенные загадочные различия между группами.

Тем не менее большая часть полемики по расовому вопросу сосредоточена не на физических, а на поведенческих различиях. Заставила ли эволюция определенные расы стать умнее, сильнее или хитрее, чем другие? Тут нам следует соблюдать особую осторожность, потому что необоснованные утверждения в этой области могут обеспечить расизму научный фундамент. Так что говорят научные данные? Практически ничего. Хотя разные популяции, возможно, и наделены разными типами поведения, разными IQ и разными способностями, трудно исключить возможность, что все эти различия представляют собой следствие отличий в культуре и окружающей среде, а с генетикой никак не связаны. Если мы хотим определить, имеют ли конкретные различия между расами генетическую природу, нам следует исключить эти влияния. Для подобных исследований требуются контролируемые эксперименты: нужно изъять младенцев разной расовой принадлежности у родителей и выращивать их в одинаковых или случайных окружениях. Те поведенческие различия, которые сохраняются у детей, будут генетически предопределенными. Поскольку эксперименты такого рода неэтичны, то они не проводились систематически, однако разрозненные данные по кросс-культурным усыновлениям показывают, что культурная принадлежность влияет на поведение очень сильно. Как заметил психолог Стивен Пинкер: «Если усыновить ребенка из технически неразвитой страны, он превосходно и без труда впишется в современное общество». Это по крайней мере позволяет утверждать, что значительных различий во врожденном поведении между расами нет.

Моя версия – и это не более чем предположение человека осведомленного – такова: человеческие расы еще слишком молоды, чтобы у них успели развиться существенные различия в поведении и интеллекте. И нет никаких причин полагать, что естественный или половой отбор поощряет различия такого рода. Из следующей главы вы узнаете о многих «универсальных» поведенческих моделях, которые встречаются во всех культурах: например, символический язык, детский страх перед незнакомыми, зависть, сплетни и дарение подарков. Если у этих универсалий есть какая-то генетическая основа, то их наличие в каждой культуре придает дополнительный вес идее, что эволюция не породила существенных психологических различий между человеческими группами.

Хотя по некоторым признакам, таким как цвет кожи или тип волос, у популяций и произошло расхождение, но это, похоже, особые случаи, вызванные различиями в окружающей среде или половым отбором в пользу определенной внешности. Исследования ДНК показывают, что в целом генетические различия между человеческими популяциями незначительны. Утверждение, что все мы, несмотря на разный цвет кожи, братья и сестры – вовсе не утешительная банальность, а нечто большее. Именно этого и следовало ожидать, учитывая, сколь недолго продолжалась эволюция после нашего выхода из Африки.

А что же сейчас?

Несмотря на то что, судя по всему, отбор не привел к значительным различиям между расами, он породил некоторые интересные различия между *популяциями* внутри этнических групп. Поскольку популяции эти довольно молоды, это явно доказывает, что отбор действовал на них совсем недавно.

Один из случаев связан с нашей способностью усваивать лактозу – сахар, содержащийся в молоке. Фермент под названием лактаза расщепляет этот сахар на глюкозу и галактозу – также сахара, но легкоусвояемые. Конечно, мы появляемся на свет с врожденной способностью переваривать и усваивать молоко, поскольку оно всегда было основной пищей младенцев. Но после отлучения от груди мы постепенно перестаем вырабатывать фермент лактазу. В конечном итоге многие из нас полностью утрачивают способность усваивать лактозу и приобретают непереносимость лактозы, так что молочные продукты вызывают у таких людей расстройство желудка, вздутие живота и колики. То, что лактоза исчезает после отлучения от груди, возможно, результат естественного отбора: у наших древних предков не было никаких источников молока по окончании грудного вскармливания, так зачем вырабатывать дорогостоящий фермент, если потребность в нем отпала?

Но в некоторых популяциях люди продолжают вырабатывать лактазу и во взрослом возрасте, что обеспечивает им богатый источник питания, недоступный для других. Оказывается, что переносимость лактозы обнаруживается в основном в популяциях, которые были или остаются скотоводческими, т. е. занимаются разведением коров. К ним относятся некоторые европейские и ближневосточные популяции, а также отдельные африканские, например масаи и тутси. Генетические анализы показывают, что переносимость лактозы в этих популяциях зависит от простого изменения в одном гене, который регулирует синтез фермента и заставляет его работать и по окончании младенческого возраста. У этого гена две аллельные формы – «толерантная» (ген работает) и «нетолерантная» (ген выключен), и их ДНК отличается лишь одним нуклеотидом. Частота толерантного аллеля хорошо коррелирует с тем, разводят ли в популяции коров: в скотоводческих популяциях Европы, Ближнего Востока и Африки частота высока – от 50 до 90 %, а в азиатских и африканских популяциях, которые зависят скорее от земледелия, чем от молока, она очень низка – от 1 до 20 %.

Археологические свидетельства показывают, что люди начали одомашнивать коров в Судане 7000–9000 лет назад, и практика эта распространилась на территории к югу от Сахары и Европу через несколько тысяч лет. Прелесть всей этой истории в том, что мы можем с помощью секвенирования ДНК определить, когда вследствие мутации возник аллель толерантности. Этот временной отрезок, 3000–8000 лет назад, отлично совпадает с развитием скотоводства. Еще симпатичнее то, что ДНК, извлеченная из скелетов европейцев, чей возраст 7000 лет, показывает, что они страдали непереносимостью лактозы, как и следовало ожидать, поскольку у них еще не возникло скотоводства.

Эволюция толерантности к лактозе – еще один прекрасный пример генно-культурной коэволюции. Сугубо культурная перемена (одомашнивание коров, возможно, ради мяса) открыло новую эволюционную возможность: способность использовать этих коров для получения молока. Обретя новый доступный и богатый источник пищи, наши предки, наделенные геном толерантности, вероятнее всего, получили существенное репродуктивное преимущество над носителями гена непереносимости. В сущности, мы можем вычислить это преимущество, проследив, как быстро частота гена толерантности возросла до наблюдаемых в современных популяциях. Оказалось, что особи, обладающие толерантностью к лактозе, в среднем произвели на 4–10 % больше потомства, чем носители гена непереносимости. Это весьма сильный отбор.

Каждого, кто рассказывает ученикам об эволюции, рано или поздно неизбежно спрашивают: «А сейчас мы все еще эволюционируем?» Примеры толерантности к

лактозе и дупликации гена амилазы показывают, что отбор определенно работал в течение последних нескольких тысяч лет. Но как насчет наших дней? Ответить на этот вопрос сложно. Конечно, многие типы отбора, с которыми сталкивались наши предки, более не работают: у нас улучшилось питание, санитарные условия, повысился уровень медицины, и все это помогло покончить с теми болезнями и условиями, которые губили наших предков, и устранило некогда мощные факторы естественного отбора. Как отмечает британский генетик Стив Джонс, пятьсот лет назад в Англии у новорожденного было лишь 50 % шансов дожить до репродуктивного возраста, а в наши дни этот показатель повысился до 99 %. И что касается выживших, медицинское вмешательство позволяет вести нормальную жизнь тем, кто в прошлом, на протяжении почти всей нашей эволюционной истории, был бы безжалостно уничтожен естественным отбором. Сколько людей со слабым зрением, больными зубами, неспособные охотиться и жевать, погибли бы в африканской саванне? (Я бы точно угодил в ряды неприспособленных.) Сколько подхватили бы инфекции, которые убили бы нас, поскольку антибиотиков не существовало? Судя по всему, вследствие культурных перемен генетически мы во многих отношениях катимся по наклонной плоскости. Гены, которые некогда были пагубными, перестали быть вредоносными (компенсировать влияние «вредного» гена можно, попросту подобрав очки или сходяв к хорошему стоматологу), и эти гены будут сохраняться в популяциях.

И наоборот, гены, которые когда-то были полезны, теперь вследствие культурных перемен приобрели разрушительный эффект. Например, наша любовь к сладкому и жирному у наших предков вполне могла быть адаптивной, потому что для них подобные лакомства были ценным, но редким источником энергии. Но эта пища, некогда редкая, в наши дни доступна всем и всегда, а потому наше генетическое наследие приносит нам кариес, ожирение и сердечные заболевания. Кроме того, наша способность откладывать жир из калорийной пищи в прошлом также, возможно, была адаптивной. Тогда местная пища не всегда была доступна в изобилии, наши предки питались по принципу «то густо, то пусто» – то голодали, то наедались, и это давало селективные преимущества тем, кто обладал способностью запасать калории на голодные времена.

Означает ли это, что на самом деле у нас происходит «обратная» эволюция или деградация? До известной степени да, но мы, возможно, одновременно все лучше приспосабливаемся к современной окружающей среде, которая порождает новые типы отбора. Нужно помнить, что, пока люди умирают до того, как они перестали размножаться, и пока некоторые люди оставляют больше потомства, чем другие, у естественного отбора остается возможность нас улучшить. И если есть некая генетическая вариация, которая влияет на нашу способность выживать и производить потомство, она будет способствовать эволюционным изменениям. Именно это сейчас и происходит. Хотя в некоторых западных популяциях детская смертность низка, но во многих других она очень высока: в Африке детская смертность превышает 25 %. Зачастую эта смертность вызвана инфекционными заболеваниями, такими как холера, тиф и туберкулез. Другие болезни, в частности малярия и СПИД, продолжают убивать множество детей и взрослых репродуктивного возраста.

Источники смертности сохранились, сохранились и гены, которые смягчают их воздействие. Аллельные варианты некоторых ферментов, например гемоглобина (особенно аллель серповидноклеточности), дают сопротивляемость к малярии. И есть один мутантный ген – аллель под названием *CCR5-Δ32*, который обеспечивает своих носителей сильной защитой от инфицирования вирусом СПИДа. Можно прогнозировать, что, если СПИД останется существенной причиной смертности, частота этого аллеля в популяциях, где распространено это заболевание, будет расти. Это и есть эволюция, и это так же верно, как резистентность бактерий к антибиотикам. Несомненно, есть и другие источники смертности, которые нам не вполне понятны: токсины, загрязнение, стресс и т. п. Если мы что-то и усвоили из экспериментов по искусственной селекции, так это то, что практически каждый вид располагает генетической изменчивостью, чтобы ответить почти на любую форму отбора. Медленно, неуклонно и невидимо наш геном адаптируется ко

множеству новых причин смертности. Но не к каждой. Заболевания, обусловленные и генетикой, и окружающей средой, в том числе ожирение, диабет и сердечные болезни, возможно, не ответят на воздействие отбора, потому что смерть, к которой они приводят, в основном происходит уже после того, как их жертвы вышли из репродуктивного возраста. Выживают не только самые сильные, но и самые упитанные.

Однако людей мало волнует сопротивляемость болезням, как бы важна она ни была. Их больше интересует, становится ли человечество сильнее, умнее или красивее. Конечно, это зависит от того, какие черты влияют на успех в размножении, а это нам как раз и не известно. Не то чтобы это имело большое значение. В нашем стремительно меняющемся обществе и культуре социальные перемены к лучшему увеличивают наши возможности гораздо больше, чем любые генетические изменения, если только мы не решим подлатать эволюцию с помощью генетических манипуляций, например заблаговременного выбора подходящей спермы и яйцеклеток.

Таким образом, урок, извлеченный из палеоантропологической летописи, в сочетании с последними открытиями в области генетики, подтверждает, что мы – эволюционировавшие млекопитающие, конечно, гордые и состоявшиеся, но все же млекопитающие, которые возникли под влиянием тех же процессов, которые преобразили каждую форму жизни за последние несколько миллиардов лет. Как и все прочие виды, мы не конечный продукт эволюции, но незавершенная работа, хотя, возможно, наш генетический прогресс движется медленно. И, хотя мы проделали большой путь от предков-обезьян, отпечатки нашего наследия все равно выдают нас. Гилберт и Салливан пошутили, что мы всего лишь голые обезьяны; Дарвин высказался не так юмористически и гораздо лиричнее, но и гораздо правдивее:

Я старался по мере сил привести все доказательства моей теории, и, сколько мне кажется, мы должны признать, что человек со всеми его благородными качествами, с состраданием, которое он чувствует к самым обездоленным, с доброжелательностью, которую простирает он не только на себе подобных, но и на ничтожнейшее из живых существ, с его божественным умом, который постиг движение и устройство Солнечной системы, словом, со всеми способностями, все-таки носит в своем физическом строении неизгладимую печать низкого происхождения.

Глава 9

Эволюция возвращается

После сна длиной в сотни миллионов веков мы наконец открыли глаза на шикарной планете, сверкающей цветами, богатой жизнью. В течение нескольких десятилетий мы должны будем закрыть глаза снова. Это ли не благородный, просвещенный путь – посвятить наше короткое время под солнцем работе над пониманием Вселенной и того, как мы в ней оказались? Вот как я отвечаю, когда меня спрашивают, зачем я утруждаюсь вставать по утрам с постели.

Несколько лет назад группа предпринимателей из богатого чикагского пригорода пригласила меня выступить на тему «эволюция против теории разумного замысла». К чести хозяев следует сказать, что они выказали достаточно интеллектуальной любознательности и потому захотели узнать больше о предполагаемом «споре». В своем выступлении я развернул перед слушателями все доказательства эволюции и затем объяснил, почему теория разумного замысла – это скорее религиозное истолкование жизни, чем научное. После лекции ко мне подошел один из слушателей и сказал: «Ваше доказательство эволюции очень убедительно, но я все равно в него так и не верю».

В этих словах заключается вся суть повсеместно распространенного и глубинного двойственного отношения, которое многие люди питают к эволюционной биологии. Доказательство эволюции убедительно, но их оно не убеждает. Как такое возможно? Другие научные области заразой таких проблем не затронуты. Мы ведь не сомневаемся в существовании электронов или черных дыр, хотя эти феномены от нашей повседневной жизни отстоят гораздо дальше, чем эволюция. В конце концов, окаменелости можно посмотреть в любом естественно-научном музее, и везде постоянно пишут о том, как бактерии и вирусы вырабатывают резистентность к лекарствам. Так в чем же проблема с эволюцией?

Недостаток доказательств уж точно не проблема – их более чем достаточно. Поскольку вы уже дочитали до этой главы, то успели убедиться, что эволюция нечто гораздо большее, чем научная теория: это научный факт. Мы рассмотрели доказательства из разных областей: палеонтологии, биогеографии, эмбриологии, рудиментарных структур, неоптимальной конструкции и т. д., и все они, вне всякого сомнения, доказывали, что организмы эволюционировали. И это не какие-то скромные «микроэволюционные» изменения: мы видели, как формируются новые биологические виды – как в реальном времени, так и в палеонтологической летописи и обнаружили переходные формы между крупными группами, такими как киты и наземные животные. Мы наблюдали естественный отбор в действии, и у нас есть все основания думать, что он умеет создавать сложные организмы и признаки.

Мы также убедились, что эволюционная биология выдвигает прогнозы, которые можно проверить, хотя, разумеется, она не прогнозирует путь развития того или иного вида, поскольку это зависит от мириадом зыбких факторов: например, от того, какие именно мутации возникнут и как может измениться окружающая среда. Но мы можем предсказать, где будут обнаружены ископаемые (приведем в пример предсказание Дарвина о том, что предки человека будут обнаружены в Африке), нам по силам предсказать, *когда* появились общие предки (например, вспомним находку рыбонога, ископаемого тиктаалика, в скальной породе возрастом 370 млн лет – см. главу 2), и еще до обнаружения этих предков мы уже можем прогнозировать, каков окажется их облик (один из примеров – примечательное недостающее звено между муравьями и осаами, также см. главу 2). Ученые предсказали, что ископаемые останки сумчатых животных будут обнаружены в Антарктиде, и так оно и вышло. Нам также по силам предсказать, что если будет обнаружен вид животных, у которого самцы имеют яркий окрас, а самки нет, то у этого вида половое поведение будет полигинным.

Ежедневно копилка научной литературы пополняется сотнями наблюдений и экспериментов. Многие из них никак не связаны с эволюцией – это наблюдения,

касающиеся нюансов физиологии, биохимии, развития и т. д., – но многие связаны. И каждый факт, имеющий отношение к эволюции, служит доказательством в ее пользу. Каждое обнаруженное ископаемое, каждая секвенированная молекула ДНК, каждая система органов, которую мы препарируем, подтверждают идею, что виды произошли от общих предков. Несмотря на то что якобы возможны бесчисленные наблюдения, которые могли бы доказать, что эволюции не было, у нас нет ни одного. Мы не обнаруживаем млекопитающих в докембрийских породах, человека в тех же слоях, что и динозавров, или какие-то иные ископаемые, которые бы нарушали эволюционный порядок. Эволюционное родство видов, изначально установленное по палеонтологической летописи, подтверждено секвенированием ДНК. И, как и прогнозирует естественный отбор, не обнаружено ни одного вида, наделенного адаптациями, которые идут на пользу только другому виду. Кроме того, мы обнаруживаем молчащие гены и рудиментарные органы, необъяснимые в свете идеи разумного замысла. Несмотря на миллионы шансов ошибиться, эволюционисты всегда оказываются правы. Насколько это возможно, мы приблизились к научной истине.

Когда мы утверждаем «эволюция существует», мы подразумеваем то, что основные положения дарвинизма получили подтверждение. Организмы эволюционировали, причем постепенно, эволюционные ветви разделились на различные виды, происходящие от общих предков, а естественный отбор – основной двигатель адаптации. Ни один серьезный биолог не опровергает эти утверждения. Однако это не означает, что дарвинизм в научном смысле исчерпал себя и в нем не осталось загадок. Это далеко не так. Эволюционная биология бурлит спорами и вопросами. Как именно работает половой отбор? Выбирают ли самки самцов с хорошими генами? Насколько велика роль генетического дрейфа (в противоположность естественному или половому отбору) в эволюционных изменениях нуклеотидного состава ДНК или признаков организмов? Какие из ископаемых гоминин являются прямыми родственниками *Homo sapiens*? Что вызвало кембрийский эволюционный взрыв, в ходе которого множество новых форм животных появилось всего лишь за миллион лет?

Критики эволюции хватаются за эти спорные вопросы и утверждают, что такие вопросы показывают неверность самой эволюционной теории. Однако они ошибаются. У серьезных биологов нет разногласий относительно основных положений эволюционной теории, а все дебаты идут только вокруг нюансов того, как происходила эволюция, и о том, какую относительную роль сыграл тот или иной эволюционный механизм. Спорные вопросы вовсе не опровергают эволюцию, они, по сути дела, служат признаком того, что эта область науки бурно живет и развивается. Науку двигают вперед именно неведение, споры и проверка альтернативных теорий путем наблюдений и экспериментов. Наука без споров – это наука без прогресса.

Тут я мог бы просто сказать: «Знаете что, я привел вам доказательства, и они показывают, что эволюция существует. Quod erat demonstrandum, что и требовалось доказать». Но, если я так поступлю, это будет недобросовестно, потому что, подобно предпринимателю, с которым я беседовал после своей лекции, многим людям, чтобы принять эволюцию и поверить в нее, нужно нечто большее, чем доказательства. Для них эволюция затрагивает такие серьезные вопросы цели, морали и смысла, что они просто не в состоянии принять ее, сколько доказательств им ни приведи. Их не столько задевает наше происхождение от обезьян, сколько эмоциональные *последствия*, с которыми они сталкиваются в попытках принять этот факт. И пока мы не будем учитывать такие соображения, нам не удастся убедить весь мир в том, что эволюция – неопровержимая истина. Как заметил американский философ Майкл Руз: «Никто не лежит без сна, переживая из-за пробелов в палеонтологической летописи. Многим не дают уснуть проблемы абортов, или наркотиков, или упадка института семьи, или вопрос однополых браков и всего прочего, что противопоставляется так называемым "моральным ценностям"».

Нэнси Пирси, американский философ консервативного толка и сторонница теории

разумного замысла, выразила этот распространенный страх так:

Почему публику так волнует биологическая теория? Потому что люди интуитивно чувствуют: на кону нечто большее, чем научная теория. Они знают, что, когда в школьном классе преподают натуралистическую эволюцию, то в соседних классах на уроках истории, социологии, семейной жизни и во всех областях школьной программы будут преподавать натуралистические воззрения на этику.

Пирси утверждает (и многие американские креационисты того же мнения), что все зло от теории эволюции происходит из двух мировоззрений, составляющих часть науки: от натурализма и материализма. Идея натурализма в том, что единственный способ понять Вселенную – научный метод. Материализм утверждает, что единственная реальность – это физическая материя Вселенной, а все остальное, в том числе мысли, воля и эмоции, проистекают из физических законов, воздействующих на эту материю. Посыл эволюции и науки в целом – это посыл натуралистического материализма. Дарвинизм говорит, что, подобно всем видам, человек возник благодаря многовековой работе слепых, бесцельных сил. Насколько нам известно, силы, которые вызвали к жизни папоротники, грибы, ящериц и белок, породили и нас. Положим, наука не может полностью исключить вероятность сверхъестественного объяснения. Возможно, хотя и очень маловероятно, что всем нашим миром управляют эльфы. Но потребность в сверхъестественных объяснениях такого рода вообще не возникает: мы умудряемся прекрасно постигать естественный мир с помощью рассудка и материализма. Более того, сверхъестественные объяснения – это всегда конец вопросам: такова воля Господа, и точка. Наука, наоборот, никогда не довольствуется полученными ответами: мы продолжим изучать Вселенную, пока существует человечество.

Однако утверждение Пирси, что преподавание эволюции на уроках неизбежно повлияет на преподавание этики, истории и семейной жизни – это необоснованное паникерство. Как можно извлечь из эволюции смысл и цель жизни или этические устои? Никак. Эволюция – это просто теория о процессе и путях развития жизни, а вовсе не грандиозное философское учение о смысле жизни. Эволюция не скажет нам, что делать или как поступать. Это и представляет проблему для многих верующих, которые жаждут отыскать в истории нашего происхождения причину для нашего существования и наставление, как себя вести.

Большинство из нас нуждается в цели и смысле жизни и этическом руководстве. Как нам обрести их, если мы примем идею, что эволюция – это подлинная история происхождения человека? Вопрос этот лежит за пределами научной сферы. Однако эволюция все же способна пролить некоторый свет на то, обусловлена ли наша мораль генетически. Если наши тела представляют собой плод эволюции, то как насчет наших поступков? Несем ли мы с собой психологический багаж миллионов лет на просторах африканской саванны? Если да, то насколько мы способны его преодолеть?

Распространенный предрассудок об эволюции гласит: если мы признаем, что мы лишь эволюционировавшие млекопитающие, то не останется никаких сдерживающих механизмов, мешающих нам вести себя как звери. Мораль будет выброшена на свалку истории, и человечество заживет по законам джунглей. Именно так выглядит натуралистическое воззрение на этику, которое, как опасается Нэнси Пирс, проникнет в наши школы. Помните старую песенку Коула Портера?

Говорят, игуаны Крутят романы, То же творят и верблюды. Мы люди И млекопитающие – Так давайте проказничать И безобразничать!

У этого утверждения есть вариант посвежее, который в 1999 г. сформулировал бывший член конгресса Том Делэй. Он заявил, что причины массовой резни в средней школе в Колумбии, возможно, коренятся в дарвинизме, и вслух зачитал на заседании конгресса США письмо, опубликованное в некой техасской газете. Там в саркастическом тоне говорилось, что «это [убийство] не могло случиться из-за того, что наша школьная система внушает детям, что они не более чем

усовершенствованные обезьяны, которые эволюционировали из какой-то доисторической грязной жижи». В своей книге- бестселлере «Безбожие: Церковь либерализма» (Godless: The Church of Liberalism) ученое светило Энн Коултер, отличающаяся консервативными взглядами, пошла еще дальше и четко заявила, что либералам эволюция «позволяет совершенно сорваться с цепи и пуститься во все тяжкие. Делай что душа пожелает, трахай свою секретаршу, убей бабушку, сделай аборт, чтобы не рожать дефективного ребенка, – Дарвин учит, что человечеству все это на пользу!» Конечно, Дарвин никогда ничего подобного не говорил.

Разве эволюционная биология когда-нибудь заявляла, что мы генетически запрограммированы вести себя подобно нашим предположительно звероподобным предкам? У широкой публики такое ошибочное впечатление сложилось из-за невероятно популярной книги эволюциониста Ричарда Докинза «Эгоистичный ген» (The Selfish Gene) или, скорее, из-за ее заглавия. Публике показалось, что книга утверждает, будто эволюция заставляет нас вести себя эгоистично и заботиться только о себе. Кто захочет жить в таком мире? Однако в книге Докинза ничего подобного не говорится. Автор отчетливо показывает, что эгоистичный ген – метафора, показывающая, как работает естественный отбор. Гены ведут себя так, *словно* они эгоисты: те, кто обеспечивает лучшие адаптации, как будто соревнуются с другими генами за будущее существование. И да, эгоистичные гены способны породить эгоистичное поведение. Однако существует также огромный пласт научной литературы, посвященный тому, как эволюция отдает предпочтение генам, ведущих к сотрудничеству, альтруизму и даже нравственному поведению. В конечном итоге наши предки, возможно, были не так уж звероподобны, и в любом случае джунгли с их разнообразием животных, многие из которых живут в довольно сложных и объединенных сообществах, вовсе не так попирают законы, как это подразумевает поговорка о «законе джунглей».

Итак, если наша эволюция как общественных обезьян оставила свой отпечаток на нашем мозге, что именно в человеческом поведении может быть «запрограммированным»? Сам Докинз сказал, что книгу «Эгоистичный ген» с равным успехом можно было озаглавить «Ген сотрудничества». На что мы настроены генетически – на эгоизм, на сотрудничество или на то и другое?

В последние годы появилась новая научная дисциплина, которая пытается ответить на этот вопрос, интерпретируя поведение человека в свете эволюции. *Эволюционная психология* восходит к книге Э. Уилсона «Социобиология» (Sociobiology) – масштабному труду, рассматривающему поведение животных с точки зрения эволюции. В последней главе этой книги было выдвинуто предположение, что и человеческое поведение тоже, возможно, объясняется эволюцией. В основном эволюционная психология стремится представить поведение современного человека как результат адаптивной эволюции наших предков под действием естественного отбора. Если отсчитывать начало «цивилизации» от отметки 4000 лет до н. э., когда уже существовали сложные общества, как сельскохозяйственные, так и городские, то получается, что до наших дней прошло всего 6000 лет. Это лишь одна тысячная часть общего срока, в течение которого человеческая родословная была изолирована от родословной шимпанзе. Подобно тонкому слою глазури на торте, примерно 250 поколений цивилизованного общества венчают 300 000 поколений, в течение которых мы, возможно, были охотниками и собирателями, жившими в маленьких социальных группах. Так что у естественного отбора было много веков на то, чтобы адаптировать нас к подобному образу жизни. Физическую и социальную среду, к которой мы адаптировались в течение этого долгого периода, эволюционные психологи называют средой эволюционной адаптации, или СЭА. Несомненно, как утверждают эволюционные психологи, мы сохранили много поведенческих черт, которые эволюционировали в СЭА, даже если они перестали быть адаптивными или даже стали мальадаптивными. В конце концов, с тех пор как появилась современная цивилизация, для эволюционных изменений было относительно мало времени.

В самом деле, похоже, что всем человеческим обществам присущ одинаковый и хорошо известный набор «человеческих универсалий». В своей книге, которая так и называется «Человеческие универсалии» (Human Universals), Дональд Браун составил перечень из десятков подобных черт, включая использование символического языка (в котором слова служат абстрактными символами для действий, объектов и мыслей), разделение труда между полами, мужское доминирование, религиозные верования или веру в сверхъестественное, скорбь по умершим, оказание предпочтения родственникам перед другими людьми, декоративно-прикладное искусство и моду, танцы и музыку, сплетни, украшение тела и любовь к сладкому. Поскольку большая часть этих черт отличается человека от животных, их можно считать аспектами человеческой природы.

Однако не следует всегда допускать, что распространенное типичное поведение отражает генетически обусловленные адаптации. Одна из проблем состоит в том, что слишком уж просто подыскать эволюционную причину тому, что многие проявления современного человеческого поведения должны были быть адаптивны в США. Например, искусство и литература, возможно, были эквивалентом павлиньего хвоста, а художники и артисты оставляли больше потомства, потому что их творения привлекали женщин. Насилие? Это способ, позволяющий мужчинам, которые не сумели найти партнерш, оставить потомство; такие мужчины оказались отобраны в США за свою склонность насильно спариваться с женщинами. Депрессия? Не проблема, и ей найдется объяснение: возможно, это был способ адаптивно уйти от стрессовых ситуаций, собирая все свои ментальные ресурсы, чтобы справиться с жизнью. Или, быть может, она представляла собой ритуализованную форму социального поражения, позволяя уклониться от соревнования, набраться сил и, отдохнув, вернуться к борьбе. Гомосексуальность? Хотя это поведение кажется прямой противоположностью тому, что должен был поощрять естественный отбор (гены, отвечающие за гомосексуальное поведение, которые не передаются потомкам, быстро исчезли бы из популяций), но можно извернуться и допустить, что в США гомосексуальные мужчины оставались дома и помогали своим матерям производить других отпрысков. В подобных обстоятельствах гены гомосексуальности могли быть переданы гомосексуалами их братьям и сестрам, особям, разделявшим с ними эти гены. Кстати, я тут ничего не сочинил, все эти объяснения невыдуманные, и все они на самом деле появлялись в опубликованной научной литературе.

У психологов, биологов и философов наблюдается растущая (и тревожная) тенденция дарвинизировать каждый аспект человеческого поведения, превращая его исследование в какую-то научную салонную игру. Но изобретательные реконструкции того, как могло развиваться то или иное явление, – это не наука; это фантазии на тему. Стивен Гулд ехидно называл такого рода рассуждения «сказками просто так», отсылая к знаменитой книге Редьярда Киплинга. В ней, как вы помните, приводятся восхитительные, но вымышленные объяснения различным особенностям животных: «Откуда у кита такая глотка», «Как леопард стал пятнистым» и т. д.

Но невозможно и напрочь отмести идею о том, что у различных поведенческих паттернов есть эволюционная основа. Конечно же, у некоторых она есть. Сюда входят поведенческие проявления, которые почти наверняка представляют собой адаптации, потому что они встречаются у многих животных и их важность для продолжения рода и выживания совершенно очевидна. На ум сразу же приходят еда, сон (хотя мы пока так и не знаем, зачем нам спать, но период отдыха мозга встречается у многих животных), сексуальное влечение, забота о потомстве и предпочтение сородичей неродным.

Вторая категория поведенческих проявлений – это те, которые тоже наверняка эволюционировали путем отбора, но их адаптивное значение пока что не так отчетливо, как, скажем, у заботы о потомстве. Самый очевидный пример в этой категории – половое поведение. Как и у многих животных, у людей самцы чаще всего беспорядочны в половых связях, а самки разборчивы (несмотря на навязываемую обществом моногамию, которая преобладает во многих культурах).

Самцы крупнее и сильнее самок; уровень тестостерона – гормона, отвечающего за агрессию, – у них выше. В обществах, где проводились измерения репродуктивного успеха, его вариативность у мужчин всегда больше, чем у женщин. Статистические исследования газетных объявлений о знакомстве (учитывая, что это не самая строгая форма научного изыскания) показали следующее: в то время, как мужчины ищут женщин помоложе, с телом, приспособленным для производства потомства, женщины предпочитают мужчин постарше, обладающих богатством, общественным положением и желанием вкладываться в отношения. Все эти черты логически объяснимы в свете того, что нам известно о половом отборе у животных. Хотя это и уподобляет нас морскому слону, параллели отчетливо указывают на то, что особенности нашего тела и поведения были сформированы половым отбором.

Однако проводить параллели с другими животными нужно крайне осторожно. Возможно, мужчины крупнее не потому, что конкурируют за женщин, а в результате эволюционного разделения труда: в СЭА мужчины, вероятно, охотились, в то время как женщины вынашивали детей, заботились о потомстве и занимались собирательством. (Обратите внимание, что это эволюционное объяснение, просто оно опирается на естественный отбор, а не на половой.) Чтобы объяснить каждую грань человеческой сексуальности эволюцией, придется очень сильно поскрипеть мозгами. Например, в современных западных обществах женщины украшают себя гораздо тщательнее, чем мужчины: тут и косметика, и разнообразие модной одежды, и многое другое. Такое положение сильно отличается от ситуации с половым отбором у большинства животных, например от райских птиц, у которых ярче именно самцы: у них в процессе эволюции выработался более яркий окрас, украшения и более сложные брачные танцы. Кроме того, всегда есть опасный соблазн рассматривать поведение людей только в нашем непосредственном окружении, в нашем обществе и забыть, что поведение зачастую варьирует в зависимости от времени и места. Быть гомосексуалом в современном Сан-Франциско, возможно, совсем не то же самое, что быть им же в Афинах 25 веков назад. Мало существует видов поведения, которые были бы неизменны и абсолютны, как язык и сон. Тем не менее мы можем быть вполне уверены, что некоторые стороны сексуального поведения, универсальная любовь к жирному и сладкому и склонность откладывать жировые запасы – это черты, которые у наших предков были адаптивным поведением, но в наши дни необязательно являются таковым. А лингвисты, такие как Ноам Хомский и Стивен Пинкер, убедительно доказали, что использование символического языка, по всей вероятности, генетически обусловленная адаптация, и аспекты синтаксиса и грамматики каким-то образом закодированы у нас в мозге.

Наконец, есть очень обширная категория видов поведения, которые иногда считаются адаптациями, но об эволюции которых нам практически ничего не известно. К ним относятся многие из интереснейших человеческих универсалий, в том числе нравственные нормы, религия и музыка. Теорий и книг, посвященных возможным версиям того, как развились эти особенности, бесчисленное множество. Некоторые современные мыслители выстроили замысловатые гипотетические сценарии того, как естественный отбор воздействовал на мышление обладающих социальной организацией приматов, унаследованное человеком, и как у человека в результате возникло нравственное чувство и многие нравственные установки. Точно таким же образом, по их мнению, язык способствовал созданию сложного общества и культуры. Но в конечном итоге все эти идеи сводятся к непроверенным теориям, которые, быть может, и проверить-то нереально. Практически невозможно реконструировать то, как выработались и сложились эти характеристики (и даже то, являются ли они генетическими обусловленными) и представляют ли они собой прямые адаптации или, как освоение огня, они лишь побочные продукты сложного мозга, развившего поведенческую гибкость, чтобы заботиться о собственном теле. Любые домыслы, которые не подкреплены убедительными доказательствами, следует воспринимать с крайним подозрением. Я лично считаю, что умозаключения насчет эволюции человеческого поведения обязательно должны быть основаны на столь же скрупулезных исследованиях, какие обычно применяются при изучении других животных, не человека. А если вы читаете журналы о животных, то убедитесь,

что это требование поднимает планку достаточно высоко, так что многие допущения об эволюционной психологии оказываются абсолютно несостоятельными.

Таким образом, у нас нет ни малейших причин воспринимать себя как марионеток, дергающих ручками и ножками на веревочках эволюции. Да, возможно, отдельные аспекты нашего поведения закодированы генетически и постепенно сформировались у наших предков – обитателей саванны – в результате естественного отбора. Но гены еще не судьба. Генетики хорошо усвоили один урок, который, похоже, не отложился в сознании широкой публики, чуждой науке. Урок этот таков: «генетический» не означает «неизменный». На экспрессию генов могут повлиять самые разные факторы окружающей среды. Например, сахарный диабет первого типа – это генетическая болезнь, но ее пагубное воздействие можно существенно уменьшить небольшими дозами инсулина: это вмешательство окружающей среды. Близорукость у меня наследственная, но не причиняет мне затруднений благодаря очкам. Точно так же нам по силам унять свой непомерный аппетит по части шоколада или мяса при помощи силы воли и занятий в группе по контролю веса, а институт брака прошел долгий путь к тому, чтобы ограничивать склонность мужчин к промискуитету.

Эгоизма, аморальности и несправедливости в мире по-прежнему в избытке. Но присмотритесь повнимательнее, и вы увидите также бесчисленные поступки, говорящие о доброте и альтруизме. Возможно, и в том и в другом варианте поведения есть составляющие, которые коренятся в нашем эволюционном наследии, но в большой степени эти поступки – вопрос выбора, а не генов. Жертвовать на благотворительность, отправляться волонтером в страны третьего мира, чтобы искоренять болезни, тушить пожары ценой огромного личного риска, – ни один из этих поступков мы не совершаем под прямым воздействием эволюции. И с течением времени, несмотря на то что ужасы наподобие «этнической чистки» в Руанде или на Балканах все еще происходят, мы видим, что по всему миру возрастает стремление к справедливости. Во времена Древнего Рима лучшие умы в истории человечества считали, что сидеть и смотреть, как люди буквально не на жизнь, а на смерть сражаются между собой или с дикими зверями, – это превосходное развлечение. Сейчас на планете нет ни одной культуры, в которой подобное времяпрепровождение не сочли бы варварством. Точно так же когда-то во многих культурах были нормой и важной частью жизни человеческие жертвоприношения. К счастью, и они исчезли. Во многих странах равноправие мужчин и женщин сейчас воспринимается как данность. Более богатые народы осознают, что обязаны помогать, а не эксплуатировать народы беднее. Нас стало больше волновать обращение с животными. Весь этот перечень не имеет ничего общего с эволюцией, потому что перемены происходят слишком быстро, чтобы быть вызванными нашей генетикой. Следовательно, ясно, что, каково бы ни было наше генетическое наследие, оно не смиренная рубашка, которая навеки сковывает нас и заставляет вести себя так же, как наши звероподобные предки. Эволюция говорит нам о том, откуда мы пришли, а не куда нам идти.

И хотя эволюция действует бесцельно и материалистично, это вовсе не означает, что наша жизнь лишена цели. Мы определяем свои цели, смысл жизни и мораль – кто путем религиозной мысли, кто светским. Многие из нас находят смысл жизни в работе, семье, призвании. Утешение и пищу для размышлений мы черпаем в музыке, изобразительных искусствах, литературе и философии.

Многие ученые получают огромное духовное удовлетворение, размышляя о чудесах Вселенной и о нашей способности осмысливать их. Альберт Эйнштейн, которого зачастую по ошибке считают традиционно религиозным человеком, тем не менее воспринимал изучение природы как духовный опыт:

Прекраснейшее из того, что мы можем испытать, таинственно. Это фундаментальное чувство, которое стоит у колыбели подлинного искусства и подлинной науки. Тот, кто не знает этого и не способен более поражаться, испытывать чувство изумления, подобен мертвому, погашенной свече. Религию

породило ощущение тайны, хотя и смешанное наполовину со страхом. Знание о существовании чего-то таинственного, во что мы не можем проникнуть, о проявлениях фундаментальнейшей причины и самой сверкающей красоты, которые доступны нашему рассудку только в самых элементарных формах, – именно это знание и это переживание образуют поистине религиозное ощущение; в этом смысле и только в нем одном я подлинно религиозный человек... Для меня достаточно вечной жизни и даже ограниченного представления о чудесном устройстве реальности вместе с целеустремленными попытками постижения части, пусть и сколь угодно малой, разума, который проявляет себя в природе.

Черпать свою религиозность в науке также означает принимать сопутствующее ей чувство смирения перед Вселенной и мысль о том, что мы вряд ли когда-нибудь узнаем все ответы. Одним из таких смиренных стойков был физик Ричард Фейнман:

Мне не обязательно знать ответ. Меня не пугает неведение, я не боюсь затеряться в таинственной Вселенной без всякой цели, а возможно, насколько я могу судить, именно таково устройство мира. Но меня это не пугает.

Но не стоит ожидать подобного отношения от всех поголовно и не стоит предполагать, что «Происхождение видов» вытеснит Библию. Сравнительно немного найдется тех, кто способен черпать неизменное утешение и поддержку в чудесах Вселенной; и еще меньше на свете тех, кому дарована привилегия что-то прибавить к этим чудесам благодаря собственным изысканиям. Британский романист Иэн Макьюэн сокрушается, что науке не удалось заменить традиционную религию:

Наша светская и научная культура не заменила и даже не составила конкуренцию этим взаимно несовместимым, сверхъестественным системам мышления. Научному методу, скептицизму или рационализму в целом еще только предстоит отыскать всеобъемлющий голос, который был бы настолько мощным, простым и притягательным для всех, что смог бы состязаться со старыми сказками, придающими смысл человеческой жизни. Естественный отбор – это сильное, красивое и экономичное объяснение жизни на Земле во всем ее разнообразии, и, возможно, в нем содержится зародыш нового, конкурентоспособного мифа о сотворении мира, который превзойдет старый, потому что будет правдив. Но этот миф еще только ожидает своего вдохновенного составителя, своего певца, своего Мильтона... Разум и миф пока что продолжают пребывать в тесном и неловком соседстве поневоле.

Конечно, я не претендую на роль Мильтона от дарвинизма. Но по крайней мере мне по силам попытаться хотя бы рассеять заблуждения, которые отпугивают широкую публику от эволюции и от того, чтобы владеть потрясающим знанием, что жизнь во всем ее изумительном разнообразии произошла от одной-единственной простой воспроизводящейся молекулы. Величайшее из этих заблуждений состоит в уверенности, что, принимая эволюцию, мы будто бы каким-то образом подорвем основы общества, сокрушим мораль, начнем вести себя как звери, и выпустим в жизнь новое поколение Гитлеров и Сталиных.

Но этого попросту не может произойти, как мы знаем на примере многих европейских стран, чье население полностью принимает эволюцию и при этом сохраняет цивилизованность. Эволюция просто существует, а уж какие выводы мы из нее сделаем, такие сделаем. Я попытался показать, что мы способны понять: эволюция проста и чудесна. А изучение эволюции не только не ограничивает наши поступки, но освобождает разум. Возможно, люди всего лишь крошечная веточка на раскидистом древе эволюции, но мы совершенно особые животные. Выковыывая наш разум, естественный отбор открыл нам новые миры. Мы научились делать свою жизнь неизмеримо лучше в сравнении с тем, как жили наши предки, мучившиеся от болезней, неудобств и постоянного поиска пропитания. Мы способны взлетать выше самых высоких гор, нырять на океанское дно и даже путешествовать на другие планеты. Мы сочиняем симфонии, стихи, книги, утоляя наши эстетические стремления и эмоциональные потребности. Ни один

биологический вид не достиг ничего даже отдаленно похожего.

Но есть нечто еще более удивительное. Человек – единственное создание, которое естественный отбор одарил настолько сложным мозгом, что его обладатель смог понять законы, управляющие Вселенной. И мы должны гордиться, что мы единственный биологический вид, который разобрался, как мы появились на свет.

Краткий словарь терминов

Примечание. К некоторым терминам, например, к «гену», ученые дают несколько определений, зачастую технических и иногда противоречащих друг другу. В таких случаях я даю определение, которое считаю самым распространенным и рабочим.

Адаптация. Признак организма, развившийся с помощью естественного отбора, потому что выполнял определенную функцию лучше, чем его предшественники. Например, цветки растений представляют собой результат адаптации и предназначены для привлечения опылителей.

Адаптивная радиация. Возникновение от общего предка нескольких или многих новых видов. Обычно происходит, когда предок вторгается в новый пустующий ареал, например на архипелаг. Радиация адаптивна, потому что генетические барьеры между видами возникают как побочные продукты естественного отбора, за счет которых популяции приспосабливаются к окружающей среде. Примером может служить обильное видообразование у цветочниц на Гавайском архипелаге.

Аллель. Альтернативная форма какого-либо гена, образовавшаяся в результате мутации. Например, у кодирующего белок гена, который определяет нашу группу крови, есть три аллеля: А, В и 0. Все они представляют собой мутантные формы одного гена, которые лишь слегка отличаются последовательностью нуклеотидов ДНК.

Аллополиплоидное видообразование. Появление нового вида растения, начинающееся со скрещивания двух разных видов, за которым следует удвоение количества хромосом этого гибрида.

Атавизм. Появление у данной особи признаков, которые некогда присутствовали у предкового вида, но с тех пор исчезли. Примером могут служить отдельные случаи появления хвоста у человеческих младенцев.

Аутополиплоидное видообразование. Появление нового вида растения, происходящее при удвоении всего набора хромосом предкового вида.

Биогеография. Наука, изучающая географическое распространение растений и животных по поверхности Земли.

Вид. Группа скрещивающихся природных популяций, которая репродуктивно изолирована от других подобных групп. Большинство биологов предпочитает именно это определение вида, которое относится к биологической концепции вида.

Видообразование. Эволюция новых популяций, репродуктивно изолированных от других популяций.

Гаметы. Репродуктивные клетки, в том числе сперматозоиды и яйцеклетки животных, а также пыльца и яйцеклетки растений.

Ген. Сегмент ДНК, кодирующий синтез белка или рибонуклеиновых кислот (РНК).

Генетический дрейф или дрейф генов. Эволюционные изменения, которые происходят путем случайной передачи разных аллелей от одного поколения к другому. Такие эволюционные изменения неадаптивны.

Геном. Совокупность генетического материала организма, включающего все его гены, и ДНК.

Географическое видообразование. Видообразование, начинающееся с географической изоляции одной и более популяций, которые впоследствии развивают генетически обусловленные репродуктивные барьеры.

Гоминины. Все живущие или вымершие виды на «человеческой» ветви эволюционного дерева, ответвившейся от нашего общего с шимпанзе предка и породившей современных людей (другая ветвь привела к современным шимпанзе).

Гомологичные хромосомы. Пара хромосом, которые содержат одни и те же гены, хотя *формы (аллели)* генов могут различаться.

Естественный отбор. Неслучайные различия при передаче аллелей от одного поколения к другому. Обычно наблюдаются, потому что носители некоторых аллелей лучше приспособлены к выживанию и размножению в своей окружающей среде, чем носители альтернативных аллелей.

Материковые острова. Острова, подобные Великобритании и Мадагаскару, которые некогда были частью континентов, но отделились от них вследствие дрейфа материков или повышения уровня моря.

Макроэволюция. «Крупное» эволюционное преобразование, которое обычно приводит к значительным изменениям в типе строения или развития данного типа растения или животного в сравнении с другим. Преобразование нашего предка-примата в современного человека или древней рептилии в птицу будет считаться макроэволюцией.

Микроэволюция. «Малое» эволюционное изменение, например изменение размера или окраса у биологических видов. Один из примеров – эволюция различных цветов кожи или типов волос в человеческих популяциях; еще один пример – эволюция резистентности к антибиотикам у бактерий.

Мутация. Небольшое изменение генома, т. е. нуклеотидной последовательности ДНК, при котором, как правило, происходит замена одного нуклеотида. Мутации зачастую возникают как ошибки в ходе копирования молекул ДНК, сопровождающего деление клеток.

Наследуемость. Степень изменчивости определенного признака организма, которая объясняется изменчивостью в генах особи. Варьируя от нуля (все вариации обусловлены окружающей средой) до единицы (все вариации обусловлены генами), наследуемость дает нам представление о том, в какой степени тот или иной признак организма откликнется на естественный или искусственный отбор. Например, наследуемость роста у человека варьирует от 0,6 до 0,85 в зависимости от исследуемой популяции.

Океанические острова. Острова, которые никогда не были соединены с материком, подобно Гавайским и Галапагосским островам, и были сформированы благодаря вулканической деятельности или другим геологическим процессам, в ходе которых появляются новые участки суши в океане.

Партеногенез. Одна из форм полового, но однополого размножения, при которой особи женского пола формируют яйцеклетки, развивающиеся во взрослые организмы без оплодотворения.

Полиандрия. Тип полового поведения, при котором самки спариваются более чем с одним самцом.

Полигиния. Тип полового поведения, при котором самцы спариваются более чем с одной самкой.

Полиплоидия. Форма видообразования, включающая гибридизацию, при которой у новых видов возрастает количество наборов хромосом. Может включать или аутополиплоидию, или аллополиплоидию (см. соответствующие термины).

Половой диморфизм. Признаки, по которым различаются самцы и самки данного вида: например, размер тела или наличие волосяного покрова на теле у мужчин и женщин.

Половой отбор. Неслучайные различия в передаче аллелей от поколения к поколению, обеспечивающих своим носителям разную степень успеха в обзаведении партнерами. Одна из форм естественного отбора.

Приспособленность. В эволюционной биологии технический термин, обозначающий относительное количество потомства, произведенного носителями одного аллеля в сравнении с другим. Чем больше потомства, тем выше приспособленность. Однако слово «приспособленность» используется и в более широком смысле, обозначая то, насколько хорошо организм адаптирован к своему окружению и образу жизни.

Псевдоген. Неактивный ген, который не вырабатывает белок.

Раса. Географически четко выраженная популяция вида, которая отличается от другой популяции одной или более чертами. Биологи иногда называют расы экотипами или подвидами.

Репродуктивные изолирующие барьеры. Генетически обусловленные черты вида, которые не позволяют ему образовывать фертильных гибридов с другими видами: например, различия в брачных ритуалах препятствуют скрещиванию.

Рудимент. Орган, представляющий собой сравнительно упрощенную, недоразвитую структуру, которая некогда использовалась у предкового вида, но утратила свою основную функцию. Рудиментарные черты могут быть как нефункциональными (крылья у киви), так и принимать на себя новые функции (крылья у страуса).

Сестринские виды. Два вида, находящихся в ближайшем родстве, т. е. более тесно связанные между собой, чем с каким-либо другим видом. Одна из таких пар – люди и шимпанзе.

Симпатрическое видообразование. Видообразование, которое происходит без каких бы то ни было географических барьеров, физически изолирующих популяции одну от другой.

Систематика. Область эволюционной биологии, посвященная выявлению эволюционного родства между видами и созданию филогенетического дерева, которое отражает эти отношения.

Стабилизирующий отбор. Естественный отбор, отдающий предпочтение «средним» особям в популяции над обладателями крайностей. Один из примеров – более высокая выживаемость младенцев, имевших при рождении средний вес, по сравнению с теми, кто родился с меньшим или большим весом.

Токовище. Место, где самцы данного биологического вида собираются, чтобы исполнять брачный ритуал.

Тетраподы. Позвоночные животные с четырьмя конечностями.

Эволюция. Генетические изменения в популяциях, зачастую со временем порождающие перемены в отличительных признаках организмов.

Экологическая ниша. Совокупность физических и биологических условий, включающих климат, пищу, хищников, добычу и т. п., с которой конкретный вид сталкивается в природе.

Эндемичный. Прилагательное, относящееся к биологическому виду, который встречается только в конкретном регионе и больше нигде не водится: например, эндемичные вьюрки Галапагосских островов. Также для обозначения такого вида используется существительное «эндемик».

Примечание. Ссылки даны в соответствии с обычными правилами оформления списка научной литературы: приводятся фамилия и инициалы автора, фамилии других авторов, год издания, заглавие книги или, если это ссылка на публикацию в научном журнале, название журнала, а затем номер и страницы.

Общая литература

Browne, J. 1996. *Charles Darwin: Voyaging*. 2002. *Charles Darwin: The Power of Place*. Knopf, New York. (Issued in 2003 as a set by Princeton University Press.) Двухтомная биография Дарвина, написанная Джанет Браун, – это превосходный и прекрасно изложенный рассказ об ученом, его окружении и идеях. На сегодняшний день лучшая из множества биографий Дарвина.

Carroll, S. B. 2005. *Endless Forms Most Beautiful*. W. W. Norton, New York. Увлекательное обсуждение проблем, лежащих на стыке эволюции и биологии развития, написанное одним из передовых практиков эволюционной биологии развития.

Chiappe, L. M. 2007. *Glorified Dinosaurs: The Origin and Early Evolution of Birds*. Wiley, Hoboken, NJ. Хорошо написанный и современный обзор происхождения птиц от пернатых динозавров.

Cronin, H. 1992. *The Ant and the Peacock: Sexual Selection from Darwin to Today*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Введение в половой отбор для широкого круга читателей.

Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species*. Murray, London. Книга, с которой все началось; мировая классика. Лучшая научно-популярная книга всех времен и народов (притом что она была написана для англичан) и научный труд, который должен прочесть каждый, кто хочет быть по-настоящему образованным. Хотя многих читателей викторианская проза и отталкивает, но в книге есть прекрасные фрагменты, а аргументы искупают все.

Dawkins, R. 1982. *The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene*. Oxford University Press, Oxford, UK. Одна из лучших книг Докинза рассказывает о том, как отбор у одного биологического вида порождает разнообразие черт, включая изменения окружающей среды и поведение других видов.

_____. 1996. *The Blind Watchmaker: Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe Without Design*. W. W. Norton, New York. Хвалебная песнь могуществу и красоте естественного отбора. Потрясающая книга нашего лучшего научно-популярного писателя.

_____. 2004. *The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution*. Weidenfeld & Nicolson. New York. Пространный, роскошно иллюстрированный рассказ об эволюции, который начинается с человека и движется вспять к нашим общим со всеми прочими видами предкам.

_____. 2006. *The Selfish Gene: 30th Anniversary Edition*. (First published 1976). Oxford University Press, Oxford, UK. Еще один классический труд. Вероятно, лучшая книга о современной эволюционной теории, обязательная для каждого, кто хочет понять естественный отбор.

Dunbar, R., L. Barrett, and J. Lycett. 2005. *Evolutionary Psychology: A Beginner's Guide*. Oneworld, Oxford, UK. Короткий, но информативный путеводитель по расширяющейся области эволюционной биологии.

Futuyma, D. J. 2005. *Evolution*. Sinauer Associates, Sunderland, MA. Лучший учебник по эволюционной биологии. Если вы не изучаете биологию, для вас эта книга может показаться сложным и тяжеловатым чтением, но ею можно пользоваться как справочником.

Gibbons, A. 2006. *The First Human: The Race to Discover Our Earliest Ancestors*. Doubleday, New York. Превосходный обзор свежих открытий в палеоантропологии, рассказывающий не только о науке, но и о сильных, склонных к соперничеству личностях, занятых изысканиями в области нашего происхождения.

Gould, S. J. 2007. *The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould* (S. Rose, ed.). W. W. Norton, New York. Одна эта книга способна заменить собой многие; все книги и эссе Гулда стоит прочитать. Посмертный сборник включает 44 эссе самого красноречивого сторонника и защитника эволюции.

Johanson, D., and B. Edgar. 2006. *From Lucy to Language* (rev. ed.). Simon & Schuster, New York. Пожалуй, лучший рассказ практически обо всех аспектах эволюции человека, адресованный широкому кругу читателей и написанный одним из тех, кто открыл знаменитую Люси – австралопитека афарского.

Kitcher, P. 1987. *Vaulting Ambition: Sociobiology and the Quest for Human Nature*. MIT Press, Cambridge, MA. Четкая и прекрасно аргументированная критика социобиологии.

Mayr, E. 2002. *What Evolution Is*. Basic Books, New York. Конспективное изложение современной эволюционной теории, написанное одним из величайших эволюционных биологов нашего времени. Адресовано широкому кругу читателей.

Mindell, David. 2007. *The Evolving World: Evolution in Everyday Life*. Harvard University Press, Cambridge, MA. Обсуждение практической ценности эволюционной биологии, включая ее применение в сельском хозяйстве и медицине.

Pinker, S. 2002. *The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature*. Viking, New York. Интересная и впечатляющая аргументация в споре «врожденное против приобретенного» в пользу «врожденного».

Prothero, D. R. 2007. *Evolution: What the Fossils Say and Why It Matters*. Columbia University Press, New York. Лучшая научно-популярная книга о палеонтологической летописи, включающая пространное обсуждение палеонтологических доказательств эволюции, в том числе переходные формы, а также критику того, как креационисты искажают эти доказательства.

Quammen, D. 1997. *The Song of the Dodo: Island Biogeography in an Age of Extinction*. Scribner's, New York. Увлекательный рассказ о многих аспектах островной биogeографии, в том числе о ее истории, современной теории и важности ее сохранения.

Shubin, N. 2008. *Your Inner Fish*. Pantheon, New York. Увлекательное описание того, как наши прародители повлияли на тело человека. Книга написана одним из открывателей переходной формы – рыбонога *Tiktaalik roseae*.

Zimmer, C. 1999. *At the Water's Edge: Fish with Fingers, Whales with Legs, and How Life Came Ashore but Then Went Back to Sea*. Free Press, New York. Один из лучших американских научно-популярных журналистов описывает два крупных перехода в эволюции позвоночных: от рыб к наземным животным и от копытных млекопитающих к китам.

_____. 2001. *Evolution: The Triumph of an Idea*. Harper Perennial, New York. Общий обзор эволюционной биологии, написанный в качестве закадрового текста для документального сериала об эволюции, снятого общественным телевидением PBS (Public Broadcasting System). Рассчитанный на широкий круг читателей, этот обзор охватывает не только теорию эволюции и ее доказательства, но и ее философские и теологические выводы.

_____. 2005. *Smithsonian Intimate Guide to Human Origins*. HarperCollins, New York. Подробный рассказ об эволюции человека, включающий как палеонтологическую летопись, так и недавние открытия из области молекулярной генетики.

Эволюция, креационизм и социальные вопросы

За исключением некоторых статей в журнале *Pennock* (2001), я опускаю ссылки на писания креационистов и сторонников теории разумного замысла, поскольку их аргументы основаны скорее на религии, чем на науке. Различные воплощения креационизма, в том числе и теория разумного замысла, описаны в книге Юджени Скотт «Эволюция против креационизма: Введение» (*Evolution vs. Creationism: An Introduction*). Тем, кто пожелает ознакомиться с антиэволюционистской стороной спора, я рекомендую обратиться к книгам Майкла Бехе, Уильяма Дембски, Филиппа Джонсона и Джонатана Уэллса.

Coyne, J. A. 2005. The faith that dares not speak its name: The case against intelligent design. *New Republic*, August 22, 2005, pp. 21–33. Краткий обзор теории разумного замысла и рецензия на школьный учебник, основанный на этой теории, «О пандах и людях».

Forrest, B., and P. R. Gross. 2007. *Creationism's Trojan Horse: The Wedge of Intelligent Design*. Oxford University Press, New York. Глубокий анализ и критика теории разумного замысла.

Futuyma, D. J. 1995. *Science on Trial: The Case for Evolution*. Sinauer Associates, Sunderland, MA. Краткий обзор доказательств эволюции, а также сжатое изложение эволюционной теории и ответы на самые распространенные креационистские аргументы.

Humes, E. 2007. *Monkey Girl: Evolution, Education, Religion, and the Battle for America's Soul*. Ecco (HarperCollins), New York. Рассказ о попытках сторонников разумного замысла внедрить свои идеи в школьную программу в Дувре, штат Пенсильвания, и о последовавшем судебном процессе, который заклеил разумный замысел как антинауку.

Isaak, M. 2007. *The Counter-Creationism Handbook*. University of California Press, Berkeley. В этом информативном руководстве автор вкратце излагает и тут же опровергает сотни аргументов креационистов и сторонников теории разумного замысла.

Kitcher, P. J. 2006. *Living with Darwin: Evolution, Design, and the Future of Faith*. Oxford University Press, New York. Вдохновенная защита дарвинизма и предложения, как примирить дарвинизм с духовными потребностями.

Larson, E. J. 1998. *Summer for the Gods*. Harvard University Press, Cambridge, MA. Прекрасно написанный рассказ о процессе Скоупса, первом вторжении дарвинизма в американские суды, опровергает множество заблуждений на тему знаменитого «Обезьяньего процесса». В 1998 г. книга удостоилась Пулитцеровской премии по истории.

Miller, K. R. 2000. *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground Between God and Evolution*. Harper Perennial, New York. Выдающийся биолог, автор учебника и истовый католик, Миллер решительно опровергает аргументы в пользу теории разумного замысла и затем рассказывает, как ему удастся сочетать религиозную веру с принятием эволюции.

_____. 2008. *Only a Theory: Evolution and the Battle for America's Soul*. Viking, New York. Обновленная критика разумного замысла, которая не только опровергает аргумент «неуменьшаемой сложности», но также показывает, почему теория разумного замысла представляет серьезную угрозу научному образованию в Америке.

National Academy of Sciences. 2008. *Science, Evolution, and Creationism*. National Academies Press, Washington, DC. Меморандум самой авторитетной группы американских ученых, критикующий креационизм и приводящий доказательства эволюции. Текст можно бесплатно скачать по ссылке:

http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11876.

Pennock, R. T. 1999. *Tower of Babel: The Evidence Against the New Creationism*. MIT Press, Cambridge, MA. Пожалуй, самый скрупулезный анализ и опровержение креационизма, особенно его новой реинкарнации – теории разумного замысла.

_____. (ed.). 2001. *Intelligent Design Creationism and Its Critics: Philosophical, Theological, and Scientific Perspectives*. MIT Press, Cambridge, MA. Эссе сторонников и противников эволюции, включая некоторые провокационные аргументы за и против.

Petto, A. J., and L. R. Godfrey (eds.). 2007. *Scientists Confront Intelligent Design and Creationism*. W. W. Norton, New York. Сборник научных эссе по палеонтологии, геологии и другим аспектам эволюционной теории, которые связаны с дебатами между эволюционистами и креационистами, а также обсуждения социологии конфликта.

Scott, E. C. 2005. *Evolution vs. Creationism: An Introduction*. University of California Press, Berkeley. Бесстрастное описание того, что на самом деле представляют собой эволюция и креационизм.

Scott, E. C., and G. Branch. 2006. *Not in Our Classrooms: Why Intelligent Design Is Wrong for Our Schools*. Beacon Press, Boston. Сборник эссе о научных, образовательных и политических последствиях преподавания разумного замысла и других форм креационизма в американских средних школах.

. Хорошее, хотя и несколько устаревшее, описание различных стадий человеческой эволюции.

. Полное собрание работ Дарвина. Включает не только его книги (в том числе и шесть изданий «Происхождения видов»), но и статьи. Личные письма Дарвина можно прочитать на сайте «Проект "Письма Дарвина"»: /.

. Большой веб-сайт, где собраны различные доказательства эволюции.

. Веб-сайт, который изучает и тщательно развенчивает многие заявления креационистов.

. Подборка интернет-ресурсов, собранная Государственным центром научного образования – организацией, посвященной защите преподавания эволюции в американских средних школах. Отслеживает и публикует обновления о непрекращающихся битвах с креационизмом и предоставляет ссылки на множество других сайтов.

. Большой веб-сайт, вдохновленный документальным телесериалом «Эволюция» общественного телевидения PBS, содержит много источников как для учащихся, так и для преподавателей, в том числе обсуждения истории эволюционной мысли, доказательств эволюции, а также теологических и философских тем. Особенно хороши разделы, посвященные эволюции человека.

. Веб-сайт «Палец панды», названный в честь знаменитого эссе Стивена Гулда, сообщает о свежих открытиях в эволюционной биологии, а также о непрекращающемся противостоянии теории эволюции в Америке.

. Полный онлайн-путеводитель по всем аспектам эволюции, включая лучший свод доказательств эволюции на .

Из множества блогов, посвященных эволюции, особенно рекомендую два. Первый – это «Ткацкий станок» (The Loom) (), блог научно-популярного писателя Карла Циммера. Второй – «Эта неделя в эволюции» (This Week in Evolution), блог профессора Корнеллского университета Р. Денисона: . Блог рассказывает о новых открытиях в эволюционной биологии и доступен каждому, кто располагает познаниями в биологии на уровне студента.

Библиография

- Davis, P., and D. H. Kenyon. 1993. *Of Pandas and People: The Central Question of Biological Origins* (2nd ed.). Foundation for Thought and Ethics, Richardson, TX.
- BBC Poll on Evolution. Ipsos MORI. 2006. .
- Berkman, M. B., J. S. Pacheco, and E. Plutzer. 2008. Evolution and creationism in America's schools: A national portrait. *Public Library of Science Biology* 6: e124.
- Harris Poll #52. July 6, 2005. .
- Miller, J. D., E. C. Scott, and S. Okamoto. 2006. Public acceptance of evolution. *Science* 313:765–766.
- Shermer, M. 2006. *Why Darwin Matters: The Case Against Intelligent Design*. Times Books, New York.
- Darwin, C. 1993. *The Autobiography of Charles Darwin* (N. Barlow, ed.). W. W. Norton, New York.
- Hazen, R. M. 2005. *Gen*e*sis: The Scientific Quest for Life's Origin*. Joseph Henry Press, Washington, DC.
- Paley, W. 1802. *Natural Theology; or, Evidences of the Existence and Attributes of the Deity, Collected from the Appearances of Nature*. Parker, Philadelphia.
- Apesteguia, S., and H. Zaher. 2006. A Cretaceous terrestrial snake with robust hindlimbs and a sacrum. *Nature* 440:1037–1040.
- Chaline, J., B. Laurin, P. Brunet-Lecomte, and L. Viriot. 1993. Morphological trends and rates of evolution in arvicolids (Arvicolidae, Rodentia): Towards a punctuated equilibria/disequilibria model. *Quaternary International* 19:27–39.
- Chen, J. Y., D. Y. Huang, and C. W. Li. 1999. An early Cambrian craniate-like chordate. *Nature* 402:518–522.
- Daeschler, E. B., N. H. Shubin, and F. A. Jenkins. 2006. A Devonian tetrapod-like fish and the evolution of the tetrapod body plan. *Nature* 440:757–763.
- Dial, K. P. 2003. Wing-assisted incline running and the evolution of flight. *Science* 299:402–404.
- Graur, D., and D. G. Higgins. 1994. Molecular evidence for the inclusion of cetaceans within the order Artiodactyla. *Molecular Biology and Evolution* 11:357–364.
- Hedman, M. 2007. *The Age of Everything: How Science Explores the Past*. University of Chicago Press, Chicago.
- Hopson, J. A. 1987. The mammal like reptiles: A study of transitional fossils. *American Biology Teacher* 49:16–26.
- Ji, Q., M. A. Norell, K. Q. Gao, S. A. Ji, and D. Ren. 2001. The distribution of integumentary structures in a feathered dinosaur. *Nature* 410:1084–1088.
- Kellogg, D. E., and J. D. Hays. 1975. Microevolutionary patterns in Late Cenozoic Radiolaria. *Paleobiology* 1:150–160.
- Lazarus, D. 1983. Speciation in pelagic protista and its study in the planktonic microfossil record: A review. *Paleobiology* 9:327–340.
- Li, Y., L.-Z. Chen et al. 1999. Lower Cambrian vertebrates from South China. *Nature* 402:42–46.

Malmgren, B. A., and J. P. Kennett. 1981. Phyletic gradualism in a late Cenozoic planktonic foraminiferal lineage; DSDP site 284, southwest Pacific. *Paleobiology* 7:230-240.

Norell, M. A., J. M. Clark, L. M. Chiappe, and D. Dashzeveg. 1995. A nesting dinosaur. *Nature* 378:774-776.

Organ, C. L., M. H. Schewitzer, W. Zheng, L. M. Freimark, L. C. Cantley, and J. M. Asara. 2008. Molecular phylogenetics of *Mastodon* and *Tyrannosaurus rex*. *Science* 320:499.

Peyer, K. 2006. A reconsideration of *Compsognathus* from the upper Tithonian of Canjers, Southern France. *Journal of Vertebrate Paleontology* 26:879-896.

Prum, R. O., and A. H. Brush. 2002. The evolutionary origin and diversification of feathers. *Quarterly Review of Biology* 77:261-295.

Sheldon, P. 1987. Parallel gradualistic evolution of Ordovician trilobites. *Nature* 330:561-563.

Shipman, P. 1998. *Taking Wing: Archaeopteryx and the Evolution of Bird Flight*. Weidenfeld & Nicolson, London.

Shu, D. G., H. L. Luo, S. C. Morris, X. L. Zhang, S. X. Hu, L. Chen, J. Han, M. Zhu, Y. Li, and L. Z. Chen. 1999. Lower Cambrian vertebrates from South China. *Nature* 402:42-46.

Shu, D. G., S. C. Morris, J. Han, Z. F. Zhang, K. Yasui, P. Janvier, L. Chen, X. L. Zhang, J. N. Liu, Y. Li, and H. Q. Liu. 2003. Head and backbone of the Early Cambrian vertebrate *Haikouichthys*. *Nature* 421:526-529.

Shubin, N. H., E. B. Daeschler, and F. A. Jenkins. 2006. The pectoral fin of *Tiktaalik roseae* and the origin of the tetrapod limb. *Nature* 440:764-771.

Sutera, R. 2001. The origin of whales and the power of independent evidence. *Reports of the National Center for Science Education* 20:33-41.

Thewissen, J. G. M., L. N. Cooper, M. T. Clementz, S. Bajpail, and B. N. Tiwari. 2007. Whales originated from aquatic artiodactyls in the Eocene epoch of India. *Nature* 450:1190-1194.

Wells, J. W. 1963. Coral growth and geochronometry. *Nature* 187:948-950.

Wilson, E. O., F. M. Carpenter, and W. L. Brown. 1967. First Mesozoic ants. *Science* 157:1038-1040.

Xu, X., and M. A. Norell. 2004. A new troodontid dinosaur from China with avianlike sleeping posture. *Nature* 431:838-841.

Xu, X., X.-L. Wang, and X.-C. Wu. 1999. A dromaeosaurid dinosaur with a filamentous integument from the Yixian Formation of China. *Nature* 401:262-266.

Xu, X., Z. H. Zhou, X.-L. Wang, X. W. Kuang, F. C. Zhang, and X. K. Du. 2003. Four-winged dinosaurs from China. *Nature* 421:335-340.

Andrews, R. C. 1921. A remarkable case of external hind limbs in a humpback whale. *American Museum Novitates* 9:1-6.

Bannert, N., and R. Kurth. 2004. Retroelements and the human genome: New perspectives on an old relation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101:14572-14579.

Bar-Maor, J. A., K. M. Kesner, and J. K. Kaftori. 1980. Human tails. *Journal of Bone and Joint Surgery* 62:508-10.

- Behe, M. 1996. *Darwin's Black Box*. Free Press, New York.
- Bejder, L., and B. K. Hall. 2002. Limbs in whales and limblessness in other vertebrates: Mechanisms of evolutionary and developmental transformation and loss. *Evolution and Development* 4:445-458.
- Brawand D., W. Wahli, and H. Kaessmann. 2008. Loss of egg yolk genes in mammals and the origin of lactation and placentation. *Public Library of Science Biology* 6 (3):e63.
- Chen, Y. P., Y. D. Zhang, T. X. Jiang, A. J. Barlow, T. R. St Amand, Y. P. Hu, S. Heaney, P. Francis-West, C. M. Chuong, and R. Maas. 2000. Conservation of early odontogenic signaling pathways in Aves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97:10044-10049.
- Dao, A. H., and M. G. Netsky. 1984. Human tails and pseudotails. *Human Pathology* 15:449-453.
- Dobzhansky, T. 1973. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *American Biology Teacher* 35:125-129.
- Friedman, M. 2008. The evolutionary origin of flatfish asymmetry. *Nature* 454: 209-212.
- Gilad, Y., V. Wiebe, M. Przeworski, D. Lancet, and S. Pääbo. 2004. Loss of olfactory receptor genes coincides with the acquisition of full trichromatic vision in primates. *Public Library of Science Biology* 2:120-125.
- Gould, S. J. 1994. *Hen's Teeth and Horses' Toes: Further Reflections in Natural History*. W. W. Norton, New York.
- Hall, B. K. 1984. Developmental mechanisms underlying the formation of atavisms. *Biological Reviews* 59:89-124.
- Harris, M. P., S. M. Hasso, M. W. J. Ferguson, and J. F. Fallon. 2006. The development of archosaurian first-generation teeth in a chicken mutant. *Current Biology* 16:371-377.
- Johnson, W. E., and J. M. Coffin. 1999. Constructing primate phylogenies from ancient retrovirus sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96:10254-10260.
- Kishida, T., S. Kubota, Y. Shirayama, and H. Fukami. 2007. The olfactory receptor gene repertoires in secondary-adapted marine vertebrates: Evidence for reduction of the functional proportions in cetaceans. *Biology Letters* 3:428-430.
- Kollar, E. J., and C. Fisher. 1980. Tooth induction in chick epithelium: Expression of quiescent genes for enamel synthesis. *Science* 207:993-995.
- Krause, W. J., and C. R. Leeson. 1974. The gastric mucosa of 2 monotremes: The duck-billed platypus and echidna. *Journal of Morphology* 142:285-299.
- Medstrand, P., and D. L. Mager. 1998. Human-specific integrations of the HERV-K endogenous retrovirus family. *Journal of Virology* 72:9782-9787.
- Larsen, W. J. 2001. *Human Embryology* (3rd ed.). Churchill Livingstone, Philadelphia.
- Niimura, Y., and M. Nei. 2007. Extensive gains and losses of olfactory receptor genes in mammalian evolution. *Public Library of Science ONE* 2: e708.
- Nishikimi, M., R. Fukuyama, S. Minoshima, N. Shimizu, and K. Yagi. 1994. Cloning and chromosomal mapping of the human nonfunctional gene for L-gulonono- γ -lactone oxidase, the enzyme for L-ascorbic-acid biosynthesis missing in man. *Journal of Biological Chemistry* 269:13685-13688.
- Niskikimi, M., and K. Yagi. 1991. Molecular basis for the deficiency in humans of gulonolactone oxidase, a key enzyme for ascorbic acid biosynthesis. *American Journal of*

Clinical Nutrition 54:1203S–1208S.

Ohta, Y., and M. Nishikimi. 1999. Random nucleotide substitutions in primate nonfunctional gene for L-gulonono- γ -lactone oxidase, the missing enzyme in γ -ascorbic acid biosynthesis. *Biochimica et Biophysica Acta* 1472:408–411.

Ordoñez, G. R., L. W. Hiller, W. C. Warren, F. Grutzner, C. Lopez-Otin, and X. S. Puente. 2008. Loss of genes implicated in gastric function during platypus evolution. *Genome Biology* 9: R81.

Richards, R. J. 2008. *The Tragic Sense of Life: Ernst Haeckel and the Struggle over Evolution*. University of Chicago Press, Chicago.

Romer, A. S., and T. S. Parsons. 1986. *The Vertebrate Body*. Sanders College Publishing, Philadelphia.

Sadler, T. W. 2003. *Langman's Medical Embryology* (9th ed.). Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.

Sanyal, S., H. G. Jansen, W. J. de Grip, E. Nevo, and W. W. de Jong. 1990. The eye of the blind mole rat, *Spalax ehrenbergi*. Rudiment with hidden function? *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 31:1398–1404.

Shubin, N. 2008. *Your Inner Fish*. Pantheon, New York.

Rouquier, S., A. Blancher, and D. Giorgi. 2000. The olfactory receptor gene repertoire in primates and mouse: Evidence for reduction of the functional fraction in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States America* 97:2870–2874.

Von Baer, K. E. 1828. *Entwicklungsgeschichte der Thiere: Beobachtung und Reflexion* (vol. 1). Königsberg, Bornträger.

Zhang, Z. L., and M. Gerstein. 2004. Large-scale analysis of pseudogenes in the human genome. *Current Opinion in Genetics & Development* 14:328–335.

Barber, H. N., H. E. Dadswell, and H. D. Ingle. 1959. Transport of driftwood from South America to Tasmania and Macquarie Island. *Nature* 184:203–204.

Brown, J. H., and M. V. Lomolino. 1998. *Biogeography*. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Browne, J. 1983. *The Secular Ark: Studies in the History of Biogeography*. Yale University Press, New Haven and London.

Carlquist, S. 1974. *Island Biology*. Columbia University Press, New York.

_____. 1981. Chance dispersal. *American Scientist* 69:509–516.

Censky, E. J., K. Hodge, and J. Dudley. 1998. Over-water dispersal of lizards due to hurricanes. *Nature* 395:556.

Goin, F. J., J. A. Case, M. O. Woodburne, S. F. Vizcaino, and M. A. Reguero. 2004. New discoveries of "opposum-like" marsupials from Antarctica (Seymour Island, Medial Eocene). *Journal of Mammalian Evolution* 6:335–365.

Guilmette, J. E., E. P. Holzapfel, and D. M. Tsuda. 1970. Trapping of air-borne insects on ships in the Pacific (Part 8). *Pacific Insects* 12:303–325.

Holzapfel, E. P., and J. C. Harrell. 1968. Transoceanic dispersal studies of insects. *Pacific Insects* 10:115–153.

_____. 1970. Trapping of air-borne insects in the Antarctic area (Part 3). *Pacific Insects* 12:133–156.

McLoughlin, S. 2001. The breakup history of Gondwana and its impact on pre-Cenozoic floristic provincialism. *Australian Journal of Botany* 49:271-300.

Reinhold, R. March 21, 1982. Antarctica yields first land mammal fossil. *New York Times*. Woodburne, M. O., and J. A. Case. 1996. Dispersal, vicariance, and the Late Cretaceous to early tertiary land mammal biogeography from South America to Australia. *Journal of Mammalian Evolution* 3:121-161.

Yoder, A. D., and M. D. Nowak. 2006. Has vicariance or dispersal been the predominant biogeographic force in Madagascar? Only time will tell. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37:405-431.

Carroll, S. P., and C. Boyd. 1992. Host race radiation in the soapberry bug: Natural history with the history. *Evolution* 46:1052-1069.

Dawkins, R. 1996. *Climbing Mount Improbable*. Penguin, London.

Doebley, J. F., B. S. Gaut, and B. D. Smith. 2006. The molecular genetics of crop domestication. *Cell* 127:1309-1321.

Doolittle, W. F., and O. Zhaxbayeva. 2007. Evolution: Reducible complexity - the case for bacterial flagella. *Current Biology* 17: R510-R512.

Endler, J. A. 1986. *Natural Selection in the Wild*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

Franks, S. J., S. Sim, and A. E. Weis. 2007. Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104:1278-1282.

Gingerich, P. D. 1983. Rates of evolution: Effects of time and temporal scaling. *Science* 222:159-161.

Grant, P. R. 1999. *Ecology and Evolution of Darwin's Finches*. (Rev. ed.) Princeton University Press, Princeton, NJ.

Hall, B. G. 1982. Evolution on a petri dish: The evolved β -galactosidase system as a model for studying acquisitive evolution in the laboratory. *Evolutionary Biology* 15:85-150.

Hoekstra, H. E., R. J. Hirschmann, R. A. Bunday, P. A. Insel, and J. P. Crossland. 2006. A single amino acid mutation contributes to adaptive beach mouse color pattern. *Science* 313:101-104.

Jiang, Y., and R. F. Doolittle. 2003. The evolution of vertebrate blood coagulation as viewed from a comparison of puffer fish and sea squirt genomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100:7527-7532.

Kaufman D. W. 1974. Adaptive coloration in *Peromyscus polionotus*: Experimental selection by owls. *Journal of Mammalogy* 55:271-283.

Lamb, T. D., S. P. Collin, and E. N. Pugh. 2007. Evolution of the vertebrate eye: Opsins, photoreceptors, retina and eye cup. *Nature Reviews Neuroscience* 8:960-975.

Lenski, R. E. 2004. Phenotypic and genomic evolution during a 20,000-generation experiment with the bacterium *Escherichia coli*. *Plant Breeding Reviews* 24:225-265.

Miller, K. R. 1999. *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground Between God and Evolution*. Cliff Street Books, New York.

_____. 2008. *Only a Theory: Evolution and the Battle for America's Soul*. Viking, New York.

Neu, H. C. 1992. The crisis in antibiotic resistance. *Science* 257:1064-1073.

- Nilsson, D.-E., and S. Pelger. 1994. A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 256:53-58.
- Pallen, M. J., and N. J. Matzke. 2006. From *The Origin of Species* to the origin of bacterial flagella. *Nature Reviews Microbiology* 4: 784-790.
- Rainey, P. B., and M. Travisano. 1998. Adaptive radiation in a heterogeneous environment. *Nature* 394:69-72.
- Reznick, D. N., and C. K. Ghalambor. 2001. The population ecology of contemporary adaptations: What empirical studies reveal about the conditions that promote adaptive evolution. *Genetica* 112:183-198.
- Salvini-Plawen, L. V., and E. Mayr. 1977. On the evolution of photoreceptors and eyes. *Evolutionary Biology* 10:207-263.
- Steiner, C. C., J. N. Weber, and H. E. Hoekstra. 2007. Adaptive variation in beach mice produced by two interacting pigmentation genes. *Public Library of Science Biology* 5: e219.
- Vila, C., P. Savolainen, J. E. Maldonado, I. R. Amorim, J. E. Rice, R. L. Honeycutt, K. A. Crandall, J. Lundberg, and R. K. Wayne. 1997. Multiple and ancient origins of the domestic dog. *Science* 276:1687-1689.
- Weiner, J. 1995. *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time*. Vintage, New York.
- Xu, X., and R. F. Doolittle. 1990. Presence of a vertebrate fibrinogen-like sequence in an echinoderm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 87:2097-2101.
- Yanoviak, S. P., M. Kaspari, R. Dudley, and J. G. Poinar. 2008. Parasite-induced fruit mimicry in a tropical canopy ant. *American Naturalist* 171:536-544.
- Zimmer, C. 2001. *Parasite Rex: Inside the Bizarre World of Nature's Most Dangerous Creatures*. Free Press, New York.
- Andersson, M. 1994. *Sexual Selection*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Burley, N. T., and R. Symanski. 1998. "A taste for the beautiful": Latent aesthetic mate preferences for white crests in two species of Australian grassfinches. *American Naturalist* 152:792-802.
- Butler, M. A., S. A. Sawyer, and J. B. Losos. 2007. Sexual dimorphism and adaptive radiation in Anolis lizards. *Nature* 447:202-205.
- Butterfield, N. J. 2000. *Bangiomorpha pubescens* n. gen., n. sp.: Implications for the evolution of sex, multicellularity, and the Mesoproterozoic/Neoproterozoic radiation of eukaryotes. *Paleobiology* 3: 386-404.
- Darwin, C. 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. Murray, London.
- Dunn, P. O., L. A. Whittingham, and T. E. Pitcher. 2001. Mating systems, sperm competition, and the evolution of sexual dimorphism in birds. *Evolution* 55:161-175.
- Endler, J. A. 1980. "Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*." *Evolution* 34:76-91.
- Field, S. A., and M. A. Keller. 1993. Alternative mating tactics and female mimicry as postcopulatory mate-guarding behavior in the parasitic wasp *Cotesia rubecula*. *Animal Behaviour* 46:1183-1189.
- Futuyma, D. J. 1995. *Science on Trial: The Case for Evolution*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

- Hill, G. E. 1991. Plumage coloration is a sexually selected indicator of male quality. *Nature* 350:337-339.
- Husak, J. F., J. M. Macedonia, S. F. Fox, and R. C. Saucedo. 2006. Predation cost of conspicuous male coloration in collared lizards (*Crotaphytus collaris*): An experimental test using clay-covered model lizards. *Ethology* 112:572-580.
- Johnson, P. E. 1993. *Darwin on Trial* (2nd ed.). InterVarsity Press, Downers Grove, IL.
- McFarlan, D. (ed.) 1989. *Guinness Book of World Records*. Sterling Publishing Co., New York.
- Madden, J. R. 2003. Bower decorations are good predictors of mating success in the spotted bowerbird. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 53:269-277.
- _____. 2003. Male spotted bowerbirds preferentially choose, arrange and proffer objects that are good predictors of mating success. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 53:263-268.
- Petrie, M., and T. Halliday. 1994. Experimental and natural changes in the peacock's (*Pavo cristatus*) train can affect mating success. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 35:213-217.
- Petrie, M. 1994. Improved growth and survival of offspring of peacocks with more elaborate trains. *Nature* 371:598-599.
- Petrie, M., T. Halliday, and C. Sanders. 1991. Peahens prefer peacocks with elaborate trains. *Animal Behaviour* 41:323-331.
- Price, C. S. C., K. A. Dyer, and J. A. Coyne. 1999. Sperm competition between *Drosophila* males involves both displacement and incapacitation. *Nature* 400: 449-452.
- Pryke, S. R., and S. Andersson. 2005. Experimental evidence for female choice and energetic costs of male tail elongation in red-collared widowbirds. *Biological Journal of the Linnean Society* 86:35-43.
- Vehrencamp, S. L., J. W. Bradbury, and R. M. Gibson. 1989. The energetic cost of display in male sage grouse. *Animal Behaviour* 38:885-896.
- Wallace, A. R. 1892. Note on sexual selection. *Natural Science Magazine*, p. 749.
- Welch, A. M., R. D. Semlitsch, and H. C. Gerhardt. 1998. Call duration as an indicator of genetic quality in male gray tree frogs. *Science* 280:1928-1930.
- Abbott, R. J., and A. J. Lowe. 2004. Origins, establishment and evolution of new polyploid species: *Senecio cambrensis* and *S. eboracensis* in the British Isles. *Biological Journal of the Linnean Society* 82:467-474.
- Adam, P. 1990. *Saltmarsh Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ainouche, M. L., A. Baumel, and A. Salmon. 2004. *Spartina anglica* C. E. Hubbard: A natural model system for analysing early evolutionary changes that affect allopolyploid genomes. *Biological Journal of the Linnean Society* 82: 475-484.
- Ainouche, M. L., A. Baumel, A. Salmon, and G. Yannic. 2004. Hybridization, polyploidy and speciation in *Spartina* (Poaceae). *New Phytologist* 161:165-172.
- Byrne, K., and R. A. Nichols. 1999. *Culex pipiens* in London Underground tunnels: Differentiation between surface and subterranean populations. *Heredity* 82:7-15.
- Clayton, N. S. 1990. Mate choice and pair formation in Timor and Australian mainland zebra finches. *Animal Behaviour* 39:474-480.
- Coyne, J. A., and H. A. Orr. 1989. Patterns of speciation in *Drosophila*. *Evolution* 43:362-381.

- _____. 1997. "Patterns of speciation in *Drosophila*" revisited. *Evolution* 51:295–303.
- _____. 2004. *Speciation*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Coyne, J. A., and T. D. Price. 2000. Little evidence for sympatric speciation in island birds. *Evolution* 54:2166–2171.
- Dodd, D. M. B. 1989. Reproductive isolation as a consequence of adaptive divergence in *Drosophila pseudoobscura*. *Evolution* 43: 1308–1311.
- Gallardo, M. H., C. A. Gonzalez, and I. Cebrian. 2006. Molecular cytogenetics and allotetraploidy in the red vizcacha rat, *Tympanoctomys barrerae* (Rodentia, Octodontidae). *Genomics* 88:214–221.
- Haldane, J. B. S. Natural selection. Pp. 101–149 in P. R. Bell, ed., *Darwin's Biological Work: Some Aspects Reconsidered*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Johnson, S. D. 1997. Pollination ecotypes of *Satyrium hallackii* (Orchidaceae) in South Africa. *Botanical Journal of the Linnean Society* 123:225–235.
- Kent, R. J., L. C. Harrington, and D. E. Norris. 2007. Genetic differences between *Culex pipiens* f. *molestus* and *Culex pipiens pipiens* (Diptera: Culicidae) in New York. *Journal of Medical Entomology* 44:50–59.
- Knowlton, N., L. A. Weigt, L. A. Solórzano, D. K. Mills, and E. Bermingham. 1993. Divergence in proteins, mitochondrial DNA, and reproductive compatibility across the Isthmus of Panama. *Science* 260:1629–1632.
- Losos, J. B., and D. Schluter. 2000. Analysis of an evolutionary species-area relationship. *Nature* 408:847–850.
- Mayr, E. 1942. *Systematics and the Origin of Species*. Columbia University Press, New York.
- _____. 1963. *Animal Species and Evolution*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Pinker, S. 1994. *The Language Instinct: The New Science of Language and Mind*. HarperCollins, New York.
- Ramsey, J. M., and D. W. Schemske. 1998. The dynamics of polyploid formation and establishment in flowering plants. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 29:467–501.
- Savolainen, V., M.-C. Anstett, C. Lexer, I. Hutton, J. J. Clarkson, M. V. Norup, M. P. Powell, D. Springate, N. Salamin, and W. J. Baker. 2006. Sympatric speciation in palms on an oceanic island. *Nature* 441:210–213.
- Schliewen, U. K., D. Tautz, and S. Pääbo. 1994. Sympatric speciation suggested by monophyly of crater lake cichlids. *Nature* 368:629–632.
- Weir, J., and R. Ingram. 1980. Ray morphology and cytological investigations of *Senecio cambrensis* Rosser. *New Phytologist* 86:237–241.
- Xiang, Q.-Y., D. E. Soltis, and P. S. Soltis. 1998. The eastern Asian and eastern and western North American floristic disjunction: Congruent phylogenetic patterns in seven diverse genera. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 10:178–190.
- Barbujani, G., A. Magagni, E. Minch, and L. L. Cavalli-Sforza. 1997. An apportionment of human DNA diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94:4516–4519.
- Bradbury, J. 2004. Ancient footsteps in our genes: Evolution and human disease. *Lancet* 363:952–953.

Brown, P., T. Sutikna, M. J., Morwood, R. P. Soejono, E. Jatmiko, E. W. Saptomo, and R. A. Due. 2004. A new small-bodied hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia. *Nature* 431:1055-1061.

Brunet, M., et al. 2002. A new hominid from the Upper Miocene of Chad, central Africa. *Nature* 418:145-151.

Bustamante, C. D., et al. 2005. Natural selection on protein-coding genes in the human genome. *Nature* 437:1153-1157.

Dart R. A. 1925. *Astralopithecus africanus*: The Man-Ape of South Africa. *Nature* 115:195-199.

Dart, R. A. (with D. Craig). 1959. *Adventures with the Missing Link*. Harper, New York.

Davis, P., and D. H. Kenyon. 1993. *Of Pandas and People: The Central Question of Biological Origins* (2nd ed.). Foundation for Thought and Ethics, Richardson, TX.

Demuth, J. P., T. D. Bie, J. E. Stajich, N. Cristianini, and M. W. Hahn. 2007. The evolution of mammalian gene families. *Public Library of Science ONE*. 1: e85.

Enard, W., M. Przeworski, S. E. Fisher, C. S. L. Lai, V. Wiebe, T. Kitano, A. P. Monaco, and S. Pääbo. 2002. Molecular evolution of *FOXP2*, a gene involved in speech and language. *Nature* 418:869-872.

Enard, W., and S. Pääbo. 2004. Comparative primate genomics. *Annual Review of Genomics and Human Genetics* 5:351-378.

Enattah, N. S., T. Sahi, E. Savilahti, J. D. Terwilliger, L. Peltonen, and I. Jarvela. 2002.

Identification of a variant associated with adult-type hypolactasia. *Nature Genetics* 30:233-237.

Freyer, D. W., M. H. Wolpoff; A. G. Thorne, F. H. Smith, and G. G. Pope. 1993. Theories of modern human origins: The Paleontological Test 1993. *American Anthropologist* 95:14-50.

Gould, S. J. 1981. *The Mismeasure of Man*. W. W. Norton, New York.

The Gallup Poll: Evolution, Creationism, and Intelligent Design. .

Johanson, D. C., and M. A. Edey. 1981. *Lucy: The Beginnings of Humankind*. Simon & Schuster, New York.

Jones, S. 1995. *The Language of Genes*. Anchor, London.

King, M. C., and A. C. Wilson. 1975. Evolution at two levels in humans and chimpanzees. *Science* 188:107-116.

Kingdon, J. 2003. *Lowly Origin: Where, When, and Why Our Ancestors First Stood Up*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

Lamason, R. L., et al. 2005. SLC24A5, a putative cation exchanger, affects pigmentation in zebrafish and humans. *Science* 310:1782-1786.

Lewontin, R. C. 1972. The apportionment of human diversity. *Evolutionary Biology* 6:381-398.

Miller, C. T., S. Beleza, A. A. Pollen, D. Schluter, R. A. Kittles, M. D. Shriver, and D. M. Kingsley. 2007. cis-Regulatory changes in kit ligand expression and parallel evolution of pigmentation in sticklebacks and humans. *Cell* 131:1179-1189.

Morwood, M. J., et al. 2004. Archaeology and age of a new hominin from Flores in eastern Indonesia. *Nature* 431:1087-1091.

Mulder, M. B. 1988. Reproductive success in three Kipsigis cohorts. Pp. 419-435 in T. H. Clutton-Brock, ed., *Reproductive Success: Studies of Individual Variation in Contrasting Breeding Systems*. University of Chicago Press, Chicago.

Obendorf, P. J., C. E. Oxnard, and B. J. Kefford. 2008. Are the small human-like fossils found on Flores human endemic cretins? *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 275:1287-1296.

Perry, G. H., et al. 2007. Diet and the evolution of human amylase gene copy number variation. *Nature Genetics* 39:1256-1260.

Pinker, S. 1994. *The Language Instinct: The New Science of Language and Mind*. HarperCollins, New York.

_____. 2008. Have humans stopped evolving? .

Richmond, B. G., and W. L. Jungers. 2008. *Orrorin tugenensis* femoral morphology and the evolution of hominin bipedalism. *Science* 319:1662-1665.

Rosenberg, N. A., J. K. Pritchard, J. L. Weber, H. M. Cann, K. K. Kidd, L. A. Zhivotovsky, and M. W. Feldman. 2002. Genetic structure of human populations. *Science* 298:2381-2385.

Sagan, Carl. 2000. *Carl Sagan's Cosmic Connection: An Extraterrestrial Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Suwa, G., R. T. Kono, S. Katoh, B. Asfaw, and Y. Beyene. 2007. A new species of great ape from the late Miocene epoch in Ethiopia. *Nature* 448:921-924.

Tishkoff, S. A., et al. 2007. Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe. *Nature Genetics* 39:31-40.

Tocheri, M. W., C. M. Orr, S. G. Larson, T. Sutikna, Jatmiko, E. W. Saptomo, R. Due, T. Djubiantono, M. J. Morwood, and W. L. Jungers. 2007. The primitive wrist of *Homo floresiensis* and its implications for hominin evolution. *Science* 317:1743-1745.

Wood, B. 2002. Hominid revelations from Chad. *Nature* 418:133-135.

Brown, D. E. *Human Universals*. 1991. Temple University Press, Philadelphia.

Coulter, A. 2006. *Godless: The Church of Liberalism*. Crown Forum (Random House), New York.

Dawkins, R. 1998. *Unweaving the Rainbow: Science, Delusion, and the Appetite for Wonder*. Houghton Mifflin, New York.

Einstein, A. 1999. *The World as I See It*. Citadel Press, Secaucus, NJ.

Feynman, R. 1983. *The Pleasure of Finding Things Out*. Public Broadcasting System television program Nova.

Harvard University Press author forum. Interview with Michael Ruse and J. Scott Turner. "Off the Page." .

McEwan, I. 2007. End of the world blues. Pp. 351-365 in C. Hitchens, ed., *The Portable Atheist*. Da Capo Press, Cambridge, MA.

Miller, G. 2000. *The Mating Mind: How Sexual Choice Shaped the Evolution of Human Nature*. Doubleday, New York.

Pearcey, N. 2004. Darwin meets the Berenstain bears: Evolution as a total worldview. Pp. 53-74 in W. A. Dembski, ed., *Uncommon Dissent: Intellectuals Who Find Darwinism Unconvincing*. ISI Books, Wilmington, DE.

Pinker, S. 1994. *The Language Instinct: The New Science of Language and Mind*. HarperCollins, New York.

_____. 2000. Survival of the clearest. *Nature* 404:441–442.

_____. 2003. *The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature*. Penguin, New York.

Price, J., L. Sloman, R. Gardner, P. Gilber, and P. Rohde. 1994. The social competition hypothesis of depression. *British Journal of Psychiatry* 164:309–315.

Thornhill, R., and C. T. Palmer. 2000. *A Natural History of Rape: Biological Bases of Sexual Coercion*. MIT Press, Cambridge, MA.

Wilson, E. O. 1975. *Sociobiology: The New Synthesis*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA.

Список иллюстраций

Рис. 1-3: рисунки Каллиопа Монойос.

Рис. 4: рисунки Каллиопа Монойос по: Malmgren and Kennett (1981).

Рис. 5: рисунки Каллиопа Монойос по: Kellogg and Hays (1975).

Рис. 6: рисунки Каллиопа Монойос по: Sheldon (1987).

Рис. 7: рисунки Каллиопа Монойос по: Kellogg and Hays (1975).

Рис. 8: рисунки Каллиопа Монойос.

Рис. 9: рисунок Каллиопа Монойос (*Compsognathus* по: Peyer 2006).

Рис. 10а: рисунок *Sinornithosaurus* Мика Эллисона, воспроизведенный с разрешения автора; ископаемое – с разрешения Американского музея естественной истории.

Рис. 10б: Рисунок *Microraptor* Каллиопа Монойос; ископаемое – с разрешения Американского музея естественной истории.

Рис. 11. Рисунок *Mei long* Мика Эллисона, воспроизведенный с разрешения автора; ископаемое – с разрешения Американского музея естественной истории; фотография воробья любезно предоставлена Хосе Луисом Сансом, Мадридский автономный университет.

Рис. 12: рисунки Каллиопа Монойос.

Рис. 13: рисунки Каллиопа Монойос по: Wilson et al. (1967).

Рис. 14: рисунки Каллиопа Монойос, фотографии хвостов по: Bar-Maor et al. (1980), воспроизведенные с разрешения *Journal of Bone and Joint Surgery*.

Рис. 15: фотография полосатого данио предоставлена д-ром Викторией Принс, фотографии человеческих эмбрионов предоставлены Национальным музеем здоровья и медицины.

Рис. 16: рисунки Каллиопа Монойос.

Рис. 17: рисунки Алисон Э. Бёрк.

Рис. 18: фотографии д-ра Ивана Мишека, опубликованные с разрешения автора.

Рис. 19: рисунки Алисон Э. Бёрк.

Рис. 20: рисунки Каллиопа Монойос.

Рис. 21: рисунки Каллиопа Монойос, распространение ископаемых по: McLoughlin (2001).

Рис. 22, 23: рисунки Каллиопа Монойос.

Рис. 24: рисунки Каллиопа Монойос по: Wood (2002).

Рис. 25-27: рисунки Каллиопа Монойос.

1

«Мастеру, лучшему, чем я» (итал.). – *Прим. ред.*

Здесь и ниже автор, употребляя термин «дарвинизм», имеет в виду современную эволюционную биологию (синтетическую теорию эволюции) (см. примечание 1). – *Прим. науч. ред.*

Здесь и далее цитаты из «Происхождения видов» приводятся по изданию: Дарвин Ч. Сочинения. Т. 3 / Пер. К.А. Тимирязева при участии М.А. Мензбира, А.П. Павлова и А.И. Петровского. – М.: Изд-во АН СССР, 1939. – *Прим. ред.*

В научной литературе используется термин «последний универсальный общий предок» или сокращенно LUCA (Last universal common ancestor). О существовании подобного организма впервые высказал предположение Дарвин в «Происхождении видов»: «Мы должны допустить, что и все органические существа, когда-либо жившие на Земле, могли произойти от одной первобытной формы». – *Прим. науч. ред.*

Филогенетическое древо (эволюционное древо) – графическое изображение хода исторического развития и родственных связей разных групп организмов. – *Прим. ред.*

Дарвин в «Происхождении видов» описывает принцип такой древовидной иерархии: от толстых стволов (высоких таксономических единиц, таких как надцарство, тип и т. д.) отходят более тонкие ветви (семейство, род и т. д.), на самых кончиках которых и будут «находиться» отдельные виды. – *Прим. науч. ред.*

Рога носорога в отличие от рогов парнокопытных не представляют собой костные выросты черепа, а образованы тончайшими слоями кератина, того же белка, из которого состоят волосы, перья и копыта животных. – *Прим. науч. ред.*

Изменение частоты встречаемости генов в популяции под действием случайных факторов. – *Прим. ред.*

Литосферные плиты – крупный (несколько тысяч километров в поперечнике) блок земной коры и верхнего твердого слоя верхней мантии, из которых сложена литосфера – твердая оболочка Земли. – *Прим. ред.*

Процесс, при котором происходит превращение останков умерших животных и растений в ископаемые путем замещения органических веществ минеральными, называется фоссилизация (от лат. fossilis – ископаемый). – *Прим. ред.*

Для сохранения мягких частей тела или тонких структур (таких как перья или лапки членистоногих) требуются особые условия – животные должны были быть моментально погребены (например, под илом или пеплом) в бескислородной среде. Такие типы захоронений называются лагерштетты (например, знаменитые сланцы Бёрджес). – *Прим. науч. ред.*

Николас Стено, также называемый Нильс Стенсен и Николай Стенон (1638–1686), – датский анатом и биолог. – *Прим. пер.*

Голоцен – последняя эпоха четвертичного периода (2,588 млн лет назад – настоящее время). – *Прим. науч. ред.*

Кумранские рукописи – совокупность древних религиозных манускриптов, обнаруженных в пещерах Кумрана, а также в ряде других пещер Иудейской пустыни. Хранятся в так называемом Храме Книги в Иерусалиме. – *Прим. ред.*

Прокоптодон (гигантский короткомордый кенгуру) – род вымерших
плейстоценовых сумчатых, открытый Ричардом Оуэном. – *Прим. науч. ред.*

Кистепёрые рыбы – надотряд лопастепёрых рыб. Почти полностью вымерли, и только семейство латимериевые представлено ныне живущим видом. Имеют парные плавники, основанием которых служит мясистая, вытянутая, покрытая крупной чешуей лопасть, на конце которой располагаются лучи плавника. Плавники снабжены внутренним скелетом, состоящим из нескольких разветвленных в форме кисти костей. Кистепёрые большую часть времени проводили на дне, по которому передвигались, опираясь на плавники. До начала XX в. кистепёрые считались вымершей группой. В 1938 г. в устье реки в Южной Африке была поймана живая кистепёрая рыба, которую назвали латимерией. Позже была открыта популяция из 500 особей кистепёрых рыб близ Коморских островов. Латимерий в научно-популярной литературе могут называть целакантами. – *Прим. ред.*

Подобную схему «Эволюция, сжатая до трех дней», излагает главный герой романа Джона Апдайка «Кентавр» на уроке биологии. – *Прим. пер.*

У высших форм трилобитов задние сегменты сливаются (хотя границы их хорошо различимы), образуя так называемый пигидиальный щит, или пигидий. Пигидий имеется у большинства, хотя и не у всех трилобитов. – *Прим. ред.*

Зольнхофенский известняк – название природного камня, твердого мраморизованного плиточного известняка, добываемого в местечке Зольнхофен, Германия. Этот самый плотный известняк в мире образовался в верхнеюрском периоде около 150 млн лет назад в виде слоистых осадочных пород в периодически затопляемых морской водой лагунах. В промышленности и торговле называется также мрамором. Отделочный строительный материал, часто используется в эксклюзивных проектах. – *Прим. ред.*

Список особенностей, сближающих археоптерикса с птицами на самом деле несколько длиннее: к перечисленным добавляются асимметричность перьев, полулунная кость запястья, удлинённая и направленная назад лобковая кость и т. д. – *Прим. ред.*

Морские свиньи (*Phocoena phocoena*) – млекопитающие, относящиеся к отряду китообразных (не следует путать с грызуном морской свинкой). – *Прим. науч. ред.*

Название отряду дано за наличие у этих животных развитых третьего и четвертого пальцев, окончания которых, как башмаком, покрыты толстым роговым копытом. Второй и пятый пальцы недоразвиты, а первый – редуцирован. – *Прим. ред.*

В Египте находится Долина китов (Вади-аль-Хитан), где были найдены многочисленные ископаемые остатки древних китов, которые помогли реконструировать эволюцию этих млекопитающих. Это удивительное место внесено в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. – *Прим. науч. ред.*

Эволюционная радиация – термин, используемый биологами и палеонтологами для описания быстрых (в геологических масштабах) и массовых возрастных разнообразия видов вследствие адаптивных изменений или открывшихся ранее недоступных экологических ниш. Наиболее известный пример эволюционной радиации – увеличение разнообразия плацентарных млекопитающих сразу после вымирания динозавров в конце мелового периода. – *Прим. ред.*

Велень – лучший сорт пергамента. Основное отличие от обычного пергамента – используемые в производстве материалы и качество выделки. – *Прим. ред.*

Интродуцированный вид – чужеродный для данной территории, преднамеренно или случайно завезенный на новое место в результате человеческой деятельности. Часто интродуцированные виды сильно влияют на сложившуюся экосистему региона и становятся причиной значительного сокращения численности или даже вымирания отдельных видов местной флоры и фауны. – *Прим. ред.*

Ромер А., Парсонс Т. Анатомия позвоночных. В 2 т. – М: Мир, 1992.

Экспрессия генов (от лат. *expressio* – выражение) – это процесс, в результате которого информация от гена (последовательность нуклеотидов ДНК) через синтез РНК преобразуется в функциональный продукт – белок. – *Прим. ред.*

Ретровирусы (от лат. *retro* – обратный) – семейство РНК-содержащих вирусов. После инфицирования клетки ретровирусом в цитоплазме начинается синтез вирусной ДНК с использованием вирионной РНК в качестве матрицы, а затем на матрице синтезированной нити ДНК достраивается комплементарная ей нить. Образуется двунитевая молекула ДНК, которая интегрируется в ДНК клетки и далее служит матрицей для синтеза молекул вирусных РНК. – *Прим. ред.*

Инволюция – утрата отдельных органов или их функций (за счет упрощения их организации) в процессе эволюции. – *Прим. науч. ред.*

Бесчелюстные – надкласс хордовых животных. Отличаются от всех позвоночных отсутствием настоящих челюстей. Это древнейшая группа хордовых, широко распространенная в силуре и девоне. В современной фауне из бесчелюстных сохранились только представители класса круглоротых – миноги и миксины. –
Прим. ред.

Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор // Дарвин Ч. Сочинения. Т. 5/
Под ред. акад. Е.Н. Павловского. – М.: Изд-во АН СССР, 1953.

Остроклювые земляные вьюрки (подвид *Geospiza difficilis septentrionalis*) пьют кровь, например голубоногой олуши, клювом отщипывая кожу у основания хвостовых перьев, пока рана не начнет кровоточить. При этом жертвы практически не сопротивляются, возможно, потому, что в промежутках между высасыванием крови вьюрки выклеивают у них из перьев паразитов. Благодаря вампиризму вьюрки успешно выживают даже в самые сухие месяцы. В их рацион входят зерна, растительность и яйца олуш, а питье крови – это адаптация к островной жизни. – *Прим. ред.*

Субфосильные останки – останки считаются субфосильными, если разрушение органической компоненты и ее замещение минеральным веществом прошли не полностью, также исходя из их возраста, и если останки относятся к ныне существующим видам либо к вымершим уже в историческое время. – *Прим. ред.*

Пер. с англ. Терджимана Кыргызлы. – *Прим. ред.*

Пер. с англ. Терджимана Кыргызлы. – *Прим. ред.*

Амиши – религиозное движение, зародившееся XVII в. как самое консервативное направление в меннонитстве и затем ставшее отдельной протестантской религиозной деноминацией. В настоящее время большинство амишей проживает в США и Канаде. – *Прим. ред.*

Данкеры - направление в протестантизме. Секта была основана в 1708 г. и быстро распространилась в Германии, Нидерландах и Швейцарии. В настоящее время существует только на территории США. – *Прим. ред.*

Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор; Под ред. акад. Е.Н. Павловского. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – Т. 5.

Более правильное название – полынный тетерев. Шалфейный, по сути, – давняя ошибка перевода. Но в старых классических руководствах по орнитологии принято название шалфейный, поэтому мы приводим оба названия, тем не менее отдавая предпочтение полынному. – *Прим. ред.*

Варианса – показатель, характеризующий изменчивость признака. – *Прим. ред.*

Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор: В 2-х кн. / Пер. И. Сеченова. – М.: Терра-Книжный клуб, 2009.

Виды-двойники, или криптические виды, – виды, которые не различаются по морфологическим признакам, но между ними существует репродуктивный барьер. – *Прим. науч. ред.*

Дивергенция в биологии – расхождение признаков и свойств у первоначально близких групп организмов в ходе эволюции. – *Прим. ред.*

Пер. В. Полищук. У.С. Гилберт и А. Салливан – английские драматург и композитор, создавшие во второй половине XIX в. четырнадцать комических опер, зачастую содержащих шутки на злобу дня. «Принцесса Ида» (1884) – история сказочной принцессы, сбежавшей от жениха и основавшей в неприступном замке женский колледж. – *Прим. пер.*

Трансвааль – бывшая провинция ЮАР. В настоящее время территория Трансвааля поделена между провинциями Мпумаланга, Лимпопо и Гаутенг, а также частично Северо-Западом. – *Прим. ред.*

Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор: В 2-х кн. Т. 2. С. 362.

Там же. С. 367.

Ли́ки – семья палеоантропологов, сыгравших ключевую роль в поисках останков древнейшего человека в Восточной Африке. – *Прим. ред.*

Банту – этнические группы, проживающие на территории Африки южнее Сахары (так называемой Черной Африки). – *Прим. науч. ред.*

«Монгольская складка», эпикантус – складка у внутреннего угла глаза человека, образованная кожей верхнего века и в разной степени прикрывающая слезный бугорок. Характерен для монголоидной расы и некоторых групп негроидной расы. Сильнее развит у детей, чем у взрослых; у женщин встречается чаще, чем у мужчин.

Понятие «коэволюция» было применено экологами для описания координированного развития различных видов, взаимодействующих в экосистеме. В широком смысле биологическая коэволюция (или сопряженная эволюция) – это изменение биологического объекта, вызванное изменением связанного с ним объекта. – *Прим. ред.*

Гемоглобин, не являясь ферментом, принадлежит к тому же классу белков. Гемоглобин называют также почетным ферментом, поскольку исследования его структуры в статике и динамике позволили значительно продвинуться в понимании механизмов функционирования ферментов. – *Прим. ред.*

В этом предложении автор использует игру слов: самые сильные – fittest и самые упитанные fattest. – *Прим. науч. ред.*

Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор: В 2-х кн. / Пер. И. Сеченова. – М.: Терра-Книжный клуб, 2009.

Расплетая радугу: Наука, заблуждения и тяга к чудесам (Unweaving the Rainbow: Science, Delusion and the Appetite for Wonder)

Песня «Let's Misbehave». Пер. В. Полищук. – *Прим. пер. и ред.*

В английском Environment of Evolutionary Adaptedness, или ЕЕА. – *Прим. ред.*

Пер. Юрия Ноткина.

Современную теорию эволюции по-прежнему именуют дарвинизмом (Данная тенденция больше наблюдается в западном научном сообществе. В современной отечественной литературе реже употребляется термин «дарвинизм», а предпочтение отдается термину «синтетическая теория эволюции» (или ее синониму «современная эволюционная теория»). – *Прим. науч. ред.*), хотя она уже успела зайти гораздо дальше того, что изначально предположил Дарвин (который, к примеру, понятия не имел о ДНК или мутациях). Такое присвоение имени в честь какого-либо ученого в науке редкость: ведь мы не называем классическую физику ньютонизмом, а теорию относительности – эйнштейнизмом. Тем не менее Дарвин в свое время оказался настолько прав и в «Происхождении видов» совершил такой труд, что для многих эволюционная биология синонимична его имени. На протяжении этой книги я иногда использую термин «дарвинизм», однако помните, что под ним подразумевается современная эволюционная теория.

В отличие от спичечных упаковок в виде книжечек языки укладываются в древовидную иерархию, причем в ее рамках некоторые (например, английский и немецкий) похожи друг на друга гораздо сильнее, чем на другие языки (скажем, на китайский). По сути дела, можно выстроить эволюционное древо языков, исходя из сходства слов и грамматики. Причина, по которой языки выстраиваются в такую иерархию, в том, что они претерпели собственные формы эволюции, меняясь со временем и приобретая все большие отличия по мере того, как народы расселялись по новым территориям и теряли контакт друг с другом. Как и у биологических видов, у языков есть видообразование и общее происхождение. Первым эту аналогию подметил именно Дарвин.

3

Мамонты вымерли около 10 000 лет назад и, возможно, были истреблены нашими предками-охотниками. По меньшей мере один экземпляр мамонта так хорошо сохранился в вечной мерзлоте, что в 1951 г. его мясо подали на обеде в нью-йоркском Исследовательском клубе.

Судя по всему, у взрослых особей предков млекопитающих яички оставались в брюшной полости (некоторые млекопитающие, такие как утконос и слон, до сих пор отличаются этой анатомической особенностью). Это заставляет нас задаться вопросом, почему эволюция поддержала перемещение яичек в уязвимую область вне тела. Ответ нам пока что не известен, но есть небольшая подсказка: ферменты, которые участвуют в выработке спермы, попросту плохо функционируют при внутренней температуре тела (именно поэтому врачи советуют будущим отцам избегать горячих ванн перед половыми контактами). Возможно, по мере того как у млекопитающих развивалась теплокровность, яички некоторых групп в процессе эволюции были выведены за пределы тела, чтобы избежать перегрева. Но, возможно, расположение яичек вне тела появилось по другим причинам, а ферменты, участвующие в образовании спермы, при более высоких температурах просто теряют свою работоспособность.

Противники эволюции зачастую заявляют, что теория эволюции непременно должна объяснять и происхождение жизни и дарвинизм якобы потерпел неудачу, потому что мы до сих пор этого не знаем. Это возражение глубоко ошибочно. Эволюционная теория имеет дело только с тем, что происходит *после* зарождения жизни (под жизнью я понимаю самовоспроизводящиеся организмы или молекулы). Само происхождение жизни – это предмет исследования не эволюционной биологии, абиогенез изучают такие научные направления, которые охватывает химию, геологию и молекулярную биологию. Поскольку это очень молодая научная сфера и пока что дала совсем немного ответов, я не стал затрагивать на страницах этой книги вопрос о том, как зародилась жизнь. Обзор множества конкурирующих теорий см. в книге Роберта Хейзена «Происхождение: Научный поиск истоков жизни» (Gen-e-sis: The Scientific Quest for Life's Origin).

6

Обратите внимание на то, что на протяжении первой половины истории жизни на Земле единственным биологическим видом были бактерии. Сложные многоклеточные организмы появились лишь в последние 15 % истории жизни. Чтобы увидеть эволюционную временную шкалу в подлинном масштабе, показывающую, насколько недавно появились многие знакомые нам формы жизни, пройдите по ссылке <http://andabien.com/html/evolution-time-line.htm> и проматывайте вниз.

Обозначая группы, которые были созданы независимым творением, но в них допускается некоторая эволюция, креационисты часто прибегают к библейскому концепту «рода»: «И сотворил Бог рыб больших и всякую душу животных пресмыкающихся, которых произвела вода, по роду их, и всякую птицу пернатую по роду ее» (Быт: 1:12-25). Объясняя понятие «род», некий креационистский сайт заявляет: «Например, возможно, существует много биологических видов голубей, но все они при этом голуби. Следовательно, голуби представляют собой "род" животного (собственно, птицу)». Таким образом, креационисты допускают существование микроэволюции в пределах этих «родов», но не приемлют мысли о макроэволюции *между* «родами»: по их мнению, она не могла произойти и не произошла. Иными словами, у членов «рода» есть общий предок; у членов разных «родов» общего предка нет. Проблема в том, что креационисты не формулируют никакого критерия, по которому можно очертить границы «рода» (Совпадает ли библейский род с биологическим понятием рода? Или семейства? Скажем, все мухи – члены одного рода или разных родов?), и поэтому мы не можем оценить, что они считают пределами эволюционных изменений. Но все креационисты соглашались в одном: *Homo sapiens* представляет «род» сам по себе и поэтому неизбежно был сотворен высшей силой. Между тем ни в теории, ни в фактах эволюции нет ничего, что говорило бы о конечности и пределах эволюционных изменений: насколько мы видим, макроэволюция – это просто микроэволюция, растянутая на длительный отрезок времени. (См.: и , где пояснен креационистский взгляд на понятие «род», а также опровержение на .)

В настоящее время палеонтологи считают, что все тероподы, а в эту категорию входит и знаменитый *Tyrannosaurus rex*, были покрыты той или иной разновидностью перьев. На макетах динозавров в музеях естественных истории перьев не увидишь, да и в фильмах наподобие «Парка юрского периода» тоже. Но тираннозавр пользуется такой устрашающей славой, что, если бы его и показали покрытого пухом, это бы не подпортило его жуткий образ!

Захватывающее описание того, как был обнаружен и препарирован Дэйв, первый в истории экземпляр синорнитозавра (*Sinornithosaurus*), см. по ссылке: .

10

Посмотреть фильм о том, как был обнаружен микрораптор (*Microraptor gui*), «Четырехкрылый динозавр» (The Four-Winged Dinosaur), и дискуссию, умел ли он летать, можно на разных ресурсах, например: .

Недавно ученым удалось нечто поразительное: они сумели получить фрагменты белка коллагена из ископаемого тираннозавра, насчитывающего 68 млн лет, и определить аминокислотную последовательность этих фрагментов. Анализ показывает, что из всех ныне живущих позвоночных тираннозавр в наиболее близком родстве с птицами (а именно курицами и страусами). Эти данные подтверждают то, что ученые предполагали уже давно: все динозавры вымерли, за исключением одной ветви, из которой развились птицы. Биологи все больше убеждаются, что птицы представляют собой сильно модифицированных динозавров. В самом деле, птиц часто *классифицируют* как динозавров.

Секвенирование ДНК и белков кита показывает, что среди млекопитающих самые близкие родственники кита – парнокопытные, и это открытие полностью подтверждает выводы, сделанные на основе ископаемых находок.

Посмотреть, как водяной оленек спасается в воде от орла, можно по ссылке: .

Тем не менее работа была опубликована и показала, что, несмотря на разные типы бега, страусы и лошади тратят одинаковое количество энергии, чтобы покрыть одно и то же расстояние: М. А. Fedak, Н. J. Seeherman (1981.) Перерасчет энергетики передвижений показывает одинаковые энергозатраты у двуногих и четвероногих, включая страуса и лошадь. См.: *Nature* 282:713-716.

Чтобы увидеть, какую роль играют крылья при спаривании, см.: .

Киты, у которых нет внешних ушей, также наделены неработающими ушными мышцами (а иногда и крошечными бесполезными слуховыми проходами), унаследованными от сухопутных млекопитающих предков.

Насколько мне известно, псевдогены никогда не восстанавливаются. Стоит гену подвергнуться мутации, которая его инактивирует, как он быстро накапливает другие мутации, которые в еще большей степени искажают информацию для синтеза белка. Вероятность, что все эти мутации обратятся вспять, чтобы воскресить ген, практически нулевая.

Как и следовало ожидать, у морских млекопитающих, которые проводят часть времени на суше, например у морских львов, более активные гены обонятельных рецепторов, чем у китов или дельфинов, предположительно потому, что им все еще необходимо умение различать запахи в воздухе.

Креационисты часто используют «поддельные» рисунки Геккеля как оружие для нападок на эволюционистов в целом: заявляют, что эволюционисты готовы пойти на искажение фактов, лишь бы поддержать ошибочную теорию дарвинизма. Однако в истории Геккеля не все так просто. Возможно, ему не стоит вменять в вину подделку, лишь небрежность: его «фальшивка» состояла лишь в том, что он проиллюстрировал три разных эмбриона при помощи одной и той же гравюры. Когда Геккеля призвали к ответу, он признал ошибку и исправил ее. Поэтому попросту нет доказательств того, что он сознательно исказил облик эмбрионов, чтобы придать им больше сходства, чем между ними было. Полную историю см.: R. J. Richards (2008, глава 8).

Наши предки наградили нас множеством других физических неприятностей. Геморрой, боли в спине, икота, воспаление аппендикса – все эти явления представляют собой эволюционное наследие. Нил Шубин описывает эти и многие другие явления в своей книге «Внутренняя рыба» (Your Inner Fish) (Шубин Н. Внутренняя рыба. История человеческого тела с древнейших времен до наших дней. – М.: Астрель, Corpus, 2010.).

Эта история также вдохновила поэта Уильяма Купера на стихотворение «Одиночество Александра Селкирка» (The Solitude of Alexander Selkirk) с его знаменитым зачином:

Я - царь великого простора, Что предо мною распростерт, Я здесь - об этом нету
спора, - Зверей и птиц - великий лорд.

О континентальном дрейфе за последние 150 млн лет можно посмотреть по ссылке: ; об истории Земли – по ссылке: <http://www.scotese.com/>.

Эта фраза, безусловно, одна из самых известных строк Теннисона, взята из его поэмы «Памяти А. Г.Х.» (In Memoriam A. H.N.) (1850):

[Человек], который верил в то, что Господь есть сама любовь И в то, что любовь – главный закон для всякой твари, Однако природа с окровавленными когтями и зубами Яростно кричит против его веры.

Видеофильм, рассказывающий о шершнях, нападающих на пчел, и японских пчелах, защищающих свое жилище, можно увидеть на канале YouTube: . Ученые недавно обнаружили еще один способ, которым пчелы убивают шершней: удушение. На Кипре местные пчелы так же облепляют чужаков-шершней, вторгшихся в улей, и образуют шар. Осы дышат, надувая и сокращая брюшко, накачивая воздух в свое тело через маленькие отверстия. Плотнo облепив врага-шершня со всех сторон, пчелы не дают ему шевелить брюшком и тем самым лишают воздуха.

В книге Карла Циммера «Паразит – царь природы: Тайный мир самых опасных существ на Земле» (Parasite Rex) (Циммер К. Паразит – царь природы: Тайный мир самых опасных существ на Земле. – М.: Альпина нон-фикшн, 2011.) приводится много других удивительных (и страшных) примеров того, как эволюционировали паразиты, чтобы управлять своими хозяевами.

У этой истории есть еще один не менее интересный аспект: муравьи, которые много времени проводят на деревьях, постепенно развили у себя способность планировать. Падая с ветки, они маневрируют в воздухе таким образом, что приземляются не на враждебную поверхность лесной почвы, а на безопасный ствол дерева.

Креационисты иногда приводят этот язык в качестве примера черты, которая не могла развиваться путем эволюции, потому что промежуточные стадии эволюции от короткого языка к длинному предположительно были мальадаптивными. Это утверждение беспочвенно. Описание длинного языка и того, как он, предположительно, развился путем естественного отбора, см. по ссылке: .

Сейчас, когда я это пишу, появился доклад, который показывает, что ДНК, извлеченная из костей неандертальцев, содержит другую аллельную форму «светлого» гена. Поэтому есть вероятность, что некоторые неандертальцы были рыжеволосыми.

Разные породы считаются представителями одного и того же вида *Canis lupus familiaris*, потому что успешно поддаются гибридизации. Если бы они встречались только в виде ископаемых, то их существенные различия могли бы навести нас на мысль, что есть некий генетический барьер, который помешал им гибридизироваться, а потому они должны представлять разные биологические виды.

Насекомые также адаптировались к разнице в химическом составе разных видов растений, так что каждая новая форма клопа теперь лучше чувствует себя на интродуцированном растении, на котором обитает, чем на старом мыльном дереве.

Описание того, как путем отбора предположительно могли появиться свертывание крови и бактериальный жгутик, см. в книге Кеннета Миллера «Только теория» (Only a Theory), а также в книге: M. J. Pallen, N. J. Matzke (2006).

Увидеть, как полный тетерев раздувает грудь перед самками в ходе брачного ритуала, можно на канале YouTube: .

На сегодняшний день самый древний вид, у которого выявлено половое размножение, – это красная водоросль или багрянка, *Bangiomorpha pubescens*. У ископаемого вида, насчитывающего 1,2 млрд лет, отчетливо просматриваются признаки двух полов.

Важно помнить, что мы говорим о разнице между самками и самцами с точки зрения изменчивости такого признака, как брачный успех. В то же время средний брачный успех самцов и самок должен быть равным, потому что у каждого потомка должен быть один отец и одна мать. У самцов этот средний показатель достигается тем, что некоторые из них становятся отцами большей части потомства, в то время как другие вообще остаются без отпрысков. В то же время каждая самка дает приблизительно одинаковое количество потомства.

Если на них надавить, то креационисты объясняют половой диморфизм, кивая на таинственные прихоти творца. В своей книге «Дарвин под следствием» (Darwin on Trial) сторонник теории разумного замысла Филлип Джонсон отвечает на вопрос эволюциониста Дугласа Футаямы: «В самом ли деле ученые-креационисты полагают, что их Творец счел уместным создать птицу, которая не может размножаться без двухметрового хвоста из громоздких перьев, делающего ее легкой добычей для леопардов?» Джонсон отвечает: «Не знаю, что там предполагают ученые-креационисты, но мне кажется, что павлин и пава – это именно такие существа, которых бы мог создать прихотливый Творец, но при этом "жестоким механическим процессом", такой как естественный отбор, никогда не позволил бы им развиваться». Однако хорошо понятная и проверяемая гипотеза о половом отборе, безусловно, побивает аргумент о непостижимых капризах творца, который никак невозможно проверить.

Может возникнуть вопрос: если самки предпочитают невыраженные черты, то почему эти черты никогда не развиваются у самцов? Одно из объяснений: такие мутации просто не произошли. Другое: если такие правильные мутации и имели место, они снижали шансы на выживание самцов больше, чем усиливали его способность привлекать самок.

Тут возможно возражение. Такая согласованность показывает лишь следующее: нейронные связи в мозге всех людей изначально устроены так, что позволяют разделять общую массу птиц на основании одного и того же набора признаков. Однако это возражение теряет всякую силу, если вспомнить, что и *сами птицы* распознают те же группы. Когда наступает брачный сезон, самец малиновки ухаживает только за самками малиновки, но не за самками воробьев, скворцов или ворон. Птицы, как и другие животные, превосходно распознают разные биологические виды!

Например, если бы 99 % всех образовавшихся видов вымерло, нам бы все равно требовалась та же скорость видообразования для одного-единственного вида, который появился бы в течение миллионов лет, чтобы породить 100 млн ныне живущих видов.

То, как наука реконструирует древние процессы в геологии, биологии и астрономии, очень четко показано в книге Криса Терни «Кости, скалы и звезды: Наука о том, когда что произошло» (Bones, Rocks and Stars: The Science of When Things Happened) (Терни К. Кости, скалы и звезды: Наука о том, когда что произошло. – М.: Альпина нон-фикшн, 2014.).

Вот более подробное описание того, как появился новый аллополиплоидный биологический вид. Читайте внимательно, потому что, хотя понять этот процесс несложно, потребуется вникнуть в некоторые цифры. Каждый вид за вычетом бактерий и вирусов несет две копии каждой хромосомы. Например, у нас, людей, 46 хромосом, включая 22 пары гомологичных хромосом – аутосом, а также две половые хромосомы: XX у женщин и XY у мужчин. Одна часть каждой пары хромосом наследуется от отца, вторая – от матери. Когда особи биологического вида производят гаметы (сперматозоиды и яйцеклетки у млекопитающих, пыльца и яйцеклетки у растений), гомологичные хромосомы расходятся, и лишь одна часть пары попадает в сперматозоид, яйцеклетку или пыльцевое зерно. Но перед этим гомологичные хромосомы должны выстроиться в пары друг с другом, чтобы потом надлежащим образом разделиться. Если хромосомы не выстроятся в пары как следует, то особь не сможет произвести гаметы и останется бесплодной.

Когда пара хромосом не выстраивается, это и становится основой для образования аллополиплоида. Предположим, например, что некий вид растения (обозначим этот воображаемый вид буквой А) наделен шестью хромосомами, т. е. тремя гомологичными парами. Пойдем дальше и предположим, что у него есть сородич, вид Б, у которого 10 хромосом (пять пар). Гибрид этих двух растений будет наделен восемью хромосомами, получив три от вида А и пять от вида Б (не забываем, что гаметы каждого вида несут лишь половину его хромосом). Гибрид, возможно, будет жизнеспособен и активен, но когда он попытается сформировать пыльцу или яйцеклетки, то столкнется с трудностями. Пять хромосом от одного вида попытаются образовать пары с тремя хромосомами другого, и получится неразбериха. Формирование гамет не состоится, и гибрид окажется стерильным.

Однако предположим, что каким-то образом гибрид может дублировать все свои хромосомы, увеличивая их число с 8 до 16. У этого нового сверхгибрида сможет произойти нормальное выстраивание хромосом в пары: каждая из шести хромосом вида А найдет свой гомолог и таким же образом десять хромосом вида Б найдут свой. Поскольку выстраивание в пары произошло благополучно, сверхгибрид окажется фертильным, произведет пыльцу или яйцеклетки, которые несут восемь хромосом. Такой сверхгибрид и носит название *аллополиплоида* – от греческого «разный» и «многомерный». В своих 16 хромосомах он несет полный генетический материал обоих видов-родителей, А и Б. Следует ожидать, что внешне этот сверхгибрид будет выглядеть как нечто среднее между видами А и Б. А его новая комбинация признаков, возможно, позволит ему жить в новой экологической нише.

Такой полиплоид АБ будет не только фертильным, но и даст потомство, если окажется оплодотворен другим похожим полиплоидом. Каждый из родителей вносит восемь хромосом в семя, которые затем вырастают в другое двенадцатихромосомное растение АБ, в точности подобное родителям. Группа таких полиплоидов превращается в самоподдерживающуюся популяцию, члены которой скрещиваются между собой.

И это растение также будет новым биологическим видом. Почему? Потому что полиплоид АБ репродуктивно изолирован от обоих родительских видов. Если они скрещиваются с другим представителем вида А или Б, то их потомство будет стерильно. Предположим, что растение скрещивается с видом А. Полиплоид произведет гаметы с восемью хромосомами – три от вида А и пять от вида Б. Они соединятся с гаметами вида А, содержащими три хромосомы. Такое растение будет стерильным, потому что хотя у каждой хромосомы А есть пара, но ни у одной хромосомы Б пары не будет. Похожая ситуация сложится, если полиплоид АБ скрестится с видом Б: у потомства будет тринадцать хромосом, и пять хромосом А не смогут получить пару в ходе формирования гамет.

Таким образом, новый полиплоид в случае, если он скрещивается с одним из родительских видов, производит лишь стерильных гибридов. Тем не менее, когда полиплоиды скрещиваются друг с другом, потомство оказывается фертильным,

потому что все 16 хромосом у него родительские. Иными словами, полиплоид формирует группу с внутрigrupповым скрещиванием, которая репродуктивно изолирована от других групп – а именно это и есть разграничитель биологического вида. И такой вид появился без географической изоляции, что необходимо, потому что, если двум видам суждено создать гибридов, они должны произрастать в одном и том же месте.

Но как формируются полиплоидные виды? Нет нужды вдаваться в запутанные подробности, достаточно сказать, что процесс включает формирование гибрида между двумя родительскими видами, а далее следует серия шагов, в ходе которых эти гибриды производят редкую пыльцу или яйцеклетки, несущие двойной набор хромосом (они называются нередуцированные гаметы). Слияние этих гамет за два поколения приводит к появлению полиплоидной особи. Все эти этапы были зарегистрированы как в дикой природе, так и лабораторных условиях в анжире.

В качестве примера аутополиплоидии допустим, что члены некоего вида растений наделены 14 хромосомами, или семью парами хромосом. Особь может время от времени производить нередуцированные гаметы, содержащие все 14 хромосом вместо семи. Если такая гамета соединится с нормальной, содержащей семь хромосом, гаметой другой особи того же вида, мы получим наполовину стерильное растение, у которого 21 хромосома: оно будет преимущественно стерильным, потому что во время формирования гаметы создать пары попытались три гомологические хромосомы (хотя в норме это осуществляется двумя), а такой процесс не срабатывает. Однако, если эта особь снова производит несколько нередуцированных гамет с 14 хромосомой, которые соединяются с нормальными гаметами, в результате получается аутополиплоидная особь с 28 хромосомами. Такая особь несет две полные копии родительского генома. Популяцию подобных особей можно считать новым видом, поскольку они способны скрещиваться с другими похожими аутополиплоидами, но если они попытаются скреститься с родительскими видами, то породят преимущественно стерильных особей с 14 хромосомой. У такого аутополиплоидного вида будут в точности те же гены, что и у представителей родительских видов по отдельности, однако не в двойном, а в учетверенном количестве.

Поскольку заново сформировавшийся аутополиплоид наделен теми же генами, что и родительские виды, он зачастую очень на них похож. Представителей новых видов иногда получается идентифицировать, только пересчитав хромосомы под микроскопом и убедившись, что у них хромосом вдвое больше, чем у родительских видов. Поскольку такие новые виды очень напоминают родителей, многие из них, наверняка существующие в природе, до сих пор еще не идентифицированы.

Хотя случаи неполиплоидного видообразования в реальном времени – большая редкость, но один правдоподобный пример, кажется, есть. В нем задействованы два вида лондонских комаров, которых обычно считают подвидами, но они проявляют признаки существенной репродуктивной изоляции. Комар-пискун, или комар обыкновенный (*Culex pipiens pipiens*), – один из самых распространенных видов городского комара. Чаще всего его жертвами становятся птицы, и, подобно многим видам комара, он откладывает яйца только после того, как насытится кровью. Зимой самцы комара умирают, но самки впадают в состояние, похожее на спячку и именуемое диапаузой. В ходе полового акта самцы и самки комара обыкновенного скапливаются в большие клубки, где массово совокупляются.

Пятнадцатью метрами ниже, в тоннелях лондонского метро, обитает близкий родственник комара обыкновенного, подвид *Culex pipiens molestus*, он же комар подвальный. Этот комар предпочитает жалить млекопитающих, желательно тех, которые ездят в метро (особенное беспокойство он причинял во времена Второй мировой войны, когда в ходе бомбардировок Лондона тысячи местных жителей вынуждены были ночевать в метро, служившем бомбоубежищем). Помимо того, что комар подвальный предпочитает кормиться за счет крыс и людей, ему к тому же, чтобы отложить яйца, не обязательно сначала насытиться кровью. И, как и следовало ожидать от обитателя подземных тоннелей с умеренной температурой, подвальный комар предпочитает спариваться в замкнутых пространствах и зимой в спячку не впадает.

Различия в спаривании этих двух видов приводят к сильной репродуктивной изоляции между формами, причем как в дикой природе, так и в лабораторных условиях. Это в сочетании с существенным генетическим расхождением между формами указывает, что оба подвида комара находятся на пути к тому, чтобы превратиться в отдельные виды. В самом деле, некоторые энтомологи уже классифицируют их как отдельные виды: *Culus pipiens* и *Culus molestus*. Поскольку строительство лондонского метро началось лишь в 1860-е гг., а многим линиям метро менее сотни лет, это событие в области видообразования, похоже, произошло сравнительно недавно. Однако по некоторым причинам у этой истории есть слабые места. Дело в том, что в Нью-Йорке тоже водится схожая пара видов комаров: один городской надземный, а второй – подземный, в метро. Возможно, обе пары видов, лондонская и нью-йоркская, являются представителями похожей и давно разделившейся пары, обитающей где-то еще, и каждая пара мигрировала в новую среду обитания в Лондоне и в Нью-Йорке соответственно. Чтобы решительно разобраться с этой задачей, нам нужно достоверное генеалогическое древо этих комаров, основанное на исследовании ДНК, но пока мы им не располагаем.

Эту группу некогда называли гоминидами, однако теперь этот термин применяется для всех современных и вымерших человекообразных обезьян, в том числе людей, шимпанзе, горилл, орангутанов и всех их предков.

Дополнительный свет на конкурентную природу палеоантропологии проливает тот факт, что заслугу открытия, подготовки и описания сахелантропа разделяет множество людей: под документом, объявляющим об открытии, стоят подписи 38 авторов – и все об одном черепе!

См.: . Хорошо видно, что шимпанзе неловко передвигаться на двух ногах.

См.: . Показаны следы и в какой ситуации они были сделаны.

Обратите внимание, что фактически это уже второй раз, когда предки человека мигрировали из Африки, потому что первый – это распространение *Homo erectus*, человека прямоходящего.

Дискуссию о том, как креационисты относятся к палеонтологической летописи человека, см. по ссылке: .

В отличие от большинства приматов, у самок человека овуляция проходит практически без каких бы то ни было внешних признаков. (Например, у самок бабуинов в период овуляции гениталии разбухают и краснеют.) Существует больше десятка теорий о том, почему развитие самок человека пошло таким образом, что наступление фертильного периода у них оказалось скрыто. Самая известная версия гласит, что такова стратегия самок, позволяющая удерживать возле себя самцов, чтобы те помогали заботиться о потомстве и пропитании. Если мужчина не знает, фертильна ли его жена, и хочет стать отцом, он должен быть поблизости и спариваться с ней почаще.

Идея того, что *FOXP2* – это «ген языка», возникла на основе наблюдения, согласно которому этот ген чрезвычайно быстро развился в эволюционной ветви человека и что мутантные формы этого гена влияют на способность людей воспроизводить и понимать речь, а сходные мутации у мышей лишают детенышей возможности питаться.

На самом деле такая попытка предпринималась по меньшей мере один раз. В 1927 г. Илья Иванович Иванов, эксцентричный русский биолог, увлекавшийся выведением гибридов животных путем искусственного осеменения, использовал этот метод и попытался вывести гибрид человека и шимпанзе (он назвал его «гибридным человеком»). В условиях биостанции во Французской Гвинее биолог оплодотворил трех самок шимпанзе спермой человека. К счастью, самки не забеременели, а дальнейшие планы Иванова по обратному варианту эксперимента расстроились – французское колониальное правительство не одобрило подобный эксперимент.

Биологи идентифицировали по меньшей мере два гена, отвечающих за основную часть различий в пигментации между европейскими и африканскими популяциями. Любопытно, что оба гена были обнаружены, потому что влияют на пигментацию рыб.

Сходный случай недавно был описан применительно к *амилазе-1* – ферменту слюны, который расщепляет крахмал на простые сахара. В популяциях человека, у которых в рационе много крахмала, например у японцев и европейцев, больше копий этого гена, чем в популяциях, которым присущ рацион с низким содержанием крахмала, например у рыбаков или охотников-собирателей в тропических дождевых лесах. В противоположность ферменту лактазе естественный отбор увеличил экспрессию генов, кодирующих *амилазу-1*, поощряя их дупликацию.

Вспомним, что вкус пище сам по себе не присущ: то, какой она кажется тому или иному живому существу, зависит от эволюционно возникшего взаимодействия между вкусовыми рецепторами и нейронами мозга. Почти наверняка можно утверждать, что естественный отбор сформировал наш мозг и вкусовые сосочки так, что сладкие и жирные продукты кажутся нам наиболее вкусными, заставляя хотеть их еще и еще. Возможно, протухшее мясо гиене кажется таким же вкусным, как нам – мороженое.

Большинство психологов-эволюционистов верят, что СЭА на самом деле имела место и что за миллионы лет эволюции человека окружающая среда, физическая и социальная, была относительно постоянна. Но, конечно, это совсем не так. В конце концов, в течение 7 млн лет эволюции наши предки жили в разных климатических условиях и в разных культурах, взаимодействовали с разными биологическими видами и в разных типах обществ и распространились по всей планете. Сама идея того, что существовала некая «среда предков», на которую можно ссылаться, чтобы объяснить современное поведение человека, – это причудливое интеллектуальное построение, допущение, которое выдвинуто потому, что в конечном итоге в наших силах лишь строить допущения.